

УДК: [581.524.3:551.794] (282.256.341.210.5-15)

DOI: 10.15372/GIPR20230502

Е.В. БЕЗРУКОВА*, С.А. РЕШЕТОВА*, Е.В. ВОЛЧАТОВА*, Н.В. КУЛАГИНА**, А.А. ЩЕТНИКОВ**,
М.А. КРАЙНОВ*, И.А. ФИЛИНОВ**

*Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1А,
bezrukova@igc.irk.ru, srescht@mail.ru, volchatova@igc.irk.ru, susel_usel@mail.ru

**Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128,
kulagina@crust.irk.ru, shch@crust.irk.ru, filinov@crust.irk.ru

СУБРЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ В СРЕДНЕМ–ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ

Представлены результаты реконструкции растительности юга Восточной Сибири по меридиональному профилю, проходящему через палеогеографически слабо изученные субрегионы: Хандинскую котловину, юг Ангара-Ленского плато, среднегорнотаежный пояс Окинское плато (Восточный Саян). Установлены закономерности и особенности субрегионального и локального развития растительности в среднем-позднем голоцене. Выявлена метасинхронность максимального развития в изученных субрегионах таежной растительности, подчеркивающая определяющую роль субрегиональных природно-климатических факторов в трансформации регионального климата голоцена. Предположено, что глубина залегания многолетнемерзлых пород может быть одним из определяющих факторов, ограничивающим синхронное распространение древесных растений, задерживая его на несколько столетий по сравнению с субрегионами вне зоны многолетней мерзлоты. Показано, что в изученных субрегионах закономерностью реконструированной динамики биомов является постепенное расширение лесного биома и сокращение тундрового. Роль степного биома в низкорослых субрегионах оказалась незначительной, а в среднегорном субрегионе Окинское плато — более значимой. Пыльцевые записи свидетельствуют о формировании в последнее тысячелетие в Хандинской котловине и на юге Ангара-Ленского плато вторичных березовых лесов, что, вероятно, следует рассматривать как начало антропогенного влияния на субрегиональную растительность — пожаров или вырубок. Отчетливых индикаторов деятельности человека в бассейне оз. Саян-Нур (Окинское плато) не обнаружено. Сравнение реконструированной динамики лесного биома в изученных субрегионах с избранными записями климата Северного полушария в среднем-позднем голоцене показало, что постепенное расширение лесного биома происходило вслед за снижением континентальности климата Северного полушария, получившим отражение в снижении летней и повышении зимней инсоляции.

Ключевые слова: голоценовые торфяники, озерные отложения, палинология, датированные записи природной среды, динамика растительности, Байкальский регион.

E.V. BEZRUKOVA*, S.A. RESHETOVA*, E.V. VOLCHATOVA*, N.V. KULAGINA**, A.A. SHCHETNIKOV**,
M.A. KRAINOV*, I.A. FILINOV**

*Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Favorskogo, 1A, Russia,

bezrukova@igc.irk.ru, srescht@mail.ru, volchatova@igc.irk.ru, susel_usel@mail.ru

**Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Lermontova, 128, Russia, kulagina@crust.irk.ru, shch@crust.irk.ru, filinov@crust.irk.ru

SUBREGIONAL VEGETATION FORMATION PATTERNS IN THE SOUTH OF EASTERN SIBERIA IN THE MID- TO LATE HOLOCENE

This article presents results from reconstructing vegetation in the south of Eastern Siberia along the meridional profile passing through paleogeographically poorly studied subregions: Khandinskaya depression, the south of the Angara-Lena plateau, and the middle mountain taiga belt of the Oka plateau (Eastern Sayan). Patterns and features of subregional and local vegetation development in the Mid- to Late Holocene have been established. The metachronism of maximum development of taiga vegetation, which underlines the determining role of subregional climatic factors in the transformation of the regional climate of the Holocene, has been revealed in the subregions under study. It is suggested that the depth of penetration of permafrost may be one of the determining factors limiting the synchronous spread of arboreal plants, delaying it for several centuries compared to subregions

lying outside the permafrost zone. It is shown that in the subregions under study, the regularity in the reconstructed biome dynamics is a gradual expansion of the forest biome and a reduction of the tundra biome. The role of the steppe biome in the low-mountain subregions turned out to be insignificant, while in the middle-mountain subregions of the Oka plateau it is becoming more significant. Pollen records show the formation of secondary birch forests both in the Khandinskaya depression and in the south of the Angara-Lena plateau during the last millennium, which should be regarded as the onset of the anthropogenic influence of forest fires or deforestation on subregional vegetation. No distinct indicators of human activity within the watershed of Lake Sagan-Nur (Oka plateau) have been detected. A comparison of the reconstructed dynamics of the forest biome from the subregions under study with the climatic records of the northern hemisphere during the Mid- to Late Holocene showed that a gradual expansion of the forest biome followed a decrease in the continentality of the climate in the northern hemisphere, which is evidenced by a decrease in summer and an increase in winter insolation.

Keywords: Holocene peatlands, lacustrine sediments, palynology, dated records of the natural environment, vegetation dynamics, Baikal region.

