

Экология

УДК 574.32

**Пирогенный фактор формирования позднеплейстоценовых
экосистем Якутии**

А.В. Протопопов*, В.В. Протопопова**

* Академия наук Республики Саха (Якутия), г.Якутск, Россия

** Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Россия
e-mail: a.protoporov@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен пирогенный фактор как один из ключевых экологических факторов, формировавших позднеплейстоценовые экосистемы Северного полушария, служившие кормовой базой для мамонтовой мегафауны. Отсутствие прямых свидетельств распространения пожаров в позднем плеистоцене, а также сложность определения их влияния на формирование экосистем были скомпенсированы моделированием на актуалистических принципах современного распространения пожаров на территории России в зависимости от макроклиматических показателей. Распад (исчезновение) мамонтового фаунистического комплекса мог быть связан с сильными изменениями биоценозов в раннем голоцене, когда вследствие изменения климата в сторону увеличения осадков и понижения среднегодовых температур воздействие пирогенного фактора было сведено к минимуму. Это привело к тому, что стабилизированные на травяной стадии постпирогенного сукцессионного процесса луговые сообщества, в позднем плеистоцене являвшиеся фактически зональным типом растительности, сильно сократили свои площади, уступив свое место лесным формациям. Впоследствии, в атлантическое время голоцена и позднее, количество природных пожаров на территории Якутии возросло, но из-за отсутствия крупных и гигантских растительноядных животных стабилизация сукцессий на травяных стадиях прекратилась и началось наступление лесных формаций.

Ключевые слова: Якутия, поздний плеистоцен, пирогенный фактор, изменения климата, распад мамонтового фаунистического комплекса.

Благодарности: работа выполнена при поддержке проекта: «Фундаментальные и прикладные аспекты изучения разнообразия растительного мира Северной и Центральной Якутии». Регистрационный номер: ААА-А17-117020110056-0.

Pyrogenic Factor in the Late Pleistocene Ecosystems of Yakutia

A.V. Protopopov*, V.V. Protopopova**

* The Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia

** Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia
e-mail: a.protopopov@mail.ru

Abstract. The article considers the pyrogenic factor as one of the key environmental factors that formed the late Pleistocene ecosystems of the Northern Hemisphere that served as the fodder base for the mammoth

ПРОТОПОПОВ Альберт Васильевич – к.б.н., в.н.с.; ПРОТОПОПОВА Виктория Валерьевна – инженер I категории.

megafauna. The lack of direct evidence of the spread of fires in the Late Pleistocene, as well as the difficulty in determining their influence on the formation of ecosystems, was compensated by modeling on the actualistic principles of the current spread of fires in the territory of Russia, depending on macro-climatic indices. The disintegration (disappearance) of the mammoth faunal complex could be associated with strong biocenoses changes in the early Holocene, when due to climate change in the direction of increasing precipitation and lowering the average annual temperatures, the effect of the pyrogenic factor was minimized. This led to the fact that meadow communities stabilized in the grassy stage of the post-pyrogenic succession process, in the late Pleistocene, were actually a zonal type of vegetation, greatly reduced their areas, giving way to forest formations. Subsequently, in the Atlantic time of the Holocene and later, the number of wildfires in the territory of Yakutia increased, but due to the absence of large and giant herbivores, the stabilization of successions in grassy stages ceased and the onset of forest formations began.

Key words: Yakutia, Late Pleistocene, pyrogenic factor, climate change, decay of mammoth faunal complex.

Acknowledgments: the work was supported by the project: «Fundamental and Applied Aspects of Exploring the Flora of Northern and Central Yakutia». Registration number: AAAA-A17-117020110056-0.

Введение

Распад мамонтового фаунистического комплекса и коренные изменения в составе растительного покрова Северного полушария на рубеже плейстоцена и голоцена большинством исследователей объясняются глобальным потеплением климата. Дискуссионным моментом остается то, что в течение всего плейстоцена происходили изменения климата, не уступающие, а то превосходившие те, что случились более 10 тыс. лет назад. Дело, видимо, не ограничилось только потеплением климата либо его увлажнением, свою роль, возможно, сыграли и другие экологические факторы, изменения которых были спровоцированы климатическими трендами. Одним из них мог быть пирогенный фактор.

