

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 551.4+581.524 (571.54)

DOI: 10.15372/GIPR20250210

А.А. ЩЕТНИКОВ*, **, Е.В. БЕЗРУКОВА**

*Институт земной коры СО РАН,

664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия, shch@crust.irk.ru

**Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,

664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия, shch@crust.irk.ru, bezrukova@igc.irk.ru

СТРУКТУРА РЕЛЬЕФА И ПОСТГЛЯЦИАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОКИНСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

Представлены результаты комплексного геоморфолого-палеогеографического изучения центральной части Окин-ского плоскогорья (Восточный Саян). Детально охарактеризована структура рельефа района, в которой особое место занимают элементы палеогидросети — котловины спущенных моренно-подпрудных водоемов и брошенные фрагменты долин, в том числе ярусных. Получена комплексная запись из донных отложений оз. Саган-Нур, позволившая рекон-струировать последовательную картину изменения природной среды в бассейне озера в голоцене. Показано, что в пери-од около 8600–7100 л. н. озеро имело ледниковое питание, в его бассейне происходили крупные паводки, уровень воды был выше современного, и оно, вероятно, соединялось с моренно-подпрудным палеоводоемом, следы которого фиксируются в приустьевой части долины р. Айнак. Позднее, около 7100–5500 л. н., произошло резкое снижение скорости озерной седиментации и постепенное затухание относительной амплитуды паводковых событий. После 5500 л. н. потепление регионального климата, особенно зимой, исчезновение «остатков» позднеплейстоценовых ледников стали причиной по-степенного расширения на более низких гипсометрических уровнях сухих участков, благоприятных для регионального развития сосновых лесов и поднятия верхней границы сосны по склонам. В финале этого интервала произошла послед-няя перестройка местной гидросети и окончательно оформилась современная речная система. Реконструкции для пе-риода последних 5500 лет показывают гораздо более спокойный гидрологический режим и характер седиментации. Палинологические индексы также позволяют предположить потепление климата региона и снижение почвенной влаги, происходившие вслед за изменением поступления солнечной радиации в умеренных широтах Северного полушария.

Ключевые слова: озерные отложения, палинология, записи природной среды, позднеледниковье, голоцен, изменение климата.

А.А. SHCHETNIKOV*, **, E.V. BEZRUKOVA**

*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,

664033, Irkutsk, ul. Lermontova, 128, Russia, shch@crust.irk.ru

**A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,

664033, Irkutsk, ul. Favorskogo, 1a, Russia, shch@crust.irk.ru, bezrukova@igc.irk.ru

RELIEF STRUCTURE AND POSTGLACIAL EVOLUTION OF NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS OF THE CENTRAL PART OF THE OKA PLATEAU (EASTERN SAYAN)

The article presents the results of a comprehensive geomorphological and paleogeographic study of the central part of the Oka Plateau (Eastern Sayan). The relief structure of the region is characterized in detail. A special place in it is occupied by elements of the paleohydronetwork — basins of drained moraine-dammed reservoirs and abandoned fragments of valleys, includ-

ing tiered ones. A comprehensive record was obtained from the bottom sediments of Lake Sagan-Nur, which made it possible to reconstruct a consistent picture of changes in the natural environment in the lake basin in the Holocene. It is shown that in the period of about 8600–7100 years ago the lake was fed by glaciers, large flood events occurred in its basin, the water level in the lake was higher than today, and it was probably connected to a moraine-dammed paleo-reservoir, traces of which are recorded in the estuary part of the Aynak River valley. Later, about 7100–5500 years ago, a sharp drop in the rate of lacustrine sedimentation and a gradual attenuation of the relative amplitude of flood events occurred. After 5500 years ago, the warming of the regional climate, especially in winter, and the disappearance of the “remnants” of the late Pleistocene glaciers caused a gradual expansion of dry areas at lower hypsometric levels favorable for the regional development of pine forests and the rise of the upper boundary of pine on the slopes. At the end of this time interval, the last restructuring of the local hydrographic network occurred and the modern river system was finally formed. Reconstructions for the period of the last 5500 years show a much calmer hydrological regime and sedimentation pattern. Palynological indices also suggest a warming of the regional climate and a decrease in soil moisture, which took place following a change in the influx of solar radiation in the temperate latitudes of the Northern hemisphere.

Keywords: lacustrine sediments, palynology, environmental records, Holocene, climate change.

ВВЕДЕНИЕ

Окинское плоскогорье, названное С.В. Обручевым [1] «Тибетом в миниатюре», можно отнести к категории уникальных научных полигонов. Удивительное разнообразие географических ландшафтов здесь сочетается с исключительными особенностями строения и развития их основных компонентов. Наиболее отчетливо это проявлено в отношении геолого-геоморфологического каркаса местных геосистем. Термальные источники и водопады Долины вулканов Жом-Болока привлекают человека на протяжении уже более двух столетий, с тех пор как были обнаружены первопроходцами. Еще в XIX веке здесь были открыты [2] и многие годы планомерно исследуются самые молодые и крупнейшие в Центральной Азии проявления многоактных вулканических извержений [3], начавшиеся с позднеледникового дегляциации и продолжавшиеся вплоть до исторического времени [4]. Здесь локализован крупнейший в регионе орогидрографический узел, объединяющий верховые сегменты основных притоков бассейна верхней Ангары, а окраины плоскогорья обрамляют покрытые ледниками высочайшие пики горного пояса юга Восточной Сибири. Анализ происходящих на этой территории геолого-географических процессов является важным критерием понимания закономерностей формирования и развития геосистем Прибайкалья.

В последнее время исследования заметно активизировались в самом центре Окинского плоскогорья, в районе расположения ледникового озера Саган-Нур. С 2015 по 2017 г. группой сотрудников Института географии СО РАН (Иркутск) под руководством И.Н. Владимирова здесь проводились работы по комплексному анализу природных особенностей территории в рамках разработки методики оценки экологического потенциала геосистем. В ходе исследований было также составлено краткое описание рельефа и экзогенных процессов района, выполнена морфологическая характеристика самой котловины оз. Саган-Нур [5]. В продолжение данных работ в 2020–2023 гг. нашим коллективом были проведены дополнительные геоморфолого-палеогеографические исследования, первые результаты которых представлены в настоящей статье.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В августе 2020 г. гравитационным керноотборным устройством UWITEC были отобраны три коротких (от 141 до 187 см) керны диаметром 63 мм из верхней части разреза донных отложений оз. Саган-Нур. В данный момент обработаны результаты исследования 187-сантиметрового керна SGN-2020-2 (52°21'25,07" с. ш., 100°7'32,50" в. д.; глубина озера в точке бурения — 20 м).

Возраст отложений определен радиоуглеродным методом для пяти образцов по массе осадка и опубликован [6]. Магнитная восприимчивость (MS) измерена для каждого сантиметра с помощью системы MS2 Bartington с датчиками MS 2C70 и MS2K. Содержание биогенного кремнезема ($\text{SiO}_{2\text{bio}}$) определено в каждом сантиметре с использованием общепринятого метода [7]. Кроме того, для каждого сантиметра рассчитаны влажность (Wt) и сухая объемная плотность (DBD). Между датированными горизонтами определены средние скорости седиментации (MAR). Для палинологического анализа опробован каждый второй сантиметр в керне.

В 2023 г. в окрестностях оз. Саган-Нур были организованы дополнительные маршрутные наблюдения в целях геоморфологической съемки территории. В результате была составлена карта структуры рельефа центральной части Окинского плоскогорья в м-бе 1:50 000. При картировании использо-

вался метод выделения генетических типов рельефа — с отображением элементарных поверхностей и группировок форм рельефа, связанных общностью происхождения.