ВВЕДЕНИЕ

Подгорно-равнинные и горные экосистемы юга Восточной Сибири (юг ВС), особенно зоны распространения многолетнемерзлых пород, чутко реагируют на изменения климата, находясь в состоянии, близком к таянию. Результатом прогнозируемого потепления может стать, например, сокращение площади многолетней мерзлоты, ее протаивание, что должно изменить облик ландшафтов и иметь различные, в том числе негативные, последствия для растительности, биоты и человека. Поэтому оценка ландшафтно-климатических условий формирования экосистем бореальной зоны в голоцене важна для понимания их длительной динамики и верификации прогнозных моделей реакции таких экосистем на ожидаемые климатические изменения.

Среди множества методов реконструкции природной среды, особенно состава растительности и структуры ландшафтов, пыльцевой анализ занимает важное место. В последние десятилетия для юга ВС был получен ряд пыльцевых записей из отложений голоценового возраста (например, [2]). Результаты этих работ показали, что реконструкция природной среды на основе отложений оз. Байкал представляет собой осредненный сигнал динамики растительности и климата большого водосборного бассейна со сложной топографией. Данные исследования подчеркивают важность субрегиональных палеоэкологических исследований и высокую потребность в репрезентативной сети датированных осадочных архивов для лучшего понимания изменений природной среды юга ВС.

Цель настоящей статьи — реконструкция особенностей формирования растительности юга ВС по меридиональному профилю, проходящему через слабо изученные в палеогеографическом аспекте субрегионы: от низкогорной Хандинской депрессии до среднегорной котловины оз. Саян-Нур (Восточный Саян), а также выявление закономерностей и особенностей субрегионального развития растительности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования стали Хандинская котловина, ур. Хендыркул и Окинское плато.

Хандинская котловина. Разрез торфяных отложений Ханда-1 вскрыт в Хандинской котловине, лежащей на высоте 700 м над ур. моря, с превышением бортов над днищем до 250 м. Днище котловины слаборасчлененное, заболоченное, с аккумулятивными террасами, поймой р. Ханды и ее притоков [3]. Климат территории континентальный с холодной продолжительной зимой и теплым коротким летом.

В котловине почти повсеместно распространены многолетнемерзлые песчано-глинистые породы кайнозоя, залегающие близко от дневной поверхности [3]. На западном склоне котловины доминируют елово-кедровые (ель сибирская (*Picea obovata*)-сосна сибирская (*Pinus sibirica*)) и кедрово-еловые с лиственницей сибирской (*Larix sibirica*), на восточном — кедрово-лиственничные и сосново-лиственничные (сосна обыкновенная (*P. sylvestris*)-лиственница сибирская) с березой кустарниковой (*Betula sect. nanae*) сообщества. В самой котловине развиты лиственнично-сосновые или редкостойные кедровые леса [5]. Значительные площади коренных лесов уничтожены пожарами и зарастают лиственницей и березой древовидной (*B. sect. albae*). Растительность поверхности торфяника представлена лиственничным редколесьем с березкой кустарниковой, в напочвенном покрове произрастают осоки (Cyperaceae) и сфагновые мхи (*Sphagnum* sp.).

Урочище Хендыркул. Разрез торфяных отложений Хендыркул находится в южной части Ангара-Ленского плато (рис. 1), в верхнем течении долины р. Илги. Район характеризуется редкоостровным распространением мерзлых пород, заболоченностью. Климат здесь резко континентальный. В растительности района преобладают леса из сосны, лиственницы, березы, часть из которых является производными на месте темнохвойной тайги. Локальную растительность формирует березняк разнотравный, а поверхность торфяника занята осоково-злаковыми сообществами с березой кустарниковой.

Окинское плато. Озеро Саган-Нур находится в междуречье рек Оки и Сорок в межгорной котловине, окруженной горами высотой до 1824 м над ур. моря [5] (см. рис. 1). Климат Окинского плато резко континентальный. Погоду в зимнее время формирует Сибирский антициклон, летом — западный атмосферный перенос. В ландшафтной структуре плато доминируют лиственничные леса и редколесья, степная растительность занимает южные склоны. В водосборном бассейне и на берегах оз. Саган-Нур преобладают лугово-болотная растительность, лиственничные кустарниковые, а также лиственничные с редким участием ели, березы или сосны сибирской леса и редколесья [5].

Методика опробования и стратиграфия торфяников Ханда (мощность 232 см) и Хендыркул (мощность 230 см) описана в работе [6]. Для детализации палинологической информации полученные ранее результаты спорово-пыльцевого анализа были дополнены новыми образцами из этих кернов (11 в разрезе Ханда и 15 в разрезе Хендыркул) [6].

Донные отложения оз. Саган-Нур были пробурены гравитационным керноотборным устройством UWITEC (Австрия), с ПВХ-трубками диаметром 63 мм. Длина керна составила 187 см. В его литологическом составе преобладают биогенно-терригенные илы с хорошо выраженной ритмичной слоистостью в нижней (187–45 см) части отложений [7]. Для палинологического анализа опробован каждый второй сантиметр в керне.

Радиоуглеродное датирование. Возрастные модели торфяных разрезов базируются на 11 радиоуглеродных датах (^{14}C), полученных по массе торфа сцинтилляционным методом датирования в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск). ^{14}C -значения возраста были откалиброваны, а модели «возраст-глубина» рассчитывались и строились с использованием программного обеспечения «Vacon» [8].



Рис. 1. Карта расположения торфяников (Ханда, Хендыркул) и озер (Каскадное, Хикушка, Саган-Нур, Очаул, Котокель) [4].