Современная Якутия является одним из наиболее пожароопасных субъектов России. Это обусловлено как резко континентальным климатом с характерным жарким и засушливым летом, так и наличием обширных массивов светлохвойных лесов, занимающих большую часть территории республики. По данным Якутской базы авиационной охраны лесов, в среднем ежегодно регистрируется более 500 очагов лесных пожаров на площади ~140 тыс. га. Основная причина лесных пожаров здесь – грозовая активность.

Природные пожары оказывают на современные лесные экосистемы Якутии определяющее значение, формируя катахлиматические или субклиматические пирофитные лиственничные леса [8]. Климатической стадией развития северотаежных лиственничных лесов без воздействия пирогенного фактора являлись бы заболоченные низкотемпературные редины с господством зеленых мхов. Одной из главных причин этого служит то, что в зоне распространения многолетней мерзлоты процессы накопления мертвой органики в лесах превалируют над его разложе-

нием. При таком установлении экологического равновесия происходит постепенное накопление грубогумусовой подстилки, сопровождаемое интенсивным развитием мхов, что приводит к ухудшению гидротермического режима почв и поднятию уровня мерзлоты [11]. В таких лесах активизируются процессы заболачивания с постепенной деградацией древостоя, сильно затруднено естественное возобновление лесообразующих пород. Следует подчеркнуть то, что лиственничные леса не какое-то уникальное явление. Лесные или природные пожары – один из мощнейших экологических факторов, формирующих современный облик растительного покрова во многих районах Земли. Именно благодаря периодическому воздействию пожаров существуют такие типы растительных сообществ, как саванна, буш, финбош, чаппараль и др.

Если природные пожары являются одним из экологических факторов, определяющих облик многих современных растительных сообществ, то вероятно, что они могли влиять на облик и структуру растительного покрова Якутии в позднем плейстоцене и иметь определенное значение на рубеже плейстоцена и голоцена, когда распался мамонтовый фаунистический комплекс.

Материалы и методика исследований

Возможность распространения огня в лесных сообществах изучалась при помощи шкал пожарной опасности лесов по погодным условиям В.Г. Нестерова [6]. Горимость в позднем плейстоцене Якутии косвенно установили путем вычисления количества пожароопасных дней за сезон, в качестве исходных данных использовали реконструкцию палеоклимата позднего плейстоцена по палеогеографическим данным [7]. По данным о лесных пожарах, произошедших за период с 1955 по 2012 г. на территории Якутии, в среднем в год отмечается до 900 пожаров [9].

По ежедневным данным о температуре воздуха, осадках и температуре точки росы были вычислены показатели Нестерова на каждый день пожароопасного сезона и подсчитано число пожароопасных дней в сезоне. Эти значения в дальнейшем использовались для вычисления возможного числа пожароопасных дней в казанцевское межледниковые (рисс-вюрм) позднего плейстоцена и в атлантический период голоцена Якутии на основе палеоклиматических данных. Были выполнены вычисления по уравнению линейной регрессии значений числа дней N с показателем >1000 в зависимости от среднемесячной температуры (t) и месячной суммы осадков (P): $N=btT+bpP$.

Результаты и обсуждение

Установлена линейная зависимость количества лесных пожаров для настоящего времени, возникших по природным причинам от средней температуры июля и уровня среднегодовых осадков пожароопасного периода на территории современной Якутии, с коэффициентами аппроксимации $R^2=0,4856$ и $R^2=0,6122$ (рис. 1, 2). $Y=$

$0,25668x+81,758$, где Y – число лесных пожаров, x – осадки.

Нужно отметить, что возникновение лесных пожаров находится в прямой зависимости от погодных условий, первостепенными из которых являются количество осадков и значение летних температур, влияющих на влажность лесных горючих материалов. Для десяти регионов России указаны средние температуры и среднее количество осадков за пожароопасный период и среднее число пожаров на 100 тыс. га, возникших по природным причинам, как правило, от ударов молний. Крайняя зависимость частоты пожаров от осадков и летних температур из рассмотренных регионов отмечается в Якутии и Хабаровском крае, в первом случае наблюдаем максимальное число пожаров, во втором – минимальное (рис. 3).

