

ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ
Российской академии наук



основан в 1918 году



Российский
научный фонд



**ПЕРИГЛЯЦИАЛ
ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ
РАВНИНЫ
И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

**МАТЕРИАЛЫ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

РОСТОВ ВЕЛИКИЙ, 25–26 АВГУСТА 2023 г.

Ростов Великий
Москва
2023

УДК 551.89

ББК 26.82

Утверждено к печати Учёным советом Института географии РАН

Редакционная коллегия:

А. О. Макеев (МГУ имени М. В. Ломоносова),

А. В. Панин (ИГ РАН),

Д. А. Субетто (РГПУ им. А. И. Герцена)

Редакция, вёрстка:

Е. Д. Шеремецкая (ИГ РАН)

Рецензенты:

проф., д.г.н. С. И. Большов (МГУ имени М. В. Ломоносова)

проф., д.г.н. А. В. Чернов (МППГУ)

Перигляциал Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири. Материалы Всероссийской научной конференции. Ростов Великий, 25–26 августа 2023 г. [Электронное издание] – М.: ИГ РАН, 2023. 212 с.

ISBN 978-5-89658-069-0

Настоящий сборник представляет доклады, сделанные на Всероссийской научной конференции «Перигляциал Восточно-Европейской равнины», посвященной проблемам комплексного изучения палеогеографии, четвертичной геологии и геоморфологии поздневалдайской криолитозоны. География представленных исследований распространялась и на территорию Западной Сибири, что учтено в названии сборника. Материалы рассматривают ряд актуальных вопросов: реконструкции природных обстановок бывшей перигляциальной зоны по данным изучения озёрных и болотных архивов, восстановление времени и условий формирования криогенных реликтов и палеопочв в строении разрезов рыхлых отложений и пространственной организации почвенного покрова. Обсуждаются проблемы стратиграфии верхнечетвертичных толщ и происхождения покровных суглинков и лёссов, палеогидрологии рек и перестроек гидрографической сети. Сборник будет интересен специалистам в области четвертичного периода, географии почв и палеопочвоведения, геоморфологии, палеолимнологии, а также студентам и аспирантам перечисленных специальностей.

УДК 551.89

ББК 26.82

ISBN 978-5-89658-069-0

© Текст. Авторы, 2023

© ИГРАН, 2023

© МГУ имени М. В. Ломоносова, 2023

© РГПУ им. А. И. Герцена, 2023

ОПЫТ РЕКОНСТРУКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТА В ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ПОЗДНЕВАЛДАЙСКОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ ПО ПАЛЕОФЛОРИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ

О. К. Борисова ^{1,*}

¹ *Институт географии РАН, Москва, Россия*

** E-mail: olgakborisova@gmail.com*

В среднеширотной полосе Восточно-Европейской равнины переход от средневалдайского интерстадиала к максимуму последнего оледенения (LGM) был постепенным. В LGM летние температуры были наиболее низкими за всю эпоху поздневалдайского оледенения ($T_{июля}$ на 7–9 °C ниже современной). Поздняя часть LGM отличалась от ранней более низкими зимними температурами ($T_{январь}$ –21...–22 °C) и осадками ($P_{год}$). $T_{год}$ в LGM составляла около –6 °C. Это создавало условия для сплошного распространения многолетней мерзлоты и господства перигляциально-степной растительности. Потепление в позднем плейстоцене (17–19 тыс. л. н.) проявилось в повышении $T_{январь}$ и $P_{год}$. В холодные стадии позднеледникового (ранний, средний и поздний дриас) климат был более суровым и континентальным, чем в LGM: при близких среднегодовых температурах $T_{январь}$ была ниже на 3–6 °C, а годовая амплитуда температур достигала 45–50 °C, что почти в два раза больше, чем в LGM. Во время потепления бёллинг-аллерёд $T_{год}$ достигала +2 °C, $T_{июль}$ и годовая амплитуда температур приближались к современным, а $P_{год}$ была выше современной на 100–200 мм. В результате резкого потепления на рубеже позднеледникового и голоцена $T_{июль}$ достигла современного уровня. $T_{январь}$ в пребореале была ниже современной на 7–8 °C. В этих условиях на ВЕР происходило быстрое расселение древесных пород и формирование бореальных лесных сообществ. В раннем голоцене на фоне значительного потепления произошло несколько похолоданий продолжительностью около 200 лет (пребореальная осцилляция, событие 8.2 тыс. л. н. и др.).