1 — положение изученных осадочных разрезов; 2 — государственная граница.

Возраст донных отложений оз. Саган-Нур определен радиоуглеродным методом по массе осадка из пяти образцов с использованием ускорительной масс-спектрометрии УМС в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН и Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (США).

Калибрование радиоуглеродных дат выполнено с использованием R package clam [9] и калибровочной кривой IntCal20 [10]. Далее в статье используются калиброванные значения возраста.

Палинологический анализ. Рассчитать концентрацию пыльцы и спор технически представилось возможным только для отложений оз. Саган-Нур с использованием маркерных спор рода плаунов (*Lycopodium*) (партия № 177745), согласно [11]. Расчет процентного содержания таксонов, построение диаграмм, шкал биомов (рис. 2–5), выделение локальных пыльцевых зон (ЛПЗ) выполнены в программе TILIA 1.7.16 с использованием кластерного анализа CONISS [12].

Пыльцевые таксоны из палинологических записей были отнесены к соответствующим биомам с использованием матрицы, уже применявшейся для юга ВС [3]. Шкалы биомов характеризуются высокочастотными изменениями, поэтому длительные тенденции в динамике биомов выражены полиномом третьего порядка (пунктирные линии).

ОПИСАНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПЫЛЬЦЕВЫХ ДИАГРАММ

Результаты палинологических исследований, полученные по изученным разрезам, представлены в таблице.

Пыльцевая летопись торфяника Ханда (см. рис. 2) позволяет реконструировать состав и структуру растительности в Хандинском субрегионе Прибайкалья за последние ~5900 лет.

Описание и сравнение спорово-пыльцевых данных в разрезах Ханда, Хендыркул и Саган-Нур

Ханда (Хн) зона / возраст границ зоны / описание	Хендыркул (Хнд) зона / возраст границ зоны / описание	Саган-Нур (Сгн) зона / возраст границ зоны / описание
Хн-1. Последние ~1050 лет. Снижение количества пыльцы представителей елово-пихтовых (<i>Picea-Abies</i>) сообществ, сосны обыкновенной; повышение — представителей лиственнично-сосновых, березовых и и вересково-березовых (вереск (<i>Ericaceae</i>)-береза карликовая (<i>Betula nana</i> -type)) сообществ; снижение доли пыльцы представителей семейства осоковых (<i>Cyperaceae</i>), повышение — семейства злаков (<i>Poaceae</i>), спор рода сфагнум (<i>Sphagnum</i>)	Хнд-1. Последние ~1000 лет. Снижение содержания пыльцы пихты и ели, а также сосны сибирской, повышение количества пыльцы сосны обыкновенной, <i>Betula alba</i> -type; понижение количества пыльцы злаковых и осоковых; максимум — вересковых	Сгн-1. Последние ~3200 лет. Повышение количества пыльцы лиственнично-березово-кедровых сообществ; рост значений пыльцы рода полыни (<i>Artemisia</i>), злаковых, осоковых, снижение содержания пыльцы представителей душиево-ерниковых (береза карликовая) сообществ
Хн-2а. 2600–1050 л. н. Елово-пихтовые сообщества, повышение содержания пыльца сосны сибирской, снижение — сосны обыкновенной, душиево-ерниковых (душикия (<i>Duschekia</i>)-береза карликовая) сообществ; повышение доли пыльцы представителей семейства осоковых, спор рода сфагнум	Хнд-2. 3900–1000 л. н. Пихтово-еловые сообщества, снижение количества пыльцы сосны сибирской, повышение — сосны обыкновенной; береза карликовая; снижение доли пыльцы злаковых и осоковых	Сгн-2. 7500–3200 л. н. Повышение содержания пыльцы представителей лиственнично-кедрово-сосновых сообществ; понижение количества пыльцы ели, березы карликовой, душиекии, повышение — злаковых и осоковых
Хн-2б. 4600–2600 л. н. Елово-пихтовые сообщества, снижение содержания пыльцы сосны сибирской, повышение — сосны обыкновенной, березы карликовой; повышение доли пыльцы представителей семейства осоковых, спор рода сфагнум	Хнд-3. 5300–3900 л. н. Повышение доли пыльцы елово-кедрово-сосновых сообществ; ерниково- (береза карликовая)-ивовые, злаково-осоково-разнотравные сообщества; хвощовые (<i>Equisetaceae</i>) сообщества	Сгн-3. 8600–7500 л. н. Елово-кедрово-сосновые сообщества. Максимум содержания пыльцы представителей ерниково-душиевых сообществ. Лугово-степное разнотравье
Хн-3. 5900–4600 л. н. Елово-пихтово-кедровые сообщества, повышение доли пыльцы сосны обыкновенной; вересково-ивово-ерниковые (береза карликовая) сообщества, представители семейства злаковых и разнотравье		