В казанцевское межледниковые (рисс-вюрм) средние температуры июля по Якутии были на $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше современных и составляли примерно $24\text{ }^{\circ}\text{C}$, годовая сумма осадков была почти равна современным и составляла 250–300 мм (менее 75 мм за пожароопасный сезон)[7]. В атланти-

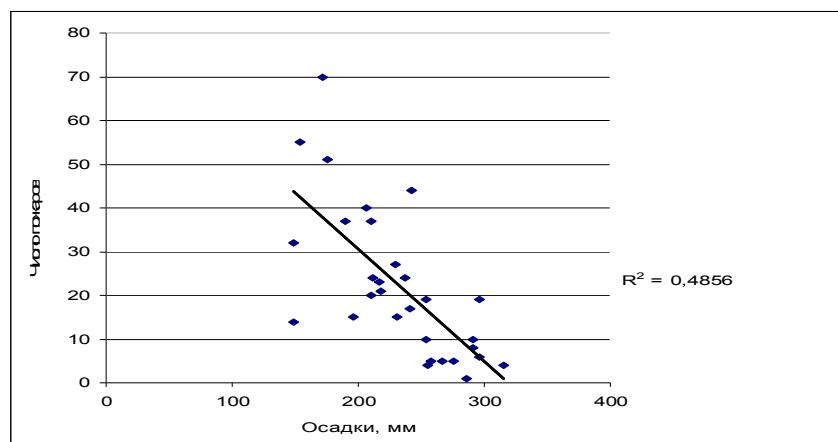


Рис. 1. Зависимость числа лесных пожаров от осадков в Якутии

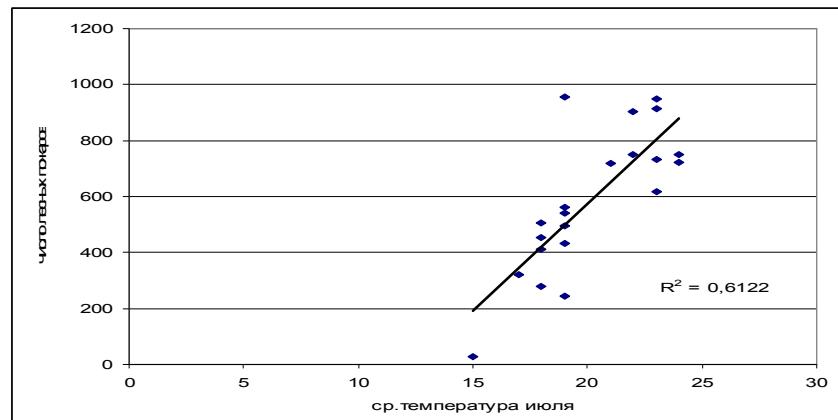


Рис. 2. Зависимость числа лесных пожаров от средней температуры июля в Якутии, $^{\circ}\text{C}$

ПИРОГЕННЫЙ ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ЭКОСИСТЕМ ЯКУТИИ

ческое время голоцена средняя температура июля была выше современной на 2 °С либо равна (20,5 °С), годовая сумма осадков больше на 50 мм либо равна (260 мм, менее 75 мм за пожароопасный сезон). Такое соотношение количества осадков и среднелетних температур для рисс-вюрома способствует увеличению количества пожаров, так как баланс смещается в сторону большего иссушения растительных горючих материалов.

Предполагается, что в казанцевское межледниково (рисс-вюром) число дней с пожарами, примерно, на 25 дней больше, чем в данное время, т.е. из 114 дней пожароопасного периода

55 дней были с пожарами. В атлантическое время голоцена количество дней с пожарами было примерно такое же, как и в настоящее время, около 35 дней в пожароопасном периоде (рис. 4).

Таким образом, в конце четвертичного периода роль пожаров на наземные экосистемы Якутии менялась в соответствии с климатическими колебаниями.

