

УДК 551.89:551.465.75(571.642)

ПОВТОРЯЕМОСТЬ СИЛЬНЫХ ПАВОДКОВ НА ЗАПАДНОМ САХАЛИНЕ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ЦИКЛОГЕНЕЗА В СРЕДНЕМ–ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ[#]

© 2024 г. Н. Г. Разжигаева^{1*}, Л. А. Ганзей¹, Т. А. Гребенникова¹, В. И. Пономарев², В. В. Афанасьев², А. О. Горбунов², М. А. Климин³

¹ Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

³ Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, Россия

* E-mail: nadyar@tigdvo.ru

Поступила в редакцию 05.10.2023 г.

После доработки 10.11.2023 г.

Принята к публикации 28.03.2024 г.

На Западном Сахалине (бассейн р. Яблочной) восстановлена геологическая летопись экстремальных паводков, связанных с прохождением наиболее сильных тайфунов и глубоких внетропических циклонов за последние 6370 лет. Для реконструкций использован разрез торфяника с многочисленными слоями суглинков, образованных в экстремальные паводки. Современным аналогом событий является тайфун Филлис (1981 г.), при прохождении которого выпало до 300 мм осадков. Для выявления доли минерального компонента, основным источником которого были полые воды, определена зольность отложений. На основе возрастной модели определен возраст 38 экстремальных паводков и периодов более слабых паводков, когда накапливались органоминеральные отложения. В периоды усиления циклогенеза повторяемость экстремальных паводков составляла 1 раз в 10–30 лет. Проанализирован палеоклиматический фон событий. Длительные периоды с сильными паводками выделены 6470–5490, 4300–3670 л. н., последние 3110 л. н. сильные паводки были редкими явлениями. Проведено сравнение с записями сильных паводков, произошедших на восточном побережье Южного Сахалина и в других регионах Восточной Азии. Установлено, что периоды с частым прохождением сильных палеотайфунов и глубоких внетропических циклонов не всегда совпадают по времени, что могло быть связано с разными траекториями выхода циклонов при разных климатических ситуациях. Как и в современный период, усиление интенсивности циклогенеза и повторяемости тайфунов в среднем-позднем голоцене были тесно связаны с увеличением температуры в западной части тропической зоны Тихого океана, аномалиями Эль-Ниньо и центров действия атмосферы.

Ключевые слова: долинный торфяник, палеотайфуны, внетропические циклоны, хронология, Эль-Ниньо, центры действия атмосферы, Дальний Восток

DOI: 10.31857/S2949178924020091, **EDN:** PNBIGI

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение повторяемости сильных паводков на юге Дальнего Востока в последнее десятилетие делает актуальным изучение проявления подобных событий в прошлом, связанных с изменениями интенсивности циклогенеза в масштабе сотен и тысяч лет. Выполнение таких построений в палеомасштабе может существенно

дополнить исторические данные и улучшить понимание палеоклиматических процессов в переходной зоне “континент–океан”. Период наблюдений опасных гидрометеорологических событий на юге Дальнего Востока охватывает не более 100–150 лет, а регулярные инструментальные измерения начались в начале XX века. Палеогеографические данные показывают, что увлажненность в регионе в голоцене существенно изменялась, что было связано с изменением интенсивности восточноазиатского муссона, контролирующего поступление влажных воздушных масс на сушу и количество годовых атмосферных осадков, большая часть которых выпадает летом (Базарова и др., 2018; Leipe et al., 2015; Park et al., 2021; Razjigaeva et al., 2023).

[#] Ссылка для цитирования: Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А. и др. (2024). Повторяемость сильных паводков на Западном Сахалине и интенсивность циклогенеза в среднем-позднем голоцене. *Геоморфология и палеогеография*. Т. 55. № 2. С. 173–190. <https://doi.org/10.31857/S2949178924020091>; <https://elibrary.ru/PNBIGI>

В последние годы для юга Дальнего Востока сделаны реконструкции экстремальных паводков по шельфовым (Астахов и др., 2019; Прушковская, 2019) и континентальным седиментологическим записям (Разжигаета и др., 2019; Razjigaeva et al., 2020). Работы, направленные на восстановление повторяемости палеотайфунов и сильных наводнений, выполнены для Корейского п-ова (Katsuki et al., 2016; Lim et al., 2017), материкового Восточного Китая (Zhou et al., 2019) и о-ва Тайвань (Chen et al., 2012). На Японских островах периоды с частыми сильными тайфунами в голоцене восстановлены по записям активизации штормовой деятельности в озерных палеоархивах (Woodruff et al., 2009), на основе варвостратиграфии отложений оз. Сугетсу (Suigetsu) на о. Хонсю (Suzuki et al., 2021) и изучению долинных торфяников низменности Исикари, о. Хоккайдо (Ishii et al., 2017).