ОБЩИЕ ЧЕРТЫ МОРФОЛОГИИ ОКИНСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ

Окинское плоскогорье расположено в юго-восточной части Восточного Саяна (рис. 1). Это система уплощенных водораздельных ступеней на средних высотах 2200–2500 м над ур. моря, частично бронированных покровами и потоками кайнозойских базальтов. В общую поверхность плоскогорья долины главных рек врезаны на глубину до 1000 м и более. Главная морфологическая особенность Окинского плоскогорья — базальтовые плато и высокие плоские вершинные ступени — резко выделяет его от окружающих районов с резко расчлененным и часто альпинотипным горным рельефом с абсолютными отметками до 3491 м (гора Мунку-Сардык). Окинское плоскогорье имеет относительно небольшие размеры: около 150 км в субширотном направлении и до 110 в субмеридиональном. Однако и при таких размерах оно характеризуется особенными географическими ландшафтами и устройством рельефа земной поверхности, на которые впервые обратил внимание П.А. Кропоткин [2]. Это прежде всего преобладание плоских или пологовыпуклых вершинных поверхностей, выработанных в складчатых или кристаллических породах, которые и придают этой части Восточного Саяна плоскогорный облик. В северо-восточной части Окинского плоскогорья сходятся верховья крупных левых притоков Ангары — Иркуты, Китоя, Оки и Белой, образуя гидрографический узел. Напротив, в юго-западной половине плоскогорья (левобережная часть бассейна р. Оки) реки имеют транзитный характер, а их верховья располагаются в горных массивах Мунку-Сардыка. В целом долина р. Оки делит плоскогорье на две части — северо-восточную и юго-западную, различающиеся особенностями морфологического ландшафта. Собственно плоскогорные ландшафты свойственны его части, расположенной юго-западнее долины р. Оки, где они дополнены базальтовыми плато. Северо-восточнее долины Оки рельеф обладает большей дифференциацией высот и наличием крупных горных массивов высотой до 2900 м, которые существенно отличаются от куполоподобных гольцов верхней ступени на левобережье р. Оки.

В.Б. Выркиным и Ю.А. Масютиной [8] предложена более подробная схема геоморфологического районирования плоскогорья, которая детализирует геоморфологическое строение северо-восточной сложноустроенной части плоскогорья, где был выделен в том числе Окинско-Сорокский геоморфологический район. В нем нами дополнительно выделяется Саган-Нурский подрайон, центральным элементом структуры рельефа которого является котловина одноименного озера.

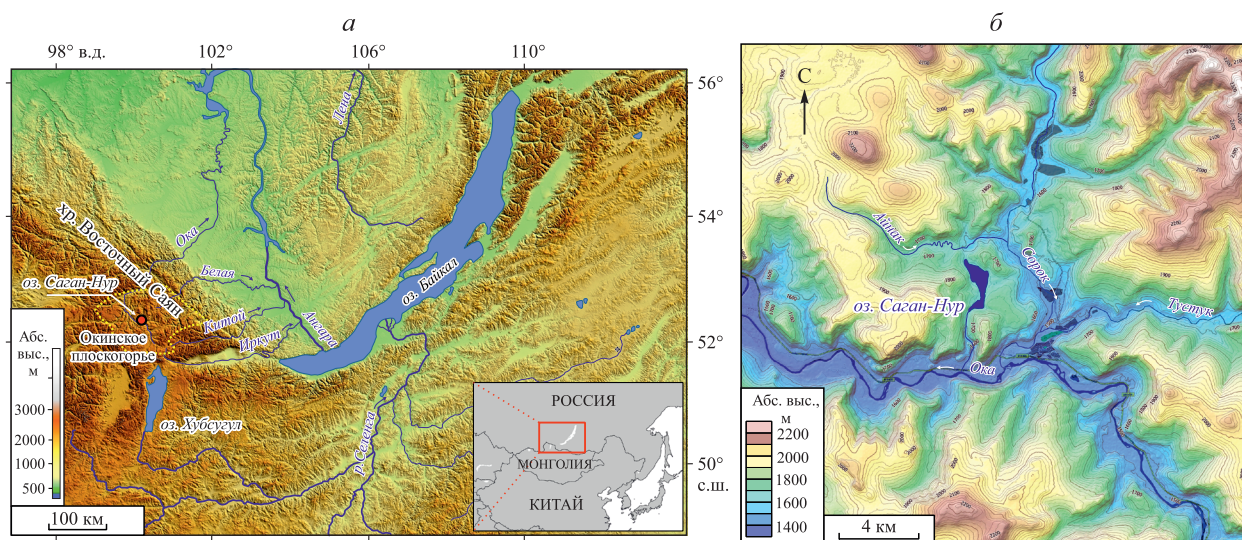


Рис. 1. Цифровая модель рельефа Прибайка́ля (а) и центральной части Окинское плоскогорья (б) (схемы составлены с использованием базовой топоосновы SRTM 3-секундного разрешения (V3) в программных пакетах Global Mapper 18 и QGIS 2.18.25).

Желтым пунктиром на панели (а) показаны границы Окинское плоскогорья.

СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА САГАН-НУРСКОГО ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНА

Структура рельефа окрестностей оз. Саган-Нур характеризуется ярко и разнообразно выраженными чертами гляциального морфолитогенеза. Ледниковые морфологические ландшафты представлены на всех уровнях рельефа, как в днищах горных долин и на их склонах, так и в вершинном поясе плоскогорья. Причем отдельные компоненты местного гляциального рельефа имеют эталонные черты строения. Именно в Саган-Нурском районе С.В. Обручевым [9] были впервые выделены и описаны так называемые ярусные долины, на их примере установлен механизм формирования этих необычных форм продольной склоновой эрозии и охарактеризовано палеогеографическое значение. В ходе геоморфологической съемки нами в Саган-Нурском районе выделены следующие типы рельефа (рис. 2).

Аккумулятивный рельеф. Строение рельефа днищ речных долин Окинского плоскогорья отдельно охарактеризовано в работе [9]. Согласно представленным в данной статье материалам, в долине верхнего течения Оки с небольшими перерывами прослеживаются следующие аккумулятивные террасовые уровни: пойма высотой 2–3 м и две надпойменные террасы высотой 4–6 и 10–12 м. В долине р. Сорок по нашим наблюдениям пойменную равнину, которая является наиболее широким уровнем в структуре ее террасового комплекса, дополняет в основном первая надпойменная терраса высотой до 6 м, а более высокие уровни фиксируются лишь на отдельных участках приустьевой части долины.

Долина р. Айнак, правого притока р. Сорок, в своей приустьевой части образует два котловинообразных расширения, разделенных 15-метровым скальным ригелем, который частично покрывает вал конечной морены. Днище верхнего расширения занимает плоская и широкая ($1,5 \times 3$ км), сложенная алевритистыми песками и суглинками равнина, на которой получили активное развитие разнообразные формы современного криогенеза (термокарст, бугры пучения, полигонально-жильные структуры). Это осушенное и замороженное дно крупного моренно-подпрудного озера, сопоставимого по размеру с расположенным в 500 м к юго-востоку оз. Саган-Нур (см. рис. 2). По всему периметру данной равнины на абс. высоте 1635–1640 м фиксируется хорошо сохранившаяся береговая зона палеоводоема с характерным абразионным уступом и террасой. Второе, нижнее расширение долины имеет меньшие размеры. Со всех сторон оно окружено грядами конечно-моренного комплекса, которые р. Айнак последовательно прорезает клямами долин прорыва, а центральную часть его днища покрывают валунно-галечные отложения бокового притока, спускающегося с ледникового цирка. На юго-восточной окраине этой котловины, на внутреннем склоне самого крупного моренного вала на высоте 1640 м наблюдается хорошо морфологически выраженная абразионная терраса. Таким образом, палеозеро занимало две котловины. В наиболее крупной верхней субкотловине озерные осадки сохранились, а в нижней после спуска палеоводоема были со временем размыты или перекрыты флювиальными накоплениями. Кроме того, на определенном этапе своего развития этот древний водоем очевидно соединялся и с оз. Саган-Нур, поскольку разделяющая их перемычка расположена почти на 10 м ниже береговой линии палеозера.

