

УДК 551.435.132+551.89

ВОЗДЕЙСТВИЕ ГЛЯЦИОИЗОСТАТИЧЕСКИХ АДАПТАЦИЙ НА ДОЛИНЫ КРУПНЫХ РЕК ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ПЕРИФЕРИИ ПОЗДНЕВАЛДАЙСКОГО ЛЕДНИКОВОГО ПОКРОВА

Д. В. Баранов, А. В. Панин, А. О. Уткина, Н. Е. Зарецкая

*Институт географии РАН, Старомонетный пер. 29, стр. 4,
119017, г. Москва, Россия, dm_baranov@igras.ru*

В работе оценивается роль гляциоизостатического фактора в истории развития речных долин Волги и Вычегды. Установлено, что гляциоизостатические адаптации (ГИА) деформировали высоты третьей террасы Волги (увеличение вверх по течению) и второй террасы Вычегды (увеличение вниз по течению) за счёт компенсационного воздымания приледникового прогиба. Величина гляциоизостатического воздействия составила первые метры, что значительно меньше установленных ранее в юго-западной периферии поздневалдайского ледникового покрова и по данным гляциоизостатического моделирования.

Ключевые слова: гляциоизостатические адаптации; речные террасы; Волга; Вычегда; поздневалдайское оледенение.

INFLUENCE OF GLACIAL ISOSTATIC ADJUSTMENT (GIA) ON THE LARGE RIVER VALLEYS IN THE SOUTHEASTERN PERIPHERY OF THE LATE VALDAI ICE SHEET

D. V. Baranov, A. V. Panin, A. O. Utkina, N. E. Zaretskaya

*Institute of Geography RAS, Staromonetnyi lane, 29, 119017, Moscow, Russia,
dm_baranov@igras.ru*

This paper evaluates the role of the glacial isostatic factor in the Volga and Vychegda river valleys evolution. Glacial isostatic adjustment (GIA) deformed the heights of the Volga river third terrace (increase upstream) and the Vychegda river second terrace (increase downstream) due to the compensatory uplift of the periglacial trough. The magnitude of the glacial isostatic impact amounted to a few meters, which is significantly less than that established in the southwestern periphery of the Late Valdai ice sheet and according to glacial isostatic modeling data.

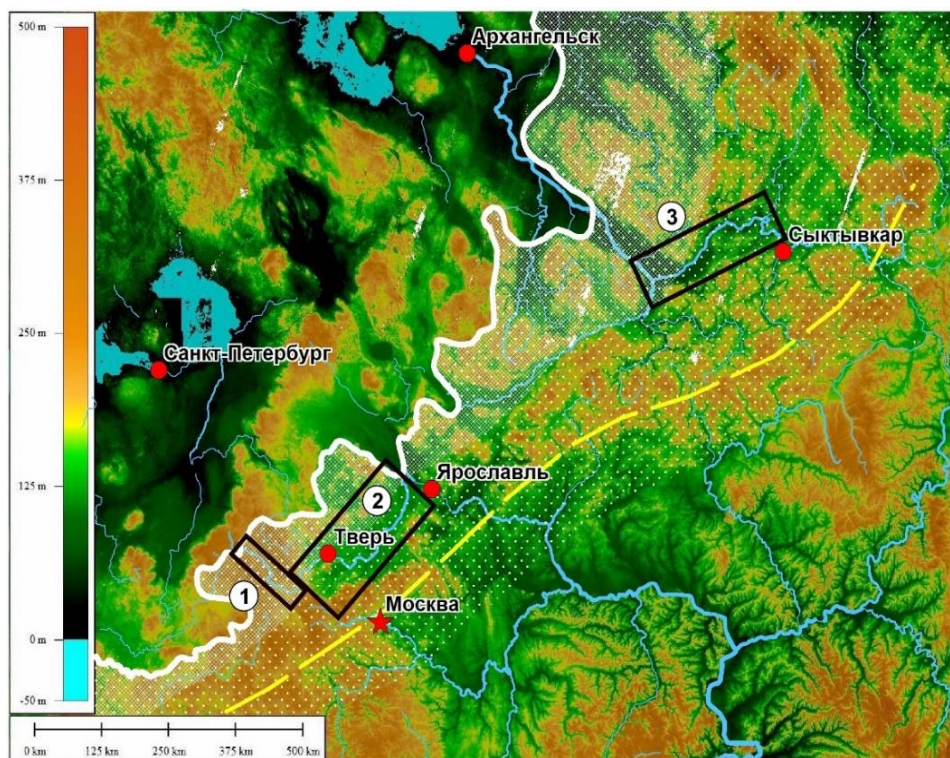
Key words: glacial isostatic adjustment (GIA); river terraces; Volga River; Vychegda River; Late Valdai glaciation.