Как и в современных условиях, в голоцене существенную роль играл тропический и внетропический циклогенез, на динамику которого оказывали влияние сложные процессы крупномасштабной циркуляции на границе суша—океан. Анализ синоптических данных за XX—XXI вв. показал, что положительные аномалии увлажнения в средних широтах Восточной Азии во многом определяются усилением меридиональных переносов тепла и влаги в атмосфере, с чем связано увеличение повторяемости и интенсивности циклонов (Глебова, 2018; Мезенцева и др., 2019; Aisen et al., 2001). Большую роль в перераспределении влаги играют аномалии составляющих теплового баланса и температуры поверхностного слоя воды в различных районах Тихого и Индийского океанов (Пономарев и др., 2015, 2018). На основе интерпретации результатов изучения водораздельного торфяника на юге Восточного Сахалина (около г. Долинск) с многочисленными следами наводнений было высказано предположение, что в голоцене значительно изменялись траектории глубоких циклонов, в том числе сильных тайфунов, вызывавших залповые выпадения атмосферных осадков и экстремальные наводнения (Razjigaeva et al., 2020).

Целью статьи является восстановление прохождения экстремальных паводков на западном побережье Южного Сахалина за последние 6.3 тыс. л., зафиксированных в разрезе долинного торфяника, что дает возможность увеличить разрешение геологической летописи. В задачи входило выяснение хронологии событий и анализ их повторяемости, выявление периодов активизации циклогенеза и сопоставление с палеоклиматическими данными по Российскому Дальнему Востоку, сопредельным территориям и общей палеоклиматической ситуацией в тихоокеанском регионе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Реконструкция паводков проведена для нижнего течения р. Целебной на основе изучения разреза торфяника (47°09'56.7" с. ш., 142°04'20.6" в. д.) с многочисленными тонкими слоями суглинков, накопление которых происходило в сильные паводки. Река Яблочная — III порядка, площадь водосбора составляет 70.3 км². Истоки находятся на Южно-Камышовом хребте (Западно-Сахалинские горы) на высоте около 400 м. Ширина долины в нижнем течении 500—600 м, высоты отрогов — до 80 м. Высота низкой поймы 0.9—1.0 м, высокой поймы — около 1.8—2.0 м. При паводках территория затапливается примерно до 2 м, в последнее сильное наводнение в тайфун Филлис (1981 г.) подъем воды на западном побережье острова достигал 4—5 м, на восточном — до 6.5 м.

Климат Южного Сахалина более мягкий по сравнению с теми же широтами материка, на западное побережье большое влияние оказывает теплое течение, ветвь Цусимского течения, а вдоль восточного берега проходит холодное Восточно-Сахалинское течение, что определяет климатическую и ландшафтную асимметрию (Короткий и др., 1997а). Среднегодовая *t* для г. Холмска составляет +3.9 °С, *t* ср. янв. —9.7 °С, *t* ср. авг. +17.7 °С, среднегодовое количество осадков 864 мм, температурный фон более высокий, чем на восточном побережье острова (Научно-прикладной..., 1990). Для зимнего периода на фоне интенсивного западного переноса характерен выход южных циклонов, образующихся на фронтальных разделах над Японским морем и Японскими островами. Высота снежного покрова за зиму на западном побережье Южного Сахалина невелика и составляет в районе г. Холмск 35 см (максимальная 73 и минимум 8 см) (Научно-прикладной..., 1990). В теплые месяцы атмосферную циркуляцию определяют антициклон над Охотским морем, циклоническая деятельность в Дальневосточной депрессии и генерация тайфунов на западе тропической части Тихого океана. Экстремальные паводки возникают при наложении жидких осадков на снеготаяние в горах (июнь) и при прохождении череды глубоких циклонов и тайфунов (август—сентябрь) (Генсировский, Казаков, 2015). Учитывая незначительное количество твердых осадков, сильные паводки на юго-западе Сахалина связаны с интенсивностью летнего циклогенеза. Даже в условиях обильных снегопадов на близлежащем о-ве Хоккайдо крупные паводки в исторический период проходили только в летний муссонный сезон (Ishii et al., 2017). В супертайфуны количество осадков на юге о-ва Сахалин может составлять $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$ годовой нормы, что во многих местах способствует активизации



Рис. 1. Схема района работ. (а) — положение о-ва Сахалин; (б) — Южный Сахалин с положением района работ и разреза со следами паводков на восточном побережье острова; (в) — долина р. Яблочной и положение изученного разреза торфяника № 322 со слоями суглинков, оставленных в сильные паводки. 1 — изученные разрезы.