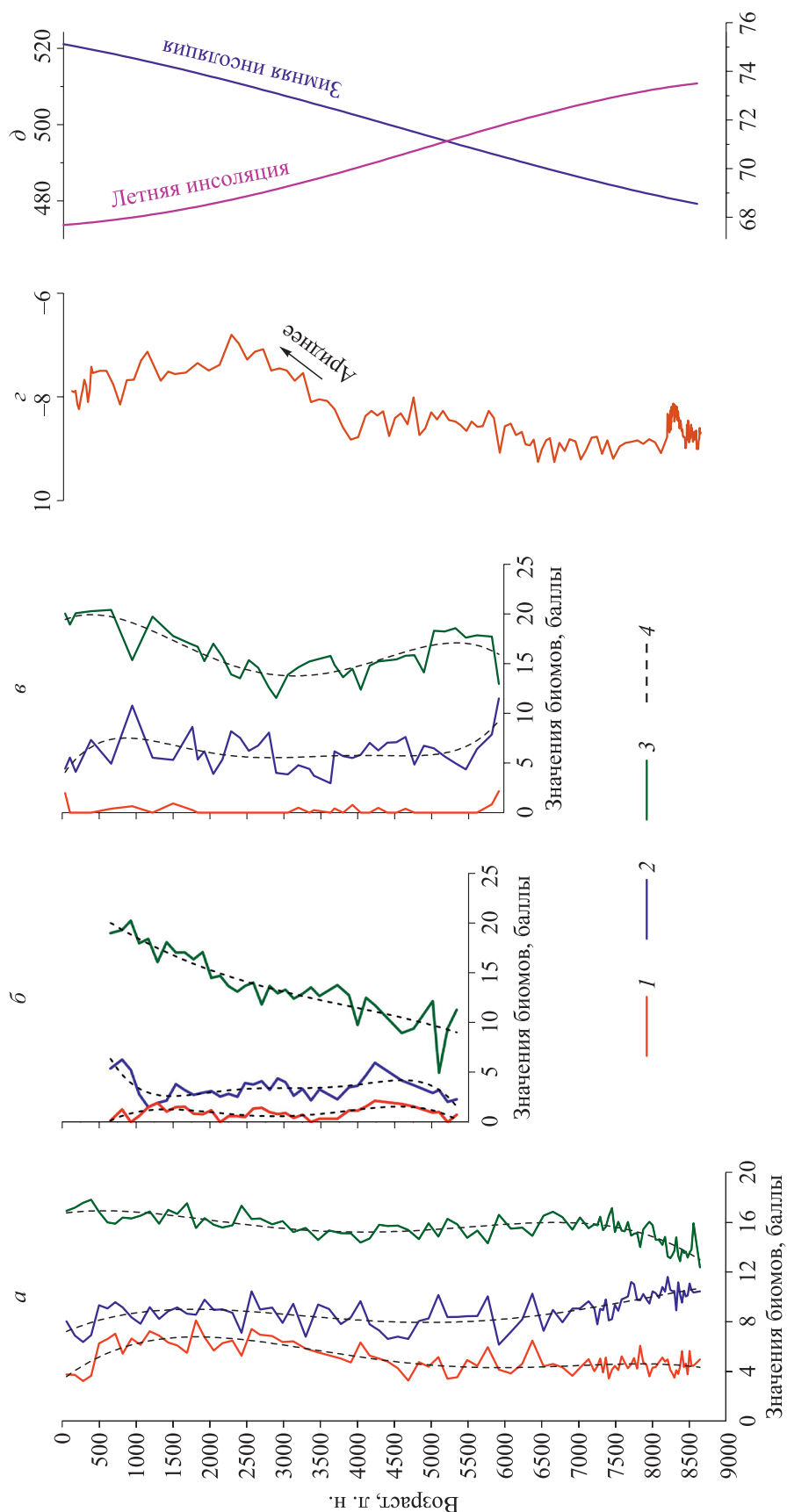


Рис. 3. Динамика биомов в изученных разрезах (а — Саган-Нур, б — Хендыкул, в — Ханда), изотопов кислорода ($\text{Dongle } \delta^{18}\text{O}$) из китайских сталагмитов как индикатора интенсивности тихоокеанского летнего муссона [14] (г) и средних значений зимней (декабрь–февраль) и летней (июнь–август) инсоляции на 55° северной широты по [13] (д).

Биомы: 1 — степной, 2 — тундровый, 3 — лесной, 4 — линии трендов (полиномы третьего порядка).