Введение. Первые исследования деформаций земной коры, вызванных покровными оледенениями, известны с начала XX в. Начиная с последней четверти прошлого века исследования этого вопроса всё более и

более приковывают исследователей, во многом благодаря работам Н.А. Мернера [1], В.Р. Пельтье [2, 3], Е.Н. Былинского [4] и других. Последующие исследования [5–7] показали, что гляциоизостатическое воздействие не ограничивается вертикальными деформациями поверхности непосредственно под ледником, но и распространяется по его периферии (с образованием приледникового прогиба вдоль границы ледника и гляциоизостатического компенсационного вала на некотором отдалении), а также влияет на уровень Мирового океана, гравитационное поле Земли и другие характеристики. Для более точного наименования исследуемой области был предложен термин *glacial isostatic adjustment* (GIA) [2, 3], которому предлагается русскоязычный вариант гляциоизостатические адаптации (ГИА). В конце XX–начале XXI вв. появились работы, характеризующие воздействие ГИА на речные системы, расположенные в приледниковых областях крупных покровов Северной Америки [8, 9] и Евразии [6, 10]. Для приледниковой области Скандинавского оледенения Е. Н. Былинским [4, 6] были высказаны предположения о влиянии ГИА на формирование главного водораздела Восточно-Европейской равнины, а также образования подпрудного приледникового озера в долине р. Вычегды. Для юго-западной периферии этого оледенения наиболее выразительным является случай перестройки речной системы Рейн – Маас в нижнем течении: установлено [10], что в позднем плейстоцене смещение русла Рейна к югу и сближение с Маасом вызвано ГИА.

Проведённое гляциоизостатическое моделирование топографической поверхности северной половины Восточно-Европейской равнины для последнего ледникового максимума [11, 12] вкупе с данными Е.Н. Былинского позволили нам предположить, что протекающие по этой территории крупные реки могли испытывать значительное воздействие ГИА.

Район работ. Материалы и методы. Для выявления воздействия ГИА были выбраны участки рек Волги и Вычегды, по-разному ориентированные относительно границы последнего оледенения (рисунок). На каждом участке было детально исследовано геоморфологическое строение речных долин, выделены уровни надпойменных террас, которые были прослежены на всем протяжении участков, а также определен возраст аллювия методом ОСЛ. Полученные данные позволили реконструировать историю развития речных долин и оценить роль ГИА в их эволюции на основании построенных совмещённых профилей современного положения русла (для участков водохранилищ на р. Волге использовалось положение русла до затопления) и надпойменных террас для рек Волги (в верхнем течении) и Вычегды (в нижнем течении).



Участки исследования: 1 – валдайский, 2 – верхневолжский, 3 – нижневыхогдский. Условные обозначения: белая линия – граница поздневалдайского оледенения [13], желтая линия – предполагаемое положение оси компенсационного гляциоизостатического вала [по 6, 11, 12], белый крап – область воздействия ГИА, белая штриховка – приледниковый прогиб. Цифровая модель местности ASTER GDEM.

Результаты. В ходе работы установлено, что в долине верхней Волги выделяется три, а ниже устья р. Дубны две надпойменные террасы. Аллювий наиболее высокой из террас имеет возраст, соответствующий последнему ледниковому максимуму [14, 15], а её высота относительно уреза снижается от 16–17 м у устья р. Большой Коши до 12–14 м ниже устья р. Юхоти. При этом высота второй надпойменной террасы относительно уреза р. Волги остается стабильной на всем протяжении участка. Первая надпойменная терраса р. Волги сливается с поймой и ниже устья р. Дубны не прослеживается. В долине нижней Вычегды также выделены три надпойменных террасы. Аллювий второй надпойменной террасы имеет возраст, соответствующий последнему ледниковому максимуму [16, 17]. Относительная высота кровли аллювия этой террасы практически на всем протяжении участка выдержана на 6–7 м над урезом, однако в нижних 50 км постепенно увеличивается до 9 м. При этом высота первой надпойменной террасы не изменяется на всем протяжении рассматриваемого отрезка р. Вычегды.

Обсуждение результатов и выводы. Изменение продольного профиля террасы, время образования которой соответствует последнему ледниковому максимуму, дает право предполагать, что оно связано с действием ГИА. Это предположение подтверждается следующими положениями. Участок долины р. Волги выше г. Твери располагался в области приледникового прогиба (см. рисунок), следовательно, при снятии ледниковой нагрузки в позднеледниковье он испытал компенсационное поднятие, что и привело к увеличению на 2–3 м относительной высоты террасы р. Волги вверх по течению. Продольный профиль более молодой второй террасы в целом соответствует профилю современного русла реки при том, что значительных перестроек, которые могли бы привести к изменению гидрологических характеристик между временем образования этих террас, не зафиксировано.

В долине нижней Вычегды в область приледникового прогиба попадает лишь приустьевой участок протяжённостью несколько десятков километров (см. рисунок). На нём также зафиксирован рост относительной высоты террасы (на 2–3 м), время образования которой приходится на последний ледниковый максимум. Изменение высоты террасы можно связать с ледниковым подпруживанием и образованием приледникового озера в результате перекрытия речного стока в долине р. Северной Двины [17], однако строение разреза террасы в 10 км от устья Вычегды не обнаруживает каких-либо следов озёрного осадконакопления. Наличие в разрезе лишь аллювиальных образований свидетельствует о существовании флювиальных обстановок, а рост высоты террасы вызван компенсационным воздыманием области приледникового прогиба.