Еще одним свидетельством позднеплейстоцен-голоценовых перестроек местной гидросети служит крупный, протяженностью более 5 км, приустьевой участок брошенной долины р. Сорок (см. рис. 2). По сути, это гигантская, сопоставимая по ширине с современным днищем р. Сорок ярусная долина с погребенным тальвегом, вложенная в основание склона долины и расположенная на высоте более 100 м над ее современным днищем. Функционировала она в период дегляциации до момента отступления сорокского ледника из приустьевой части долины и прорыва крупного конечно-моренного комплекса, сформированного в створе долины р. Айнак. Поверхность днища брошенной долины сложена косослойчатыми гравелистыми песками и галечниками.

Присклоновые участки днища долин в исследуемом районе часто заняты моренными образованиями. Причем реальное распространение ледниковых отложений здесь существенно шире, чем это показано на геологических картах последнего поколения. Например, на листе N-47-XXXV карты четвертичных образований [11] граница позднеплейстоценового оледенения проведена в районе впадения р. Сорок в р. Оку, где расположено хорошо морфологически выраженный конечно-моренный комплекс. Однако ледниковыми накоплениями днище р. Оки загружено и ниже по течению, где морены образуют практически непрерывный чехол вплоть до пос. Орлик и далее, что свидетельствует о гораздо более масштабном развитии последнего оледенения. Некоторые долины, например р. Айнак, открываются на обширные перевальные поля, и покрывающий их днище чехол ледниковых отложений в таких местах переходит в вершинный пояс. При этом скопления эрратических валунов

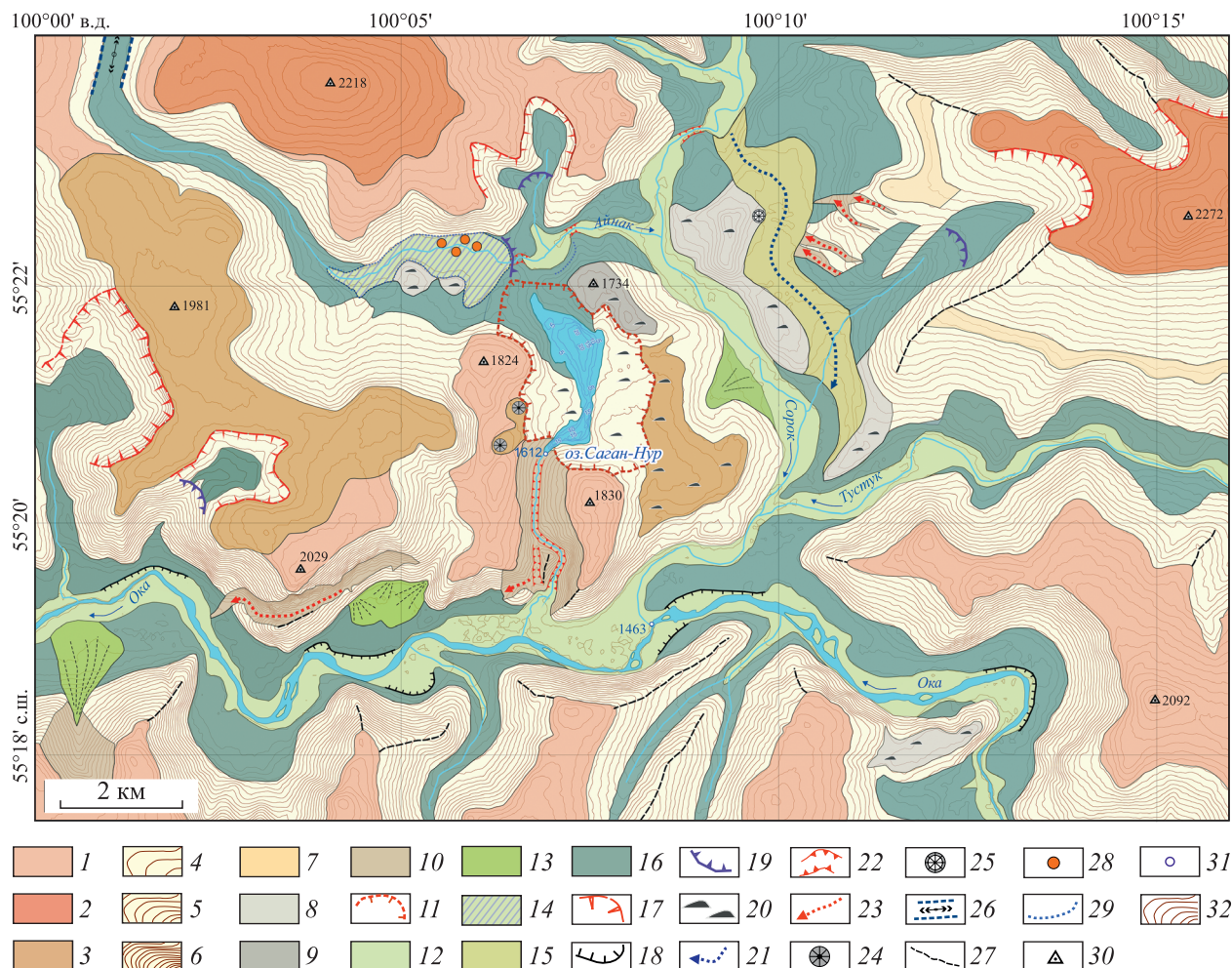


Рис. 2. Фрагмент геоморфологической карты центральной части Окинского плоскогорья (батиметрия оз. Саган-Нур составлена с использованием данных, опубликованных в [5]).

Денудационный рельеф: 1 — холмисто-увалистая поверхность комплексной денудации вершинного пояса плоскогорья (P–N₁); 2 — инзельберги (P); 3 — реликты базальтовых покровов (N_{1–2}), моделированные процессами альтипланизации; 4 — склоны трогов пологие (<10°) делювиально-солифлюкционные (Q_{III–H}); 5 — склоны трогов и ледниковых цирков средней крутизны (10–25°) солифлюкционно-осыпные с курумами (Q_{III–H}); 6 — склоны трогов и ледниковых цирков крутые (>25°) обвально-осыпные (Q_{III–H}); 7 — плечи трогов (Q_{II}); 8 — экзарационные поверхности выступов коренных пород в днищах трогов (Q_{III–H}); 9 — экзарационные поверхности в вершинном поясе низких водоразделов (Q_{III}); 10 — склоны крутые обвально-осыпные молодых эрозионных врезов, в том числе долин прорыва (Q_{III–H}); 11 — котловины экзарационные (Q_{III}). Аккумулятивный рельеф: 12 — комплекс низких речных террас (пойма и первая надпойменная терраса) (Q_H); 13 — поверхности крупных конусов выноса и делювиально-пролювиальных шлейфов (Q_H); 14 — плоские днища спущенных морено-подпрудных озер (Q_H); 15 — пологоволнистые поверхности днищ брошенных долин (Q_H); 16 — холмисто- и грядово-западинные поверхности днищ ледниковых долин (Q_{III–H}). Элементы рельефа и прочие обозначения: 17 — кары и ледниковые цирки (Q_{III–H}); 18 — эрозионные уступы (Q_H); 19 — ригели (Q_{III}); 20 — бараньи лбы (Q_{III}); 21 — тальвеги погребенные (Q_{III}); 22 — тальвеги долин прорыва (Q_{III–H}); 23 — тальвеги ярусных долин (Q_{III–H}); 24 — эродированные фрагменты шлаковых конусов (N_{1–2}); 25 — некки (N_{1–2}); 26 — перевальные поля и седловины (Q_{II–III}); 27 — гребни водоразделов; 28 — поля развития современного термокарста (Q_H); 29 — береговые линии палеозер (Q_H); 30 — отметки абс. высоты, м; 31 — отметки уреза воды, м; 32 — горизонтали рельефа (проведены через 10 м).