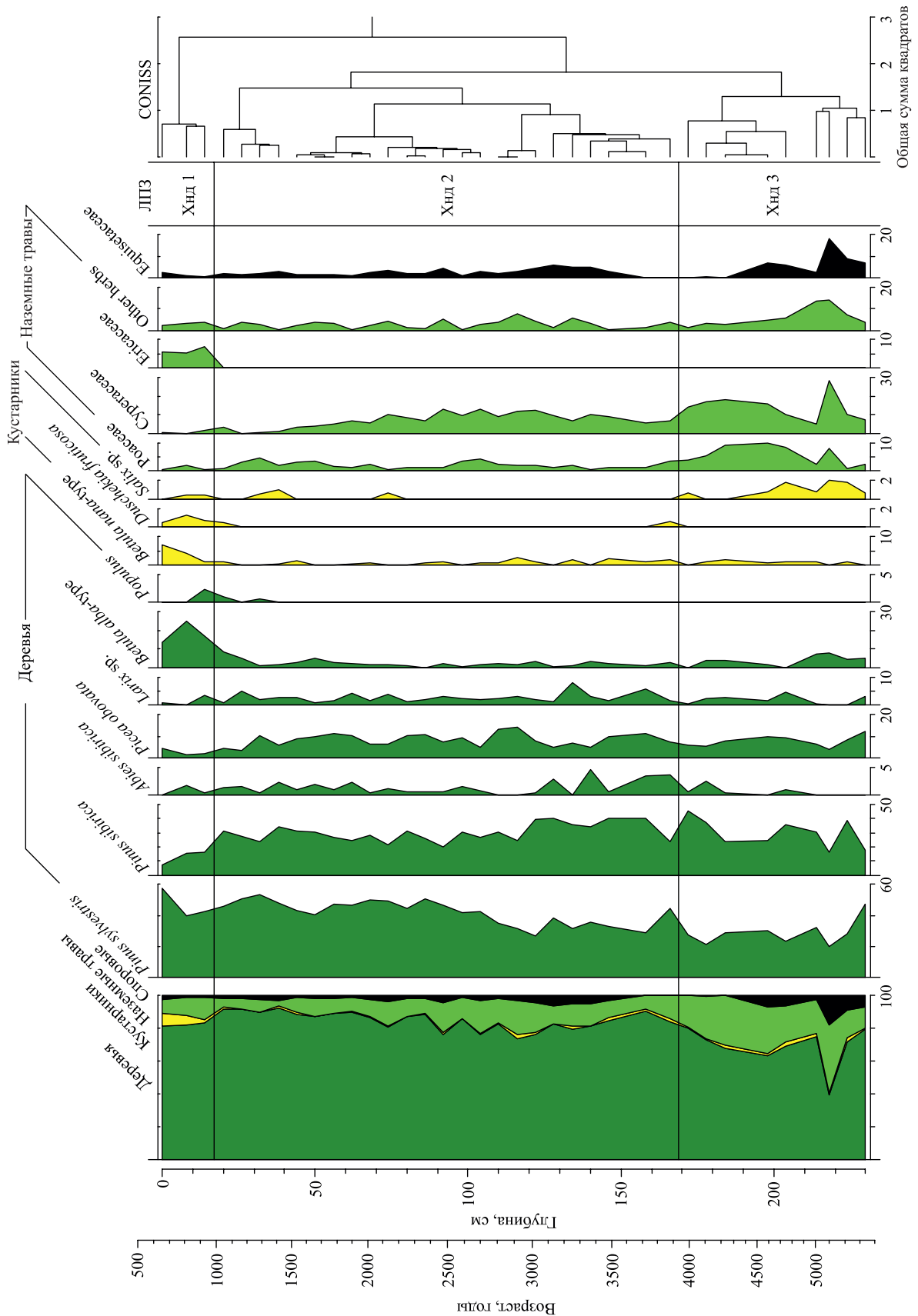


Рис. 4. Содержание основных пыльцевых таксонов в разрезе торфяника Хендыркул по отношению к глубине и возрасту отложений, %.