Таким образом, воздействие ГИА на речные системы в юго-восточной периферии поздевалдайского оледенения оказывается значительно меньшим, по сравнению с юго-западным сектором [10] и не соответствует результатам гляциоизостатического моделирования топографической поверхности [11, 12]. Установленная величина ГИА на рассматриваемом участке составила первые метры и не могла привести к значительным перестройкам речной сети, а проявилась лишь в изменении высот одной из надпойменных террас. В качестве объяснения выявленной особенности юго-восточного сектора можно предположить сложную внутреннюю структуру ледникового покрова и, как следствие, недоучет некоторых параметров при гляциоизостатическом моделировании (в частности, положения границы оледенения).

Исследование проведено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-17-00259).

Библиографические ссылки

1. *Mörner N.-A.* The Fennoscandian Uplift and Late Cenozoic Geodynamics: Geological Evidence // *GeoJournal*. 1979. Vol. 3, №3. P. 287–318.
2. *Peltier W. R., Andrews J. T.* Glacial-Isostatic Adjustment-I. The Forward Problem // *Geophys. J. R. astr. Soc.* 1976. 46. P. 605–646.
3. *Peltier W. R.* Glacial-Isostatic Adjustment-II. The Inverse Problem // *Geophys. J. R. astr. Soc.* 1976. 46. P. 669–705.
4. *Былинский Е. Н.* О глобальном проявлении гляциоизостазии в платформенных областях Земли в плейстоцене // *Геоморфология*. 1985. №1. С. 22–36.
5. *Peltier W. R.* Global glacial isostasy and the surface of the ice-age Earth: the ICE-5G (VM2) model and GRACE // *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 2004. 32. P. 111–149.
6. *Былинский Е. Н.* Влияние гляциоизостазии на развитие рельефа Земли в плейстоцене. М.: РАН, НГК; Роскомнедра, ЦНИГРИ, 1996.
7. *Peltier W. R.* Global sea level rise and glacial isostatic adjustment // «Global and Planetary Change», 20, 1999, pp. 93–123.
8. *Stanford S. D., Witte R.W., Braun D.D., Ridge J.C.* Quaternary fluvial history of the Delaware River, New Jersey and Pennsylvania, USA. The effects of glaciation, glacioisostasy and eustasy on a proglacial river system // *Geomorphology*. 2016. Vol. 264. P. 12–28.
9. *Anderson R. C.* Reconstruction of preglacial drainage and its diversion by earliest glacial forebulge in the upper Mississippi Valley region // *Geology*. 1988. Vol. 16. P. 254–257.
10. *Busschers F. S., Kasse C., van Balen R. T., Vandenberghe J., Cohen K. M., Weerts H. J. T., Wallinga J., Johns C., Cleveringa P., Bunnik F. P. M.* Late Pleistocene evolution of the Rhine-Meuse system in the southern North Sea basin: imprints of climate change, sea-level oscillation and glacio-isostasy // *Quaternary Science Reviews*. 2007. Vol. 26. P. 3216–3248.
11. *Уткина А. О.* Влияние гляциоизостатических деформаций на речной сток в бассейне верхней Волги в последнюю ледниковую эпоху // *Вестник Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина*. 2020. № 3 (68). С. 116–129.
12. *Уткина А. О.* Моделирование эффектов гляциоизостазии в программном комплексе Selen // *Естественные и технические науки*. 2020. №8 (146). С. 110–115.
13. *Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., Chuyko M.* Glaciomorphological Map of the Russian Federation // *Quaternary International*. 2016. Vol. 420. P. 4–14.
14. *Баранов Д. В., Панин А. В., Антонов С. И., Беляев В. Р., Большов С. И., Еременко Е. А., Зарецкая Н. Е.* Влияние гляциоизостатических движений земной коры в приледниковой зоне на развитие верховий р. Волги // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2019. № 6. С. 90–101.
15. *Baranov D. V., Utkina A. O., Panin A. V.* Tver proglacial lake (Tver region, Russia): myth or reality // *Limnology and Freshwater Biology*. 2022. Vol. 5, №4. P. 1383–1384.
16. *Zaretskaya N., Panin A., Molod'kov A., Trofimova S., Simakova A., Baranov D.* Pleistocene stratigraphy of the Vychegda River basin, European North-East // *Quaternary International*. 2020. Vol. 546. P. 185–195.
17. *Zaretskaya N., Utkina A., Baranov D., Panin A., Trofimova S., Simakova A., Kurbanov R.* Limited extension of the MIS 2 proglacial lake in the Severnaya Dvina valley, south-eastern margin of the last Scandinavian Ice Sheet // *Journal of Quaternary science*. 2024. Vol. 39, iss. 1. P. 82–101.