Еще одним косвенным доказательством того, что лесные пожары в плейстоцене имели широкое распространение, является пирофитность лиственничников и сосняков, ставших зональным типом растительности в плейстоцене и

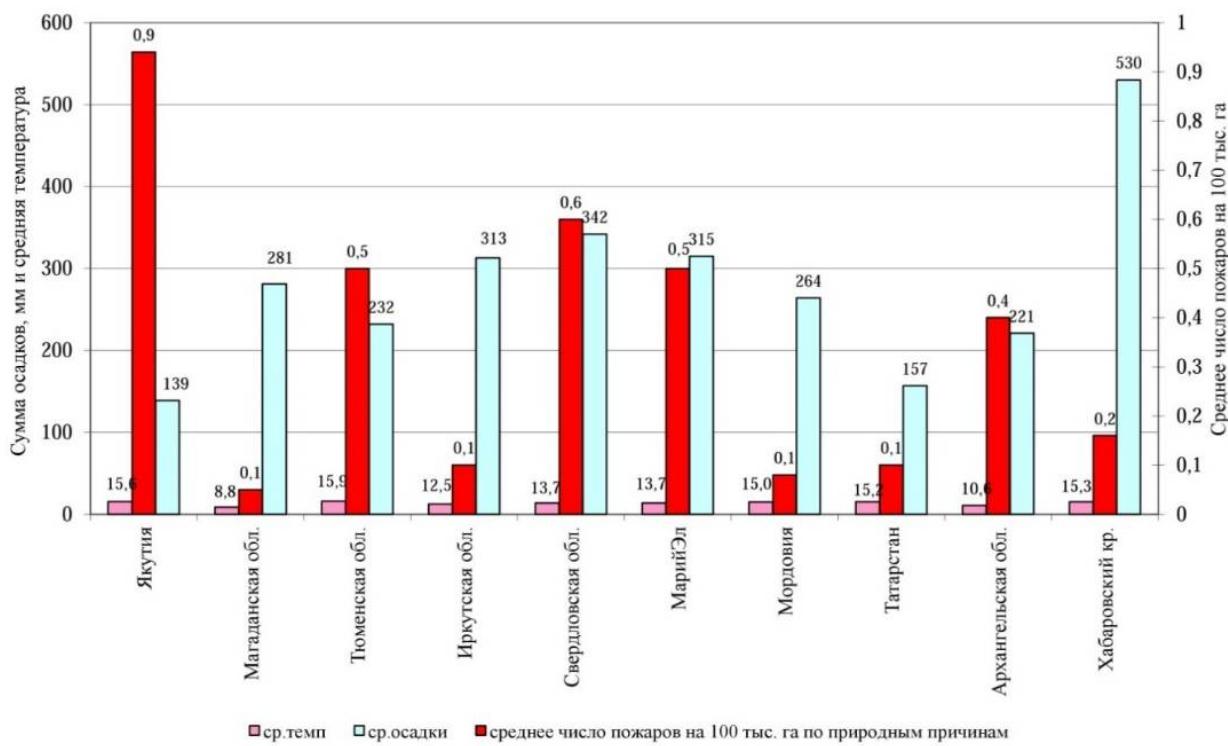


Рис. 3. Зависимость количества пожаров в разных регионах России от осадков и средних летних температур

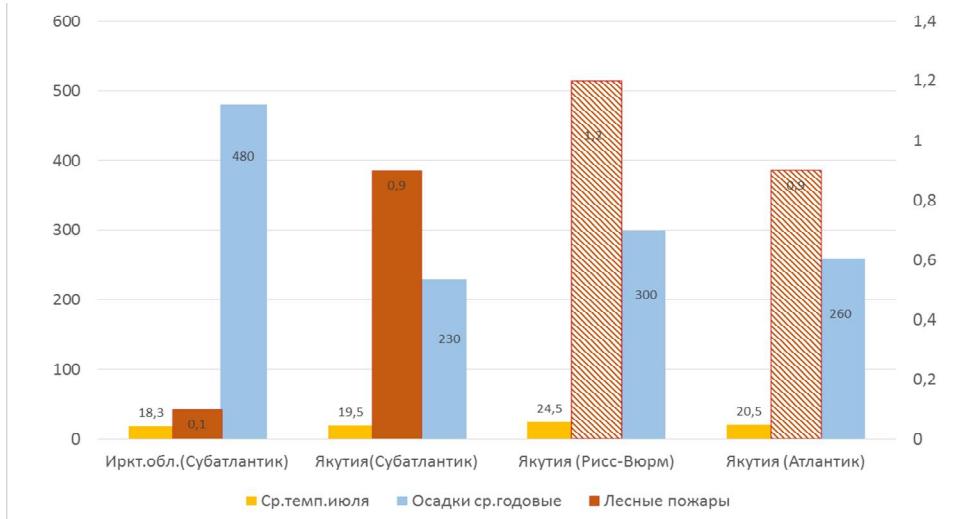


Рис. 4. Горимость лесов в позднем плейстоцене и в голоцене

продолжающих ими оставаться в Якутии в голоцене [2]. Эти виды получили определенное конкурентное преимущество перед менее огнестойкими елью сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), кедром (*Pinus sibirica* DuTour) и пихтой (*Abies sibirica* Ledeb.) [13, 14].