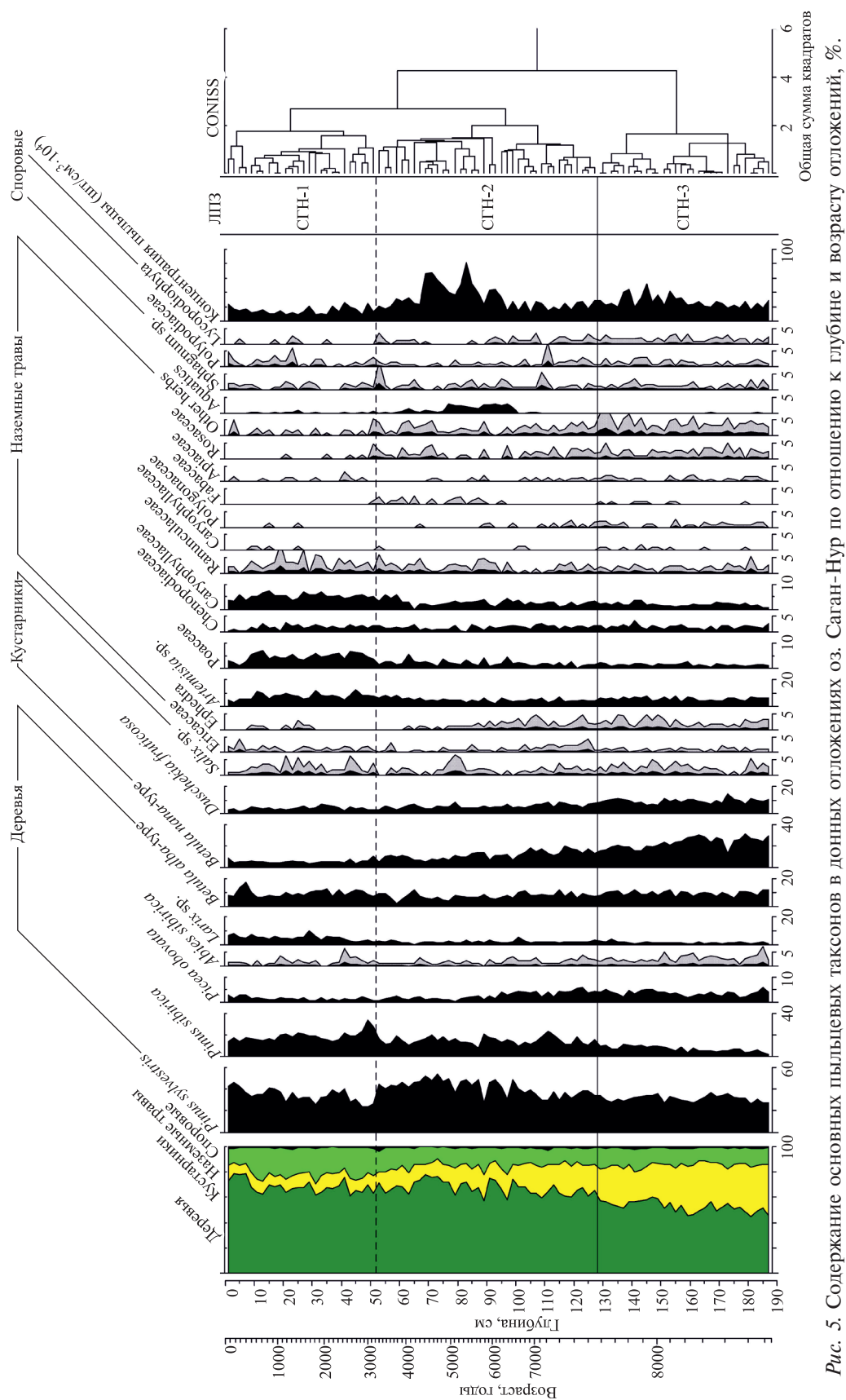


Рис. 5. Содержание основных пылевых таксонов в донных отложениях оз. Саган-Нур по отношению к глубине и возрасту отложений, %.

Во время формирования (5900–5800 л. н.) базального слоя заиленного речного аллювия основу субрегиональной растительности составляли темнохвойные леса из сосны сибирской, пихты и ели (ЛПЗ Хн-1-3). В локальной растительности долины р. Ханды господствовали ивово-ерниковые группировки. Заболачивание этого участка долины и формирование болота лесного типа, покрытого вересковыми кустарничками и сфагновыми мхами, началось около 5800 л. н. (см. рис. 2, ЛПЗ Хн 3).

В субрегиональном растительном покрове во временном интервале 5900–4600 л. н. возросло участие сосны обыкновенной (см. рис. 2), а в пределах котловины доминировали лиственнично-сосновые леса с участием кедра. Реконструкция биомов показывает преобладание таежного типа растительности (5900–4600 л. н.), за которым следует тундровый (рис. 3).

Во временном интервале 4600–2600 л. н. в субрегиональной растительности (см. рис. 2, ЛПЗ Хн 2б) преобладали леса из кедра, пихты и ели. Однако в структуре лесного покрова произошло максимальное за весь изученный интервал времени расширение площадей с сосной обыкновенной. Известно, что естественное распространение этого эвритерного хвойного дерева ограничено вечной мерзлотой, близкое залегание слоя которой может привести к повреждению корней [15]. Ранее было отмечено [3], что более высокая, чем современная, летняя инсоляция в раннем голоцене способствовала деградации мерзлоты и распространению сосны обыкновенной в Восточной Сибири. Однако палинологическая запись из торфяника Ханда свидетельствует о наступлении самых благоприятных условий для сосны в конце среднего — начале позднего голоцена. Вероятной причиной этого могла быть более поздняя деградация многолетнемерзлых пород в этом субрегионе, где мерзлота и сейчас играет важную роль. Реконструкция биомов в бассейнах озер Очаул и Котокель [16] также показывает преобладание таежного типа растительности с его незначительным сокращением в диапазоне 4000–3000 л. н.

В интервале времени от 2600 до 1050 л. н. (см. рис. 2, ЛПЗ Хн 2б) происходили неоднократные изменения гидрологического режима болота, что способствовало распространению осоковых и/или сфагновых ассоциаций. В пределах котловины и ее бортов произрастали елово-кедровые с пихтой, сосной и лиственницей леса, но доля сосны в них снизилась. На протяжении последних ~1050 лет в субрегиональной растительности Хандинской котловины реконструировано продолжающееся снижение роли сосны и повышение — кедра, березы, лиственницы (см. рис. 2, Хн 1). В последние примерно 300 лет болото, вероятно, перешло в верховую стадию с преобладанием на его поверхности ерников и сфагнумов. Максимальное расселение лиственницы произошло в последние ~100 лет. Этот вывод следует из установленной закономерности оседания массы пыльцы лиственницы вблизи продуцирующих ее деревьев [2].

Пыльцевая летопись торфяника Хендыркул позволяет реконструировать состав и структуру растительности южной части Ангара-Ленского плато Прибайкалья за последние 5300 лет. В локальной растительности урочища Хендыркул в диапазоне от 5300 до 3900 л. н. (см. рис. 4, ЛПЗ Хнд 3) преобладали кедрово-елово-лиственничные леса. Растительный покров болотного массива в интервале 5300–4700 л. н. был представлен мозаичным сочетанием осоково-хвощевых и ивово-ерниковых группировок, а в интервале 4700–3900 л. н. — злаково-осоковым разнотравьем (см. рис. 4). В составе субрегиональной растительности юга Ангара-Ленского плато господствовали леса из лиственницы, сосны и кедра с участием ели, реже — пихты. Реконструкция биомов показывает преобладание таежного типа, которому сопутствовал тундровый (см. рис. 3).

Во временном интервале 3900–1000 л. н. (см. рис. 4, Хнд 2) расширяются площади таежных биомов за счет повышения доли сосны в структуре субрегиональных лесов. Учитывая особенности рассеивания пыльцы ели и лиственницы, можно сказать, что эти породы продолжали доминировать вблизи болотного массива [17].