Fig. 1. Study area. (a) — position of Sakhalin Island; (б) — Southern Sakhalin with position if study area and section with flood traces on eastern coast of the island; (в) — Yablochnaya River valley and position of studied section of peatbog № 322 with loam layers, deposited during strong floods. 1 — studied sections.

склоновой морфолитодинамики (Казаков, Генсиоровский, 2007).

Разрез расположен ниже слияния р. Яблочной с р. Целебной на выположенном участке долины (уклон 0.002) в 1.1 км от берега моря, в 12 км севернее г. Холмск (рис. 1). Высота поверхности около 5 м над у. м. Здесь опробована стенка дренажной канавы на старых торфоразработках в 130 м от реки. Нижняя часть разреза вскрыта с помощью геослайсера. Общая мощность торфяника 305 см. Отбор проб проводился в зависимости от литологического состава отложений.

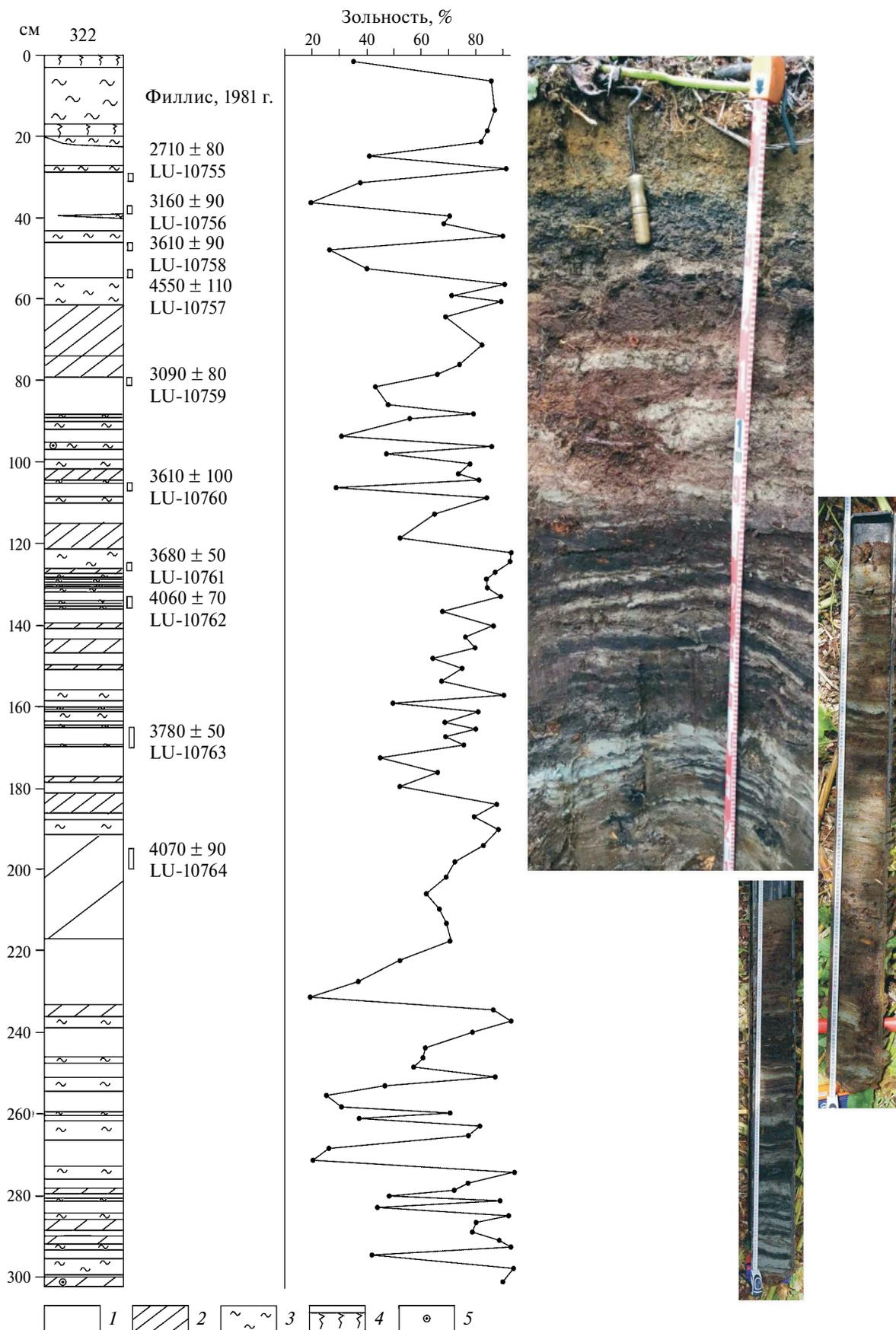
Определена зольность отложений, информативный параметр для выявления доли минерального