Ключевые слова: максимум последнего оледенения; потепление в позднем плейстоцене; холодные стадии ранний, средний и поздний дриас; интерстадиал бёллинг-аллерёд

Целью данного исследования является реконструкция растительности и климата в перигляциальной области поздневалдайского оледенения. В основу реконструкции положены палинологические и прочие палеоботанические данные по датированным радиоуглеродным методом отложениям

различных этапов последнего оледенения из разрезов в средней полосе Восточно-Европейской равнины (ВЕР). В дополнение к традиционной интерпретации данных спорово-пыльцевого анализа проведены эколого-ценотический анализ ископаемых флор (Зеликсон, Монозон, 1981) и количествен-

ные реконструкции основных климатических показателей путем определения района наибольшей современной концентрации видов для каждой ископаемой флоры, то есть той территории, где в настоящее время совместно произрастают все виды данной флоры или их большинство (Гричук, 1969 и др.). Реконструкции, полученные на основе палеоботанических данных, были сопоставлены с другими палеогеографическими данными по аналогичным временным интервалам для той же территории, а также с результатами исследований изотопного состава кислорода в океанических осадках и в ледяных ядрах из Гренландии.

Плавный ход изменений соотношения легкого и тяжелого изотопов кислорода в глубоководных океанических осадках показывает, что в глобальном аспекте переход от заключительной теплой фазы морской изотопной стадии (МИС) 3 к термическому минимуму МИС 2 (Last Glacial Maximum – LGM) был постепенным (Lisiecki, Raymo, 2005). Это подтверждается результатами реконструкций по палеоботаническим данным, полученными для восточного сектора ВЕР, где растительность в максимальную фазу поздневалдайского оледенения представляла собой перигляциальную лесостепь (Гричук, 1982). Палинологические данные по разрезу Галич-2 (Величко и др., 2001) и эколого-ценотический анализ последовательного ряда ископаемых флор от оптимума заключительного (дунаевского) потепления средневалдайского мегаинтерстадиала до начала максимальной стадии поздневалдайского оледенения (Борисова, Нарышкина, 2023) свидетельствуют о постепенной перестройке в этот период состава и структуры растительных сообществ на окружаю-

щей озеро территории и об отсутствии резких климатических изменений на границе МИС 3 и 2. По эколого-ценотическому составу ископаемая флора первой половины LGM из разреза Галич-2 с возрастом около 24 тыс. калибр. л. н. (далее – тыс. л. н.) отличалась от флоры оптимума дунаевского интерстадиала только большим участием степных и луговых видов, в том числе галофильных, и меньшей долей болотных растений (Борисова, Нарышкина, 2023).

Несмотря на то, что похолодание на начальном этапе последнего оледенения развивалось постепенно, по своей амплитуде оно было весьма значительным. Реконструкция основных климатических показателей, проведенная при помощи метода ареалограмм, позволяет заключить, что интервал LGM характеризовался наиболее холодным летом за всю эпоху поздневалдайского оледенения: $T_{июля}$ была на 7–9 °C ниже современной. Среднегодовая температура ($T_{год}$) составляла около –6 °C, что создавало условия для сплошного распространения многолетней мерзлоты. Эти реконструкции соответствуют как результатам изучения реликтовых криогенных форм рельефа на территории ВЕР (Величко и др., 1982), так и изменениям изотопного состава кислорода, установленным для океанических осадков (Lisiecki, Raymo, 2005) и для ледниковых ядер из Гренландии (NorthGRIP Members, 2004; и др.).