В условиях Якутии лесные пожары являются естественным фактором формирования и динамики развития лесов [4, 8, 12]. Здесь практически нет участка леса, который в тот или иной период времени не испытывал бы пирогенного воздействия. Поэтому современные лиственничные леса в основном представляют собой различные этапы восстановительных постпожарных сукцессий.

Пирофитность лиственничников, имевших в позднем плейстоцене Якутии широкое распространение [15], может свидетельствовать об определяющей роли пожаров, формировавших мамонтовые пастища наподобие современных африканских саванн.

Некоторые исследователи [1,18] отмечали конвергентное сходство между экосистемами современной африканской саванны с доминированием африканского слона (*Loxodonta Africana* Blum.,1797) и позднего плейстоцена Северного полушария с господством шерстистого мамонта (*Mammuthus primigenius* Blum.,1799). Сходство африканских саванн и позднеплейстоценовых формаций не ограничивается только фаунистической структурой. В зоне саванн благодаря пожарам леса покрывают всего 27 % территории Африки, хотя потенциально могли бы распространиться на 56 % [13]. Современные саванны являются катализмическим или субклиматическим типом растительности, стабилизировавшимся на травяной стадии сукцессионного процесса благодаря периодическому воздействию природных пожаров и справлявшимся с крупными стадными растительноядными животными, уничтожающими деревья и кустарники. Например, слоны уничтожают до 30 % взрослых деревьев в местах своего обитания, способствуя расширению злаковников и не давая разрастаться лесам [5]. Схожий процесс зоогенной стабилизации постпирогенного сукцессионного процесса на луговой стадии, способствовавший распространению высокопродуктивных травяных сообществ, мог происходить и в позднем плейстоцене Якутии.

Интродукция лесного бизона (*Bison bison athabasca* Rhoads, 1897) в Центральной Якутии, начатая в 2006 г., позволила провести наблюдения за влиянием выпаса крупных растительноядных животных в естественных условиях криоаридного климата. Было установлено, что бизоны наносят большой ущерб молодым лист-

венным и хвойным деревьям, что привело к расширению луговых участков [10]. Олугование лесных участков также часто наблюдается вблизи поселков, где происходит выпас крупного рогатого скота. Зоогенные причины формирования злаковников, сопровождаемые деструкцией лесных участков, а также стабилизацией постпирогенных сукцессий на травяной стадии, могли при определенных климатических условиях и соответствующей плотности крупных растительноядных животных привести к формированию и существованию неопределенно долгое время обширных площадей луговых сообществ.

Резкие колебания климата на границе плейстоцена и голоцена повлекли за собой радикальные изменения в растительном покрове, вызвали перестройку растительных зон. В этот период отмечается широкое распространение лесных фитоценозов вместо травяных плейстоценовых сообществ, а на севере формируется тундра [2]. Тогда же происходит распад мамонтового фаунистического комплекса, сопровождаемый вымиранием мамонтов, шерстистых носорогов, бизонов и других крупных животных в Якутии.

К тезису о том, что именно общее потепление климата на рубеже плейстоцена и голоцена способствовало распаду мамонтового фаунистического комплекса, нужно заметить, что в термохроны плейстоцена среднегодовые температуры повышались на гораздо большие показатели [7]. Скорее всего, действовал комплекс факторов, одним из которых были природные пожары. При общем потеплении климата, что произошло на рубеже плейстоцена и голоцена, должно было произойти увеличение количества пожаров, так как повышение средних температур воздуха положительно коррелируется с повышением значения комплексного показателя пожарной опасности [3]. Но бореальный период голоцена характеризуется более влажным и более холодным летом, чем в настоящее время [16,17], увеличение увлажнения растительных горючих материалов, несмотря на общее повышение температуры, резко снизило количество пожаров и роль пирогенного фактора в формировании наземных экосистем Северного полушария. В атлантическое время голоцена количество пожаров сравнялось с настоящим временем, так как снизилось число осадков по сравнению с предыдущим периодом.