на водораздельных участках плоскогорья присутствуют практически повсеместно [12, 13]. Таким образом, палеогеографическая схема, принятая на настоящий момент по результатам государственной геологической съемки м-ба 1:200 000 [14], требует пересмотра.

Рельеф вулканогенной аккумуляции представлен моделированными процессами альтипланизации поверхностями базальтовых покровов (N_{1-2}). Платобазальты бронируют водоразделы и заполняют неровности дочетвертичного рельефа, в том числе эрозионные палеодолины глубиной до 350 м [14]. Основная часть вулканогенных пород представлена сорокской свитой (N_{1-2sr}) мощностью 300–500 м и имеет преимущественно оливин-толеитовый состав. Местами в основании лав залегают галечники, слабосцементированные конгломераты, пески, глины с обломками окаменевших деревьев [15]. Возраст базальтов по результатам калий-аргонового (K-Ar) датирования определяется интервалом $15,3 \pm 1,3 - 23,7 \pm 1,1$ млн лет [16], что соответствует раннему–среднему миоцену. Плиоценовые базальты имеют ограниченное распространение и в виде редких останцов мелагавайитов представлены хирбэсинской свитой (N_{2hb}) возрастом 4,75–2,6 млн лет [14]. В районе оз. Саган-Нур известно несколько субвулканических тел типа некков и фрагментов размытых шлаковых конусов (см. рис. 2).

Денудационный рельеф. В вершинном поясе Окинского плоскогорья широкое распространение имеют активно моделируемые процессами альтипланизации реликты холмисто-увалистой поверхности комплексной денудации ($P-N_1$). Частично ее фрагменты перекрываются третичными вулканическими накоплениями. Единого высотного уровня данная поверхность не имеет в силу сложного мозаично-блокового характера строения плоскогорья с высотной дифференциацией тектонического рельефа. В Саган-Нурском районе поверхность комплексной денудации находится на средней высоте 1800–2100 м и доминирует в структуре рельефа вершинного пояса.

Над этим уровнем на высоту до 400 м и более возвышаются отдельные каравасоподобные гольцы — структурные останцы — инзельберги (Р). Большинство данных массивов являются отпрепарированными денудацией изометричными в плане гранитными интрузиями ордовикского возраста. Как правило, подобные магматические тела обладают дефицитом плотностей слагающих их горных пород, что часто обеспечивает их длительные изостатические воздымания [17]. Особенно это характерно для молодых, прежде всего позднемезозойских, гранитоидных лакколитов. Однако на Окинском плоскогорье получили распространение в основном гранитные интрузии раннепалеозойского возраста. Столь древние геологические тела к новейшему тектоническому этапу обычно вырабатывают свой изостатический ресурс и теряют способность к диапировым автономным дислокациям [18]. В любом случае очевидно, что рассматриваемые гольцовые массивы в геоморфологическом отношении относятся к типу структурных останцов и характеризуются наиболее длительной на Окинском плоскогорье историей развития рельефа.

Долинная сеть района исследования представлена ледниковыми трогами и молодыми эпигенетическими эрозионными врезами. Наиболее широкое распространение в центральной части Окинского плоскогорья получили делювиально-солифлюкционные склоны ледниковых долин. Крутые обвально-осыпные склоны тяготеют к стенкам каров и цирков, а также к постгляциальным эрозионным врезам. Хорошо морфологически выраженные фрагменты трогового плеча здесь фиксируются на склонах долин рек Сорок, Тустук и Хужиртай-Горхон. Данные формы рельефа имеют один этап генерации (уровень) и расположены на относительных высотах около 300 м, указывая на мощность местных ледников последней фазы оледенения.

Экзарационные поверхности распространены как в днищах трогов, где скальные выступы часто имеют характерную форму бараньих лбов, так и в вершинном поясе низких (абс. высота до 1800 м) водоразделов Окинского плоскогорья с высыпками эратических валунов. Многочисленные поля ледникового выпаживания наблюдаются в окрестностях оз. Саган-Нур, а его замкнутая котловина в целом представляет собой крупную экзарационную форму (см. рис. 2).

Особый интерес, на наш взгляд, представляют широко распространенные в Саган-Нурском геоморфологическом подрайоне молодые эпигенетические врезы в форме ярусных долин. Учитывая, что в последнее время исследователи стали подвергать сомнению традиционный флювиогляциальный генезис этих образований [5, 9], рассмотрим феномен слепых кляммов Окинского плоскогорья подробнее.

Ярусные долины. С.В. Обручев при описании выявленных им в Окинском плоскогорье необычных форм продольной склоновой эрозии обратил внимание на их приуроченность к районам наиболее мощных узлов оледенения и сделал вывод о наличии парагенеза ледниковых и ярусных долин, предложив флювиогляциальную версию их формирования [10]. Позже С.С. Коржуев [19] назвал ярусные долины «геоморфологическим парадоксом» горного оледенения и дополнил выводы предшественника

детальными теоретическими построениями. Согласно этой теории, ярусные долины являются горными аналогами равнинных маргинальных каналов и образуются в период общей дегляциации, когда по краям отступающих горно-долинных ледников возникают многочисленные наложенные потоки талых ледниковых вод, которые, разрушая ледниковый покров, начинают интенсивно расчленять коренные склоны долин в непривычном продольном направлении. При этом ярусность форм продольной склоновой эрозии и долин прорыва отражает различные стадии деградации горно-долинного ледника.

В центральной части Окинского плоскогорья ярусные долины до настоящего времени выделялись лишь на склонах северного борта долины р. Оки ниже устья вытекающей из оз. Саган-Нур р. Нур-Холой (рис. 3, левый космоснимок). Однако это не единственные подобные образования в данном районе. Целая лестница молодых склоновых расщелин параллельного заложения присутствует и на восточном борту долины р. Сорок в интервале высот от 100 до 300 м над ее днищем, напротив устья р. Айнак, непосредственно над крупным конечно-моренным комплексом (см. рис. 3, правый космоснимок). В их устьях и днищах расположены замкнутые углубления, выработанные в коренных породах и занятые озерами. Наличие таких водоемов является характерной чертой строения ярусных долин [19]. Их котловины формируются в результате часто возникающего в ледниковых маргинальных каналах турбулентного течения воды и, таким образом, являются типичными эвормионными воронками.