Реконструкция для первой половины LGM из разреза Галич-2 (Борисова, 2021) показала, что средняя температура наиболее холодного месяца ($T_{январь}$) в этот период составляла -17 ± 3 °C, что ниже современной температуры на 8 ± 3 °C. При этом континентальность климата оставалась умерен-

ной – годовая амплитуда температур лишь немного превосходила современную, а среднегодовая сумма атмосферных осадков ($P_{год}$) была близка к современной. Климатические характеристики поздней, наиболее суровой части LGM – термического минимума валдайской ледниковой эпохи (около 21 тыс. л. н.) – реконструированы по палеофлористическим данным, полученным по отложениям усвячской свиты, распространенной в среднем течении р. Западной Двины. $T_{январь}$ в этот период понижалась до $-21...-22$ °С, а $P_{год}$ составляла 500 ± 100 мм, что приблизительно на 100 мм меньше современной суммы осадков на той же территории. Таким образом, климат поздней части LGM был более континентальным и сухим по сравнению с его ранней частью.

В позднем пленигляциале, 18-19 тыс. л. н., после окончания фазы наибольшего похолодания, в средней полосе ВЕР значительно возросло количество атмосферных осадков: отклонения $P_{год}$ от современного уровня составили $+300-+400$ мм (Борисова, 2021). Вероятно, в этот период увеличение атмосферных осадков при сохранении многолетней мерзлоты и высоких коэффициентах стока при дружном половодье приводило к повышению руслоформирующих расходов и, как следствие, к формированию крупных меандрирующих русел в перигляциальной области поздневалдайского оледенения (Sidorchuk et al., 2009). Около 17 тыс. л. н. потепление усилилось, температуры теплого сезона приблизились к современным, а $T_{год}$ впервые на протяжении позднего валдая достигла 0 °С, что должно было вызвать частичную деградацию многолетней мерзлоты в центральном регионе ВЕР (Борисова, 2021).

Это относительно кратковременное потепление в конце позднего пленигляциала сменилось новым похолоданием, наиболее ярко проявившимся в снижении зимних температур (отклонения $T_{январь}$ от современных значений составили $-14...-18$ °С), в увеличении континентальности климата и сокращении $P_{год}$ до уровня ниже современного. Эти изменения стали началом первой холодной стадии позднеледниковья – древнего, или раннего, дриаса. В конце раннего дриаса континентальность климата ещё более возросла, годовая амплитуда температур приблизилась к 50 °С, главным образом за счет снижения зимних температур (отклонения $T_{январь}$ от современных величин достигали $-20...-22$ °С). Годовая сумма осадков была на $100-200$ мм ниже современной (Борисова, 2021). Такая климатическая обстановка была благоприятной для нового этапа развития сплошной многолетней мерзлоты и господства перигляциально-степной растительности на ВЕР.

Соотношение легкого и тяжелого изотопов кислорода в ледяных ядрах из Гренландии (NorthGRIP Members, 2004; и др.) показывает, что в этом регионе палеотемпературы в LGM и в GS-2a (гренландский стадиал 2a), приблизительно соответствующий раннему дриасу европейской биостратиграфической шкалы, были близки между собой. Тем не менее, реконструкции, основанные на ареалогическом анализе ископаемых флор, свидетельствуют о том, что в средней полосе ВЕР климатические условия в раннем дриасе были значительно более суровыми, чем в LGM: при близких среднегодовых температурах $T_{январь}$ в эту холодную стадию была ниже на $3-6$ °С, а годовая амплитуда температур – больше на $10-15$ °С.

Основное потепление позднеледникового включает в себя интерстадиалы бёллинг и аллерёд, разделённые кратковременным похолоданием среднего дриаса. Анализ кислородно-изотопных кривых, полученных по гренландским ледниковым кернам, показывает, что потепление на рубеже раннего дриаса и бёллинга по скорости и амплитуде не уступало потеплению на границе голоцена, которое оценивается в 10 ± 4 °С менее чем за 50 лет (Grachev, Severinghaus, 2005). Согласно реконструкции по палеофлористическим данным для центральной части ВЕР (Борисова, 2021), это потепление наиболее ярко проявилось в росте зимних температур: от минимума в раннем дриасе до максимума в бёллинге $T_{\text{январь}}$ повысилась более чем на 15 °С. $T_{\text{июль}}$ в течение раннего дриаса и интерстадиалов бёллинг и аллерёд была близка к современной или ниже её на 1–2 °С. $T_{\text{год}}$ достигла положительных значений (до +2 °С) уже в бёллинге, что должно было вызвать деградацию сплошной многолетней мерзлоты, свойственной раннему дриасу, и прерывистое, а затем и островное её распространение. Годовая амплитуда температур в бёллинге-аллерёде приблизилась к современной. Снижение континентальности климата сопровождалось ростом увлажнения: $P_{\text{год}}$ была на 100–200 мм выше современной (Борисова, 2021). В это время в центральной части ВЕР происходило быстрое расселение древесных пород и формирование лесов из холодостойких экологически пластичных древесных пород – ели, берёзы и сосны.