Повышение обилия пыльцы березы ок. 1000–600 л. н. (см. рис. 4, Хнд 1), вероятно, отражает формирование березовых насаждений на месте кедрово-елово-лиственничных лесов. Поверхность болота в это время становится сухой, что способствовало расселению вересковых кустарничков и ерников. Продолжающееся повышение значений таежного биом (см. рис. 3) отражает усиливающуюся роль лесной растительности в субрегиональном плане. Отсутствие верхнего слоя отложений не позволило реконструировать характер растительности юга Ангара-Ленского плато за последние 600 лет.

Пыльцевая летопись из донных отложений оз. Саган-Нур характеризует динамику растительности водосборной территории озера и центральной части Окинского плато за последние 8600 лет.

В диапазоне 8600–7500 л. н. (см. рис. 5, ЛПЗ Сгн 3) вблизи водоема произрастали кустарниковые ассоциации из ольховника, ерников и ив. Хорошо прогреваемые склоны горной котловины занимали разнотравно-марево-полынные остепненные сообщества. В наиболее благоприятных местах обитания

встречались лесные участки с елью, лиственницей и березой (см. рис. 5). Относительно низкое обилие пыльцы кедра (около 10 %) и сосны (менее 40 %) свидетельствует о редком присутствии этих деревьев в структуре локальных лесов. С другой стороны, учитывая постоянное присутствие пыльцы сосны и кедра и то, что пыльца этих видов разносится ветром на значительные расстояния (>80 км) от мест произрастания [18], следует предположить, что леса с их участием формировали субрегиональную растительность центральной части Окинского плато на более низких гипсометрических уровнях. Результаты биомизации показывают преобладание таежного и тундрового биомов (см. рис. 3).

Во временном интервале 7500–3200 л. н. (см. рис. 5, ЛПЗ Сгн 2) повышение обилия пыльцы древесных, включая сосну и кедр, свидетельствует о расширении лесных площадей в центральной части Окинского плато и предполагает потепление климата. Подъем верхней границы леса с участием сосны в Восточном Саяне с ~7500 л. н. происходил синхронно с ее экспансией в горах юга Сибири и других регионах Северной Азии [7, 19]. Вместе с тем в составе локальной растительности бассейна оз. Саган-Нур преобладали лиственничные леса с участием кедра, с ерниками, ольховником, ивами. На рассматриваемом отрезке времени реконструировано сокращение ельников, возможно, из-за общей перестройкой гидрографической сети в центральной части Окинского плато [7, 20]. В последние 3200 лет (см. рис. 5, ЛПЗ Сгн 1) отмечено повышение обилия пыльцы полыни, злаковых, маревых и осоковых, что указывает на разреженность лесного покрова, а реконструкция биомов — на расширение степных пространств (см. рис. 3). Рост значений пыльцы лиственницы предполагает локальное и субрегиональное доминирование лиственничных лесов в более холодном, чем ранее, климате.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты палеогеографических реконструкций позволили выявить особенности формирования современной структуры растительного покрова в различных субрегионах юга Восточной Сибири в среднем-позднем голоцене. В пределах изученных территорий была установлена гетерохронность максимального развития как темнохвойной, так и светлохвойной тайги, что подчеркивает определяющую роль субрегиональных природно-климатических факторов в трансформации регионального климата голоцена. Вероятно, одним из таких важнейших факторов является положение верхней границы многолетнемерзлых пород, ограничивающей распространение некоторых древесных, задерживая его на несколько столетий по сравнению с субрегионами вне зоны многолетней мерзлоты.

Общая черта динамики биомов в изученных субрегионах — это постепенное расширение лесного с некоторым его сокращением в интервале времени 4000–3000 л. н. (см. рис. 3). Ослабление роли лесного биома в это время реконструировано и для высокогорной зоны Окинского плато, а также для бассейна озер Очаул и Котокель (см. рис. 1). Роль степного биома оказалась заметной только в бассейне оз. Саган-Нур. Повышение обилия пыльцы березы, скорее всего, соответствует формированию вторичных березовых насаждений на месте хвойных лесов и связано с деятельностью человека (пожары, вырубки).

Динамика степного биома на Окинском плато в среднем-позднем голоцене показывает существенную синхронность с изменениями интенсивности влагонесущего летнего муссона, записанной в сталагмитах из Китая (см. рис. 3). Постепенное расширение лесного биома происходило вслед за снижением континентальности климата Северного полушария, получившей отражение в снижении летней и повышении зимней инсоляции.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (23-17-00067, часть палинологического анализа из керн донных отложений оз. Саган-Нур) и в рамках темы государственного задания Института геохимии СО РАН (0284-2021-0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kobe F., Bezrukova E.V., Leipe C., Shchetnikov A.A., Goslar T., Wagner M., Kostrova S.S., Tarasov P.E. Holocene vegetation and climate history in Baikal Siberia reconstructed from pollen records and its implications for archaeology // *Archaeological Research in Asia*. — 2020. — Vol. 23. — <https://doi.org/10.1016/j.ara.2020.100209> (дата обращения 02.05.2023).
2. Bezrukova E.V., Shchetnikov A.A., Kulagina N.V., Amosova A.A. Lateglacial and Holocene vegetation and environmental change in the Jom-Bolok volcanic region, East Sayan Mountains, South Siberia, Russia // *Boreas*. — 2021. — Vol. 50 (4). — P. 935–947.