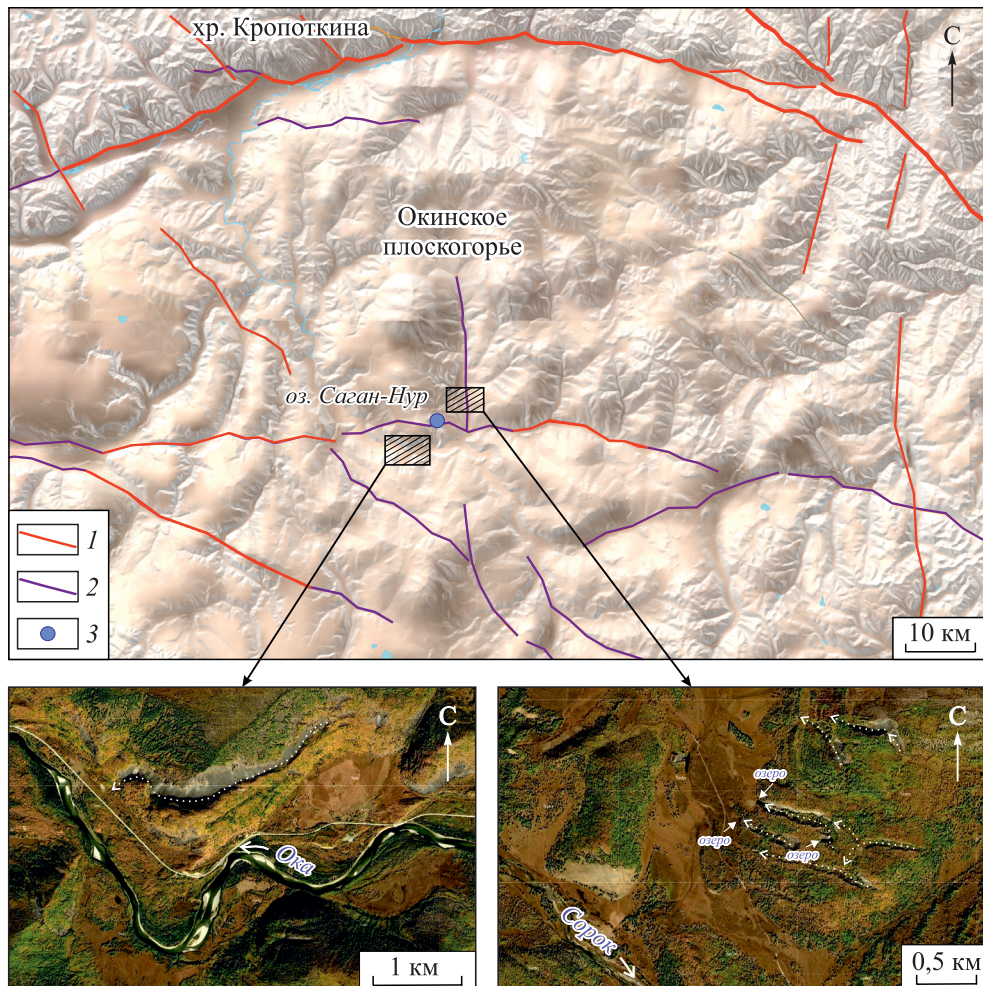


Рис. 3. Схема активных разломов на цифровой модели рельефа (SRTM V3, базовая топооснова) (по [20]) и космоснимки (LandSat ETM+) районов расположения ярусных долин.

1 — разломы установленные (с высокой достоверностью активности); 2 — разломы предполагаемые (с низкой достоверностью активности); 3 — местоположение оз. Саган-Нур. Белыми пунктирными стрелками на космоснимках показаны тальвеги основных ярусных долин (створах долин и в их днищах расположены эвормионные котлы, занятые озерами).

В последние годы ярусные долины Окинского плоскогорья исследователями стали рассматриваться в качестве вероятных элементов палеосейсмогенных структур по причине отсутствия в них флювиальных накоплений [5, 9], вернее, их фиксации. Днища этих долин загружены смыкающимися в основаниях шлейфами обвального-осыпного материала, и их тальвеги повсеместно имеют погребенное положение, хотя это как раз хорошо объясняется реликтовым состоянием таких долин и длительным отсутствием в них действующих водотоков. Данное обстоятельство, а также необычность висячей геоморфологической позиции ярусных долин действительно определяет их морфологическое сходство с висячими рвами палеосейсмодислокаций. При этом необходимо учитывать, что все саган-нурские слепые кляммы имеют уклон в направлении стока ледниковых вод и открываются в днища своих троговых долин, а их тальвеги повторяют топографию склонов, в которые они вложены.

Обратимся к особенностям разломно-блокового строения центральной части Окинского плоскогорья (см. рис. 3). Согласно [21], характерной чертой новейшей тектонической структуры территории является пространственная привязанность плоскогорья к пересечению субширотных (байкальских) и меридиональных (хубсугульских) структурных направлений. Кроме того, значительную роль играют также разломы северо-западного (саянского) направления. Наиболее сейсмически активными считаются места пересечения всех трех направлений — северо-западного, субширотного и меридионального структурных планов [21], т. е. в зоне фланговых ограничений и тектонического фаса хр. Кропоткина, обрамляющего Окинское плоскогорье с севера. Согласно карте активных разломов региона [20], ни один установленный здесь линеамент не согласуется с локализацией и плановым рисунком ярусных долин, обнаруженных в Саган-Нурском районе. Лишь выделенный условно (предполагаемый) Сороковский разлом меридионального простирания проходит вблизи рассматриваемых образований, но при этом он их сечет практически вкрест простирания и даже теоретически не может образовывать с плановой формой ярусных долин тектонофизического парагенеза.

Здесь следует вспомнить, что в верховьях р. Оки, на юго-восточной окраине плоскогорья, С.В. Обручевым [10] также фиксировались ярусные долины, которые позже периодически принимались за сейсмогенные рвы. Финальная точка в этом споре поставлена в работе [22], где данные образования были детально рассмотрены с сейсмогеологической позиции и определены как псевдотектонические формы рельефа, созданные горно-долинным оледенением.

Таким образом, все вышеперечисленное свидетельствует о необоснованности отнесения ярусных долин Окинского плоскогорья в целом и Саган-Нурского подрайона в частности к сейсмогенным структурам.

ОЗЕРО САГАН-НУР

Ледниковое озеро Саган-Нур расположено в днище крупной экзарационной котловины и является центральным элементом ландшафтной системы одноименного геоморфологического подрайона. Водоем занимает промежуточную (висячую) между поясом днищ долин и вершинным ярусом плоскогорья геоморфологическую позицию и характеризуется отсутствием крупных притоков и ограниченной площадью водосбора. Подробное описание морфологии котловины озера и основные его гидрологические характеристики приведены в работе [5]. Здесь мы остановимся на результатах палеогеографического изучения верхней части разреза его донных отложений, рассматриваемой нами в качестве летописи природно-климатических изменений в бассейне озера в среднем и позднем голоцене.

Литологическое строение разреза донных отложений и палинostrатиграфия. Согласно возрастной модели, отложения, вскрытые скважиной SGN-2020-2, сформировались в последние 8650 лет (рис. 4). В литологическом составе донных осадков преобладают биогенно-терригенные илы с доминированием в них глинистой фракции до 50–80 % и с хорошо выраженной ленточной слоистостью в нижней (187–70 см) части отложений, обусловленной переслаиванием белесых, почти белых терригенных пелит-алевритовых прослоев мощностью в первые миллиметры до сантиметра и повышенной мощности коричневатого-серых биогенно-терригенных илов.

Максимальные, но постепенно снижающиеся значения MAR характерны для интервала 187–110 см (8650–7200 л. н.). В интервале глубин 110–45 см (7200–2700 л. н.) они становятся минимальными, а в верхних 45 см отмечено их незначительное повышение. Медианный размер минеральных зерен в отложениях яруса SGN-2020-2 растет в интервале 187–162 см (8500–8200 л. н.), затем постепенно уменьшается в интервале 162–85 см (8200–5500 л. н.), далее увеличивается от 85 см к вершине яруса, при этом часто изменяясь. Амплитуда изменений варьирует от 4 до 14 мкм.