В позднем дриасе в средней полосе ВЕР вновь установились более суровые климатические условия, чем в максимум последнего оледенения. Эта заключительная холодная

стадия позднеледникового отмечена в начале резким понижением $T_{\text{январь}}$, а затем, в меньшей степени, также $T_{\text{июль}}$, что выразилось в снижении $T_{\text{год}}$ до –6 °С. Похолодание климата в позднем дриасе создало благоприятные условия для последнего этапа распространения многолетней мерзлоты на ВЕР и увеличения ландшафтной роли открытых перигляциально-степных сообществ. $P_{\text{год}}$ в это время была на 100–200 мм меньше современной (Борисова, 2021).

Граница между позднеледниковьем и голоценом отмечена быстрым переходом от холодного резко континентального климата позднего дриаса к теплому умеренно-континентальному климату раннего голоцена. В пребореале и бореале $T_{\text{июль}}$ в средней полосе ВЕР была близка к современной, тогда как $T_{\text{январь}}$ все ещё оставалась ниже современной на 7–8 °С. Установление положительной $T_{\text{год}}$ привело к полной деградации многолетней мерзлоты в этом регионе. Количество осадков достигло современного уровня в пребореале, а затем несколько превысило его (Борисова, 2021). В этих условиях на ВЕР сложились бореальные лесные сообщества, близкие к современным, при сохранении реликтовых перигляциальных элементов во флоре и растительности.

В раннем голоцене, несмотря на освобождение ВЕР от поздневалдайского оледенения, в глобальном аспекте последнее оледенение все ещё продолжалось, поскольку деградация Лаврентийского ледникового покрова и связанных с ним приледниковых озёр оказывала влияние на климат, особенно значительное в Североатлантическом регионе. Следствием этих процессов было возникновение серии короткопериодных похолоданий раннего голоцена (Rasmussen

et al., 2006). По изменениям изотопного состава кислорода в ледяных ядрах из Гренландии установлено, что после начальной теплой фазы пребореала продолжительностью около 300 лет произошло резкое похолодание (т.н. пребореальная осцилляция — ПБО), продлившееся около 200 лет, после чего температура воздуха в Гренландии вновь повысилась на 4 ± 1.5 °C за несколько десятилетий (Kobashi et al., 2008). Степень проявления ПБО и других подобных похолоданий в целом сокращалась с запада на восток и на ВЕР была довольно слабой (Борзенкова и др., 2017; Borisova et al., 2022).

Выводы. Похолодание от оптимума заключительного интерстадиала среднего валдая до максимальной фазы поздневалдайского оледенения (LGM) в средней полосе ВЕР развивалось постепенно и неуклонно. В целом интервал LGM характеризовался наиболее холодным летом за всю эпоху поздневалдайского оледенения ($T_{июля}$ на $7-9$ °C ниже современной). Поздняя часть LGM отличалась от ранней части более низкими зимними температурами ($T_{января}$ $-21...-22$ °C) и осадками. $T_{год}$ составляла около -6 °C, что создавало условия для сплошного распространения многолетней мерзлоты и господства перигляциально-степных сообществ в растительном покрове.

Особый интерес представляет потепление в конце позднего плейстоцена, которое особенно ярко проявилось в повышении зимних температур и сопровождалось существенным ростом количества атмосферных осадков. Предположительно, этому потеплению соответствует этап резкого увеличения стока и формирования больших палеорусел в перигляциальной зоне ВЕР.

В холодные стадии позднеледникового климат был значительно более суровым и континентальным, чем в максимум поздневалдайского оледенения. В раннем, среднем и позднем дриасе при близкой $T_{год}$ годовая амплитуда температур достигала $45-50$ °C, что почти в два раза больше этого показателя для LGM.