3. **Выркин В.Б.** Котловины Среднесибирского плоскогорья: расположение, морфология и современное рельефообразование // Изв. Иркутск. ун-та. Сер. «Науки о Земле». — 2020. — Т. 32. — С. 20–31.
4. **Jarvis A., Reuter H.I., Nelson A., Guevara E.** Hole-filled Seamless SRTM data V4 // International Centre for Tropical Agriculture, Scientific Research, An Academic Publisher (CIAT). — 2008 [Электронный ресурс]. — <https://srtm.csi-cgiar.org> (дата обращения 12.04.2023).
5. **Vladimirov I.N., Vyrkin V.B., Ilyicheva E.A., Kobylkin D.V., Pavlov M.V., Zehong Li.** Natural Conditions and Ecological Potential of Geosystems in the Central Part of the Oka Plateau (Eastern Sayan) // Geography and Natural Resources. — 2019. — Vol. 40, N 3. — P. 264–274.
6. **Безрукова Е.В., Белов А.В., Летунова П.П., Кулагина Н.В.** Отклик природной среды Ангара-Ленского плато на глобальные изменения климата в голоцене // Геология и геофизика. — 2014. — Т. 55, № 4. — С. 594–604.
7. **Безрукова Е.В., Решетова С.А., Волчатова Е.В., Кузьмин М.И.** Первые реконструкции ландшафтно-климатических изменений в центральной части Окинского плато (Восточный Саян) в среднем-позднем голоцене // Докл. РАН. Науки о Земле. — 2022. — № 506 (1). — С. 104–110.
8. **Blaauw M., Christen J.A.** Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // Bayesian Analysis. — 2011. — N 6. — P. 457–474.
9. **Blaauw M., Christen J.A., Vazquez J.E., Goring S.** Classical Age-Depth Modelling of Cores from Deposits. R Package Version 2.5.0. — 2022 [Электронный ресурс]. — <https://CRAN.R-project.org/package=clam> (дата обращения 27.02.2023).
10. **Heaton T.J., Blaauw M., Blackwell P.J., Bronk Ramsey Ch., Reimer P.J., Marian Scot E.** The IntCal20 Approach to Radiocarbon Calibration Curve Construction: A New Methodology Using Bayesian Splines and Errors-in-variables // Radiocarbon. — 2020. — N 62 (4). — P. 821–863.
11. **Stockmarr J.** Tablets with spores used in absolute pollen analysis // Pollen et Spores. — 1971. — N 13. — P. 615–621.
12. **Grimm E.C.** Tilia 1.7.16 Software. — Springfield, IL: Illinois State Museum // Research and Collection Center. — 2011.
13. **Laskar J., Robutel P., Joutel F., Gastineau M., Correia A.C.M., Levrard B.** A long-term numerical solution for the insolation quantities of the earth // Astronomy Astrophysics. — 2004. — Vol. 428. — P. 261–285.
14. **Wang Y., Cheng H., Edwards R.L., He Y., Kong X., An Z., Wu J., Kelly M.J., Dykoski C.A., Li X.** The Holocene Asian monsoon: Links to solar changes and North Atlantic climate // Science. — 2005. — Vol. 308. — P. 854–857.
15. **Шумилова Л.В.** Основные черты естественного растительного покрова Сибири и его географическое распространение // Изв. Томск. ун-та. — 1960. — № 148. — С. 171–182.
16. **Kobe F., Hoelzmann P., Gliwa J., Olschewski P., Peskov S., Shchetnikov A.A., Danukalova G., Goslar T., Leipe C., Wagner M., Bezrukova E.V., Tarasov P.E.** Lateglacial–Holocene environments and human occupation in the Upper Lena region of Eastern Siberia derived from sedimentary and zooarchaeological data from Lake Ochaul // Quaternary International. — 2022. — Vol. 623. — P. 139–158.
17. **Bezrukova E.V., Abzaeva A.A., Letunova P.P., Kulagina N.V., Vershinin K.E., Belov A.V., Orplova L.A., Danko L.V.** Post-glacial history of Siberian Spruce (*Picea obovata*) in the Lake Baikal Area and the significance of this species as paleo-environmental indicator // Quaternary International. — 2005. — Vol. 136. — P. 18–32.
18. **Ma Y.Z., Liu K.-B., Feng Z.D., Sang Y.L., Wang W., Sun A.Z.** A Survey of modern pollen and vegetation along a south-north transect in Mongolia // Journ. of Biogeography. — 2008. — Vol. 35. — P. 1512–1532.
19. **Zhang D., Feng Z.** Holocene climate variations in the Altai Mountains and the surrounding areas: A synthesis of pollen records // Earth-Science Reviews. — 2018. — Vol. 185. — P. 847–869.
20. **Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Решетова С.А., Щетников А.А., Крайнов М.А., Филинов И.А.** Природная среда Окинского плато (горы Восточного Саяна) в позднем ледниковье и голоцене: пример палинологической летописи из отложений озера Хикушка // Геоморфология. — 2022. — Т. 53 (3). — P. 61–73.

Поступила в редакцию 08.06.2023

После доработки 21.07.2023

Принята к публикации 11.10.2023