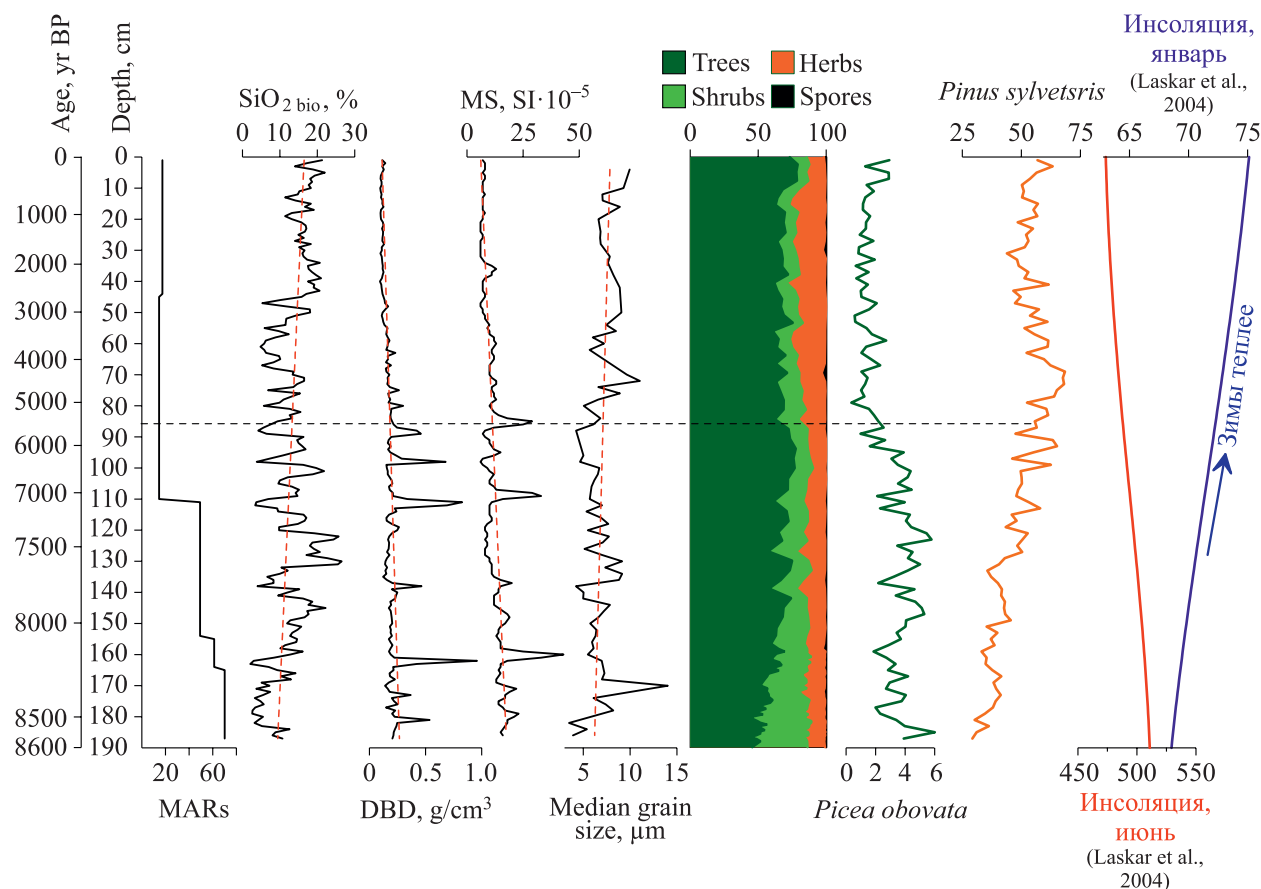


Рис. 4. Результаты изучения донных отложений оз. Саган-Нур (изменение скоростей осадконакопления, сухой объемной плотности и магнитной восприимчивости отложений, медианного размера зерен минеральной фракции, биогенного кремнезема $\text{SiO}_{2\text{bio}}$, общего состава пыли, обилия пыльцы ели и сосны, расчетные значения поступления солнечной радиации на 55° с. ш. Северного полушария [23]).

Значения DBD и MS имеют несколько максимумов в интервале 181–85 см (8650–5500 л. н.). В верхних 85 см отложений DBD и MS изменяются незначительно. Линейный тренд (см. рис. 4, вертикальные красные штриховые линии на графиках) в изменении значений DBD и MS показывает постепенное затухание их амплитуды. График $\text{SiO}_{2\text{bio}}$ характеризуется постоянными флуктуациями значений от 3 до 25 %. В целом его содержание повышается к вершине разреза. Выраженные минимумы $\text{SiO}_{2\text{bio}}$ имели место в интервалах 183–162 см (8500–8200 л. н.), 68–58 см (4200–3500 л. н.), максимумы — в интервалах 162–139 см (8200–7800 л. н.), 131–122 см (7600–7400 л. н.), 43–34 см (2600–2050 л. н.).

В общем составе спорово-пыльцевых спектров (СПС) установлена тенденция к постепенному повышению относительного обилия пыльцы древесных растений в интервале 181–85 см (8650–5500 л. н.). Около 5500 л. н. оно снизилось, а затем содержание пыльцы древесных растений снова постепенно повысилось до максимальных значений в последние 400 лет. Параллельно увеличивалось содержание пыльцы лугово-степного разнотравья (см. рис. 4). Повышенные значения пыльцы ели (*Picea obovata*) характерны для интервала 187–95 см (8650–6200 л. н.), затем на глубине 95–8,0 см они постепенно снижаются и снова несколько увеличиваются в верхнем 8-сантиметровом интервале (последние 450 лет). Максимум пыльцы ели отмечен в слое 155–95 см (8100–6200 л. н.). Процентное содержание пыльцы сосны (*Pinus sylvestris*) постепенно повышается от основания разреза к его вершине, с максимумом на глубине 100–65 см (6500–4200 л. н.).

Эволюция природно-климатических условий в бассейне оз. Саган-Нур в голоцене. Полученные результаты изучения верхней 187-сантиметровой части осадочного архива оз. Саган-Нур указывают на отчетливые вариации приведенных характеристик отложений водоема, свидетельствующие об изменениях в самой озерной системе и в природной среде бассейна озера.

На раннем этапе формирования отложений, около 8600–7100 л. н., высокие скорости седиментации свидетельствуют о значительном поступлении в озеро терригенного вещества. Постоянно меняющиеся значения $\text{SiO}_{2\text{bio}}$ указывают на неустойчивый характер продуктивности озерной экосистемы, причем самые низкие интервалы продуктивности приходятся на максимумы поступления в озеро минерального вещества, что выражено пиковыми значениям DBD и MS (см. рис. 4). Пики значений DBD и MS могут индизировать активную эрозию почв под разреженным растительным покровом в водосборном бассейне озера. Повышенные значения магнитной восприимчивости в озерных отложениях отражают главным образом концентрацию ферромагнитных минералов [24] и могут быть обусловлены климатом, например с повышением суммы атмосферных осадков, усиливающих эрозию и транспортную способность поверхностных водотоков, с которыми в озеро поступает большой объем аллохтонного материала.