К началу голоцена ВЕР полностью освободилась ото льда. Однако глобальная климатическая система все ещё продолжала функционировать по «гляциальному» сценарию, как показывает развитие ряда короткопериодных резких похолоданий раннего голоцена — ПБО, похолодание 8.2 тыс. л. н. и др. Их амплитуда на ВЕР была меньше, чем в северо-западной и северной Европе и в целом сокращалась в направлении с запада на восток.

Исследования проведены по теме Государственного задания Института географии РАН № 0148-2019-0005 (FMGE-2019-0005).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Борисова О. К. (2021) *Ландшафтно-климатические условия в центральной части Восточно-Европейской равнины в последние 22 тысячи лет (реконструкция по палеоботаническим данным)*. Водные ресурсы. Т. 48. № 6. С. 664–675. <https://doi.org/10.31857/S0321059621060031>

Борисова О. К., Нарышкина Н. Н. (2023) *Морская кислородно-изотопная стадия 3 – несостоявшееся межледниковье. LXXVI Герценовские чтения. География: развитие науки и образования: Материалы Международной научно-практической конференции 19–21 апреля 2023 года: в 2 т. Том. I.*

СПб: РГПУ им. А. И. Герцена. С. 314–319.

Борзенкова И.И., Борисова О.К., Жильцова Е.Л. и др. (2017) *Холодный эпизод около 8200 лет назад в Северной Европе: анализ эмпирических данных и возможных причин*. Лед и снег. 2017. Т. 57. № 1. С. 117–132. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-1-117-132>

Величко А.А., Бердников В.В., Нечаев В.П. (1982) *Реконструкции зоны многолетней мерзлоты и этапов её развития. Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет (Атлас-монография)*. М.: Наука. С. 74–81.

Величко А.А., Кременецкий К.В., Негенданк Й. и др. (2001) *Позднечетвертичная палеогеография северо-востока Европы (по данным изучения осадков Галичского озера)*. Известия РАН. Серия географическая. № 3. С. 42–54.

Гричук В. П. (1969) *Гляциальные флоры и их классификация*. Последний ледниковый покров на северо-западе Европейской части СССР. М.: Наука. С. 57–70.

Гричук В.П. (1982) *Растительность Европы в позднем плейстоцене*. Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет (Атлас-монография). М.: Наука. С. 92–109.

Зеликсон Э.М., Моносзон М.Х. (1981) *Флора и растительность бассейна Оки в интерстадиальные эпохи среднего плейстоцена*. Вопросы палеогеографии плейстоцена ледниковых и перигляциальных областей. М.: Наука. С. 91–110.

Borisova O., Naryshkina N., Konstantinov E. et al. (2022) *Landscape and climate changes in the Preboreal in the northwestern European Russia*. Геоморфология. Т. 53. № 3. С. 19–28. <https://doi.org/10.31857/S0435428122030051>

[org/10.31857/S0435428122030051](https://doi.org/10.31857/S0435428122030051)

Grachev A.M., Severinghaus J.P. (2005) *A revised $+10 \pm 4^\circ\text{C}$ magnitude of the abrupt change in Greenland temperature at the Younger Dryas termination using published GISP2 gas isotope data and air thermal diffusion constants*. Quaternary Science Reviews. Vol. 24. Iss. 5-6. P. 513–519. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.10.016>

Lisiecki L., Raymo M.A. (2005) *Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records*. Paleoceanography. Vol. 20. Iss. 1. PA1003. <https://doi.org/10.1029/2004PA001071>

Kobashi T., Severinghaus J., Barnola J.-M. (2008) *$4 \pm 1.5^\circ\text{C}$ abrupt warming 11,270 yr ago identified from trapped air in Greenland ice*. Earth and Planetary Sciences Letters. Vol. 268. Iss. 3-4. P. 397–407. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.01.032>

NorthGRIP Members. (2004) *High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the Last Interglacial period*. Nature. Vol. 431. P. 147–151. <https://doi.org/10.1038/nature02805>

Rasmussen S.O., Andersen K.K., Svensson A.M. et al. (2006) *A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination*. Journal of Geophysical Research-Atmospheres. Vol. 111. Iss. D6. D06102. <https://doi.org/10.1029/2005JD006079>

Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., Borisova O.K. (2009) *Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period*. Geomorphology. Vol. 113. Iss. 3-4. P. 137–157. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.007>