Выводы

Таким образом, распад мамонтового фаунистического комплекса мог быть связан с масштабной перестройкой раннеголоценовых био-

ценозов, когда вследствие увеличения влажности воздуха и количества осадков, при относительно холодных летних температурах воздействие пирогенного фактора было сведено к минимуму. Это привело к тому, что стабилизированные на травяной стадии постпирогенного сукцессионного процесса луговые сообщества, в позднем плейстоцене являвшиеся фактически зональным типом растительности, сильно сократили свои площади, уступив свое место лесным формациям. В атлантическое время голоцен и после, когда количество природных пожаров Якутии возросло, из-за вымирания крупных и гигантских растительноядных животных некому стало стабилизировать сукцессии на травяных стадиях.

Литература

1. Верховская Н.Б. Мамонтовые экосистемы и причины их исчезновения // Журнал общей биологии. 1988. Вып. 49, № 1. С. 70–83.
2. Гитерман Р.Е. История растительности Северо-Востока СССР в плиоцене и плейстоцене. М.: Наука, 1985. 96 с.
3. Курбатский Н. П. Проблема лесных пожаров // Возникновение лесных пожаров. М.: Наука, 1964.
4. Лыткина Л.П., Протопопова В.В. Лесные пожары как экологический фактор формирования лесов Центральной Якутии // Наука и образование. 2006. №2. С. 50–56.
5. Насимович А.А. Африканский слон. М.: Наука, 1975.
6. Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. М.: Гослесбумиздат, 1949. 76 с.
7. Палеоклиматы и палеоландшафты внутритеческого пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен – голоцен: Атлас-монография / Под ред. А.А. Величко. М.: ГЕОС, 2009.
8. Поздняков Л.К. Мерзлотное лесоведение. Новосибирск: Наука, 1986. 192 с.
9. Протопопова В.В., Габышева Л.П. Пирогенный фактор и возобновительный процесс в лесах Центральной Якутии // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. URL: <http://www.science-education.ru/118-144853>.
10. Софронов В.М., Сметанин Р.Н., Степанова В.В. Интродукция лесного бизона (*Bison bison athabasca Rhoads*, 1897) в Центральной Якутии // Российский журнал биологических инвазий. 2011. № 4. С. 50–71.
11. Софронов М.А., Вакуров А.Д. Огонь в лесу. Новосибирск: Наука, 1981. 124 с.
12. Тимофеев П.А., Исаев А.П., Щербаков И.П. Леса среднетаежной подзоны Якутии. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1994. 140 с.
13. Шешуков М.А., Громыко С.А. Влияние пирогенного фактора на формирование лесов в различных зонально-географических условиях Дальнего Востока // Технические науки. Вестник ТОГУ. Томск, 2008. № 1 (8). С. 21–26.
14. Bond W.J., Woodward F.I., Midgley G.F. The global distribution of ecosystem in a world without fire // New Phytologist. 2005. V. 165, № 2. P. 525–538.
15. Geel van Bas, Protopopov A., Protopopova V., Pavlov I., J. van der Plicht, Guido B.A. van Reenen. Larix during the Mid-Pleniglacial (Greenland Interstadial 8) on Kotelnny Island, northern Siberia // Boreas. 2016. DOI: 10.1111/bor.12216. P. 1–8.
16. MacDonald G.M., Beilman D.W., Kuzmin Y.V., Orlova L.A., Kremenetski C.V., Shapiro B., Wayne R.K., Van Valkenburgh. Pattern of extinction of the woolly mammoth in Beringia // Nature Communications. 2012. DOI: 10.1038. P. 1–9.
17. Nazarova L., Lupfert H., Subetto D., Pstryakova L., Diekmann B. Holocene climate conditions in central Yakutia (Eastern Siberia) inferred from sediment composition and fossil chironomids of Lake Temje // Quaternary International. 2013. V. 290–291. P. 264–274.
18. Vereshchagin N.K., Baryshnikov G.F. The ecological structure of the «Mammoth Fauna» in Eurasia // Annales Zooloci Fennici. 1985. V. 28, no 3–4. P. 253–259.

Поступила в редакцию 20.10.2017