Также допускается, что вариации в размере минеральных зерен в озерных отложениях отражают изменения в гидрологическом режиме и могут нести информацию об эрозионной активности в озерной котловине, энергии воды при переносе минерального вещества и колебаниях уровня воды [25, 26]. Поэтому пиковые значения DBD и MS, соответствующие стратиграфическому положению наиболее мощных белесых прослоев в отложениях керна SGN-2020-2, могут свидетельствовать о высоком уровне эрозии в береговой зоне, на склонах котловины озера, высокой транспортной способности поверхностных водотоков. Однако можно предположить, что существование водотоков в этот интервал времени было обеспечено не столько высокой суммой атмосферных осадков, сколько все еще продолжающимся таянием ледников и слоя многолетнемерзлых пород в бассейне озера. Такой вывод поддерживает и реконструкция растительности в бассейне оз. Саган-Нур, которая выявила широкое развитие в бассейне озера около 8600–7100 л. н. тундровой с участками лесной растительности из ели и лиственницы (см. рис. 4) в условиях холодного климата. Ель сибирская очень чувствительна к почвенному увлажнению, она предпочитает почвы с повышенным содержанием влаги, но без застойного увлажнения. В Байкальском регионе ель приурочена в основном к влажным почвам вдоль рек и ручьев, к днищам оврагов на склонах гор. Ель морозостойчива, может расти на почвах с близко залегающим слоем многолетней мерзлоты [27]. Вероятно, активное таяние летом мерзлоты обеспечивало для ели благоприятные места обитания вдоль водотоков.

Следует отметить, что пониженные значения медианного размера минеральных зерен в отложениях, сформированных 8600–7100 л. н., могут быть обусловлены большими в сравнении с современными глубинами озера. Вполне вероятно, именно в это время Саган-Нур имел гидрологическую связь со спущенным моренно-подпрудным водоемом, хорошо сохранившиеся следы которого фиксируются в приустьевой части долины р. Айнак (см. выше), а водосборный бассейн озера при этом существенно увеличивался, что согласуется со всеми полученными результатами.

MS и DBD рассматриваются как одни из базовых критериев для определения слоев «событийных» отложений в осадочных разрезах [28, 29]. В записях из керна SGN-2020-2 пики значений DBD и MS позволяют предположить возникновение крупных паводковых событий около 8500, 8270–8250, 7760, 7230–7000 л. н. (см. рис. 4). Из них экстремальными, по-видимому, могли быть паводки, реконструированные около 8270–8250, 7230–7000 л. н. Вероятно, они соответствовали наиболее теплым летним сезонам и, возможно, зимним сезонам с аномально высоким снежным покровом.

В интервале около 7100–5500 л. н. скорости седиментации снизились в три раза, однако записи показывают еще два крупных паводковых события около 6400, 5800–5780 л. н. и серию слабых, реконструированных около 5100, 4700 и 3800 л. н. (см. рис. 4). Предыдущие исследования показали, что «остатки» позднеледниковых ледников кардинально сократились или полностью исчезли в горном поясе юга Восточной Сибири около 6000–5500 л. н. [30]. Вероятно, почти полное исчезновение ледников на Окинском плоскогорье после оптимума голоцена и существенная деградация слоя многолетней мерзлоты привели к резкому сокращению объема поступавшей в оз. Саган-Нур воды и влекомых ею минеральных и иных веществ и сильному замедлению скоростей седиментации позднее 5500 л. н. Реконструированное снижение роли ели в растительности бассейна и котловины озера подтверждает сокращение благоприятных для нее влажных мест обитания из-за исчезновения ранее существовавших водотоков. В финале этого интервала времени, вероятно, произошла последняя перестройка местной гидросети, свидетельством которой являются описанные выше брошенные участки русел рек и котловины спущенных моренно-подпрудных озер, и окончательно оформилась современная речная система. В последние 5500 лет постепенно затухала частота и амплитуда паводковых событий.

Для периода *последних 5500 лет* реконструкции показывают гораздо более спокойные гидрологический режим и характер седиментации по сравнению с ранними интервалами функционирования оз. Саган-Нур. Об этом свидетельствует изменение строения отложений в керне (светлые слои стали тоньше и менее заметны), отсутствие значимых изменений плотности отложений и магнитной восприимчивости, новое повышение продуктивности озерной системы. Небольшое увеличение медианного размера минерального зерна в отложениях на протяжении последних 5500 лет, скорее всего, означает некоторое понижение уровня воды в озере около 4300, 3000, 500 л. н. и в последние 170 лет (см. рис. 4). Вероятно, такое изменение указанных индексов свидетельствует о смене характера источников питания для озера, когда основным источником воды стали атмосферные осадки, в небольшой степени — грунтовые воды. Поступление обильного притока ледниковой воды и воды от таяния высоко залегавшего ранее слоя многолетнемерзлых пород в конце раннего—начале среднего голоцена многократно сократилось в среднем и позднем голоцене, что и привело к изменению гидрологического режима бассейна озера и его котловины, существенному снижению интенсивности поступления терригенного материала. Усиление роли сосны, в распространении которой в Сибири основную лимитирующую роль играет вечная мерзлота [31], и сокращение роли ели в региональной растительности (см. рис. 4) также свидетельствуют о потеплении климата региона и снижении почвенной влаги. Важной причиной деградации мерзлоты и миграции сосны ближе к бассейну оз. Саган-Нур могло быть потепление зимних сезонов в умеренных широтах Северного полушария, обусловленное изменением уровня инсоляции (см. рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рельеф Саган-Нурского геоморфологического района характеризуется длительной историей развития и сложной полигенетической структурой. В формировании местных морфологических ландшафтов фиксируется целый ряд генераций, а наиболее ярко выражены следы позднеплейстоценового гляциального морфолитогенеза. Причем представлены они шире, чем принято считать в соответствии с результатами государственной геологической съемки последнего поколения. Важную роль в развитии рельефа играет перестройка местной речной сети периода дегляциации: характерным элементом морфологических ландшафтов района являются котловины спущенных моренно-подпрудных водоемов и брошенные фрагменты долин, в том числе ярусных. Последние, согласно полученным данным, являются типичными формами продольной склоновой эрозии, обусловленной флювиогляциальными процессами; генетическая связь этих образований с сейсмотектоническими процессами не установлена.

Комплексная запись из донных отложений оз. Саган-Нур позволяет реконструировать последовательную картину изменения природной среды в бассейне и котловине озера в голоцене. Так, повышенные значения плотности и магнитной восприимчивости «белесых» терригенных горизонтов, вероятно, связаны со значительными паводками. Самые сильные из них происходили около 8600—7100 л. н., что соответствует пиковым значениям скоростей седиментации в котловине озера. Паводковые события могли быть результатом образования большого объема воды и ее поступления в котловину озера вследствие продолжающегося таяния ледников и слоя многолетнемерзлых пород в бассейне озера. Существование многочисленных водотоков в бассейне оз. Саган-Нур подтверждает и реконструкция широкого развития долинных ельников, которые в настоящее время имеют очень ограниченное распространение. Уровень воды в Саган-Нуре в это время, по всей видимости, повышался, и озеро могло соединяться с моренно-подпрудным палеоводоемом, хорошо сохранившиеся следы которого фиксируются в приустьевой части долины р. Айнак.

Позднее, около 7100—5500 л. н., произошло резкое снижение скорости озерной седиментации и постепенное затухание относительной амплитуды паводковых событий. Потепление регионального климата, особенно зимой, исчезновение «остатков» позднеплейстоценовых ледников стали причиной постепенного расширения на более низких гипсометрических уровнях сухих участков, благоприятных для развития сосновых лесов и поднятия верхней границы сосны по склонам. В финале этого интервала времени, вероятно, произошла последняя перестройка местной гидросети, следствием которой являются описанные выше брошенные участки русел рек и котловина моренно-подпрудного палеоозера, и окончательно оформилась современная речная система.

Реконструкции для последних 5500 лет показывают более спокойные гидрологический режим и характер седиментации по сравнению с ранними интервалами функционирования оз. Саган-Нур, что указывает на изменение гидрологического режима бассейна озера и его котловины, ослабление

экзогенного литодинамического потока. Палинологические индексы также говорят о потеплении климата региона и снижении почвенной влаги, происходивших вслед за изменением поступления солнечной радиации в умеренных широтах Северного полушария.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (23-17-00067) и в рамках темы государственного задания Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (0284-2021-0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обручев С.В. Орография и геоморфология восточной половины Восточного Саяна // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. — 1946. — Т. 78, вып. 5–6. — С. 479–498.
2. Крпоткин П.А. Поездка в Окинский караул // Зап. Сиб. отдела Императорского РГО. — 1867. — Т. 9–10. — С. 23–125.
3. Ярмолюк В.В., Никифоров А.В., Иванов В.Г. Структура, состав, источники и механизм лавовых потоков долины Жомболок (голоцен, Южно-Байкальский вулканический район) // Вулканология и сейсмология. — 2003. — № 5. — С. 41–59.
4. Shchetnikov A.A., Bezrukova E.V., Krivonogov S.K. Late Glacial to Holocene volcanism of Jom-Bolok Valley (East Sayan Mountains, Siberia) recorded by microtephra layers of the Lake Kaskadnoe-1 sediments // Journ. of Asian Earth Sciences. — 2019. — Vol. 173, N 4. — P. 291–303.
5. Владимиров И.Н., Выркин В.Б., Ильичева Е.А., Кобылкин Д.В., Павлов М.В., Ли Ц. Природные условия и экологический потенциал геосистем центральной части Окинского плоскогорья (Восточный Саян) // География и природ. ресурсы. — 2019. — № 3. — С. 95–105.
6. Безрукова Е.В., Решетова С.А., Волчатова Е.В., Кулагина Н.В., Щетников А.А., Крайнов М.А. Субрегиональные особенности формирования растительности юга Восточной Сибири в среднем–позднем голоцене // География и природ. ресурсы. — 2023. — Т. 44, № 5 — С. 16–26.
7. Mortlock R.A., Froelich P.N. A simple method for the rapid determination of biogenic opal in pelagic marine sediments // Deep-Sea Research. — 1989. — Vol. 36. — P. 1415–1426.
8. Выркин В.Б., Масютина Ю.А. Геоморфологическое районирование Окинского плоскогорья (Восточный Саян) // Изв. Ирк. ун-та. Сер. Науки о Земле. — 2017. — Т. 19. — С. 32–47.
9. Выркин В.Б., Опекунова М.Ю. Особенности строения речных долин на территории Окинского плоскогорья // География и природ. ресурсы. — 2015. — № 2. — С. 106–113.
10. Обручев С.В. Ярусные долины в областях горного оледенения // Советская геология. — 1959. — № 6. — С. 66–77.
11. Государственная геологическая карта РФ м-ба 1:200 000. Карта четвертичных образований. Л. N-47-XXXV. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2021. — 4 л.
12. Олюнин В.Н. Неотектоника и оледенение Восточного Саяна. — М.: Наука, 1965. — 128 с.
13. Щетников А.А. Озера Окинского плоскогорья // Геоморфология. — 2002. — № 3. — С. 88–95.
14. Государственная геологическая карта РФ м-ба 1:200 000. Издание второе. Сер. Восточно-Саянская. Объяснительная записка. Л. N-47-XXXV. — М.: ВСЕГЕИ, 2021. — 218 с.
15. Рогачев А.М., Катюха Ю.П., Скопинцев В.Г. Геологическое строение и полезные ископаемые междуречья низовий Тиссы — Сорок и бассейна среднего течения Урика (Восточный Саян). — Улан-Удэ: Бурятиягеология, 1984. — 112 с.
16. Рассказов С.В. Магматизм Байкальской рифтовой системы. — Новосибирск: Сиб. издат. фирма, 1993. — 288 с.
17. Косыгин Ю.А., Малышев Ю.Ф., Романовский Н.П., Уфимцев Г.Ф. Эффект выталкивания геологических тел по данным гравиметрии и плотностных характеристик горных пород (на примере Дальнего Востока) // Докл. АН СССР. — 1979. — Т. 249, № 5. — С. 1176–1180.
18. Уфимцев Г.Ф. Тектонический анализ рельефа (на примере Востока СССР). — Новосибирск: Наука, 1984. — 183 с.
19. Коржуев С.С. Ярусные долины — палеогеографический парадокс горного оледенения // Геоморфология. — 1996. — № 1. — С. 68–80.
20. Zelenin E., Bachmanov D., Garipova S., Trifonov V., Kozhurin A. The Active Faults of Eurasia Database (AFEAD): the ontology and design behind the continental-scale dataset // Earth System Science Data. — 2022. — Vol. 14. — P. 4489–4503.
21. Николаев В.В., Демьянович М.Г. Сейсмостектоника Окинского плоскогорья (Восточный Саян) // Труды Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР. — 1978. — Вып. 399. — С. 42–48.
22. Курушин Р.А., Николаев В.В. Псевдотектонические формы рельефа, созданные горно-долинным оледенением // Геология и геофизика. — 1970. — № 12. — С. 52–61.
23. 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 // Astron. Astrophys. — 2004. — Vol. 428. — P. 261–285.
24. Hakanson L., Jansson M. Principles of Lake Sedimentology. — Springer-Verlag, Berlin, 1983. — 316 p.

25. **Macumber A.L., Patterson R.T., Galloway J.M., Swindles G.T.** Reconstruction of Holocene hydroclimatic variability in subarctic lakes using lake sediment grain-size endmembers // *Holocene*. — 2018. — Vol. 28. — P. 845–857.
26. **Ma L., Abuduwaili J., Liu W.** Environmentally sensitive grain size component records and its response to climatic and anthropogenic influences in Bosten Lake region, China // *Scientific Reports*. — 2020. — Vol. 10. — P. 942–951.
27. **Bezrukova E.V., Abzaeva A.A., Letunova P.P., Kulagina N.V., Vershinin K.E., Belov A.V., Orplova L.A.** 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.
28. **Sabatier P., Moernaut J., Bertrand S., Van Daele M., Chaumillon E.** A Review of Event Deposits in Lake Sediments // *Quaternary*. — 2022. — Vol. 5. — P. 34–45.
29. **Johansson F.E., Bakke J., Stuuren E.N., Paasche III., Engeland K., Arnaud F.** Lake Sediments Reveal Large Variations in Flood Frequency Over the Last 6,500 Years in South-Western Norway // *Frontiers in Earth Science*. — 2020. — Vol. 8. — P. 239.
30. **Stepanova O.G., Trunova V.A., Osipov E.Y., Kononov E.E., Vorobyeva S.S., Parkhomchuk E.V., Kalinkin P.N., Vorobyeva E.E., Vershinin K.E., Rastigeev S.A.** Glacier dynamics in the southern part of East Siberia (Russia) from the final part of the LGM to the present based on from biogeochemical proxies from bottom sediments of proglacial lakes // *Quaternary International*. — 2019. — Vol. 524. — P. 4–12.
31. **Шумилова Л.В.** Основные черты коренного растительного покрова Сибири и закономерности его географического распределения // *Труды Том. ун-та*. — 1960. — Т. 148. — С. 171–182.

Поступила в редакцию 17.06.2024

После доработки 02.10.2024

Принята к публикации 10.03.2025