компонента, основным источником которого были полые воды. На о-ве Хоккайдо для выяснения паводковой активности р. Исикари в среднем—позднем голоцене была использована обратная величина — потери при прокаливании (п. п. п.) в разрезах долинных торфяников (Ishii et al., 2017). Зольность отложений определена с помощью прокалывания при 550 °С в течение 6 ч с последующим взвешиванием. Также выполнен диатомовый анализ по стандартной методике. Приводятся только предварительные данные. Радиоуглеродное датирование проводилось в Институте наук о Земле СПбГУ (табл. 1). Радиоуглеродные даты переведены в календарные в OxCal

Таблица 1. Радиоуглеродный и календарный возраст торфяника в долине р. Яблочной

Table 1. Radiocarbon and calendar ages of peatbog section in the Yablochnaya River valley

Номер образца	Интервал, см	Радиоуглеродный возраст, лет	Календарный возраст, кал. лет (2σ)	Лабораторный номер
1/322	29—31	2710±80	2840±90	LU-10755
9/322	37—39	3160±90	3360±110	LU-10756
2/322	46—48	4550±110	5200±160	LU-10757
10/322	53—55	3610±90	3930±130	LU-10758
3/322	79—81	3090±80	3280±100	LU-10759
4/322	105—107	3610±100	3930±140	LU-10760
5/322	125—127	3680±50	4020±70	LU-10761
6/322	133—136	4060±70	4580±120	LU-10762
7/322	165—170	3780±50	4160±90	LU-10763
8/322	195—200	4070±90	4590±140	LU-10764



4.4.1 (табл. 1) с использованием калибровочной кривой IntCal 20 (Reimer et al., 2020). Хронология паводков и периодов уменьшения водности водотока определены на основе возрастной модели, построенной по программе Bacon 4.2.2 с функцией slump (Vlaauw, Christen, 2011). Возраст приведен в календарных значениях. Для оценки повторяемости паводков сделан спектральный анализ с помощью пакета программ Past 3.26.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Строение разреза, зольность отложений и возрастная модель. Разрез торфяника (рис. 2) включает 38 слоев светло-серых суглинков, фиксирующих прохождение сильных наводнений за последние 6370 лет согласно возрастной модели (рис. 3). Мощность слоев варьирует от нескольких мм до 4.5 см, верхний слой, образованный в тайфун Филлис, достигает 14 см. Резкое увеличение мощности отложений этого наводнения связано с тем, что долина хорошо освоена с развитием дорожной сети и поселений, что многократно усиливает вынос тонкозернистого материала. Для доисторических событий мощность слоя косвенно отражает интенсивность наводнения и зависит от объема принесенного эродированного материала и длительности стояния воды в нижней части долины. Мы предполагаем, что паводки, которые оставили хорошо выраженные слои суглинков, отвечают прохождению сильных палеотайфунов и глубоких внетропических циклонов с общим количеством осадков ≥ 300 мм, сопоставимых с тайфуном Филлис.

Слои суглинков неравномерно распределены по разрезу, выделяются также органо-минеральные отложения, образованные при более слабых паводках. Зольность отложений очень высокая и достигает в суглинках до 91 %, в органо-минеральных отложениях — 65—82 %. В торфе, образованном в периоды снижения паводковой активности, зольность колеблется от 20 до 52 %. Прослой суглинка, оставленный в тайфун Филлис, лежит на погребенной почве и хорошо разложившемся торфе с линзой суглинка, в нижней части зольность составляет 41 %, в верхней — до 84 %.



Рис. 2. Разрез торфяника в долине р. Яблочной. 1 — торф; 2 — органо-минеральные отложения; 3 — суглинок; 4 — почва; 5 — древесина.

Fig. 2. Section of the peatbog in Yablochnaya River valley. 1 — peat; 2 — organic-mineral sediments; 3 — loam; 4 — soil; 5 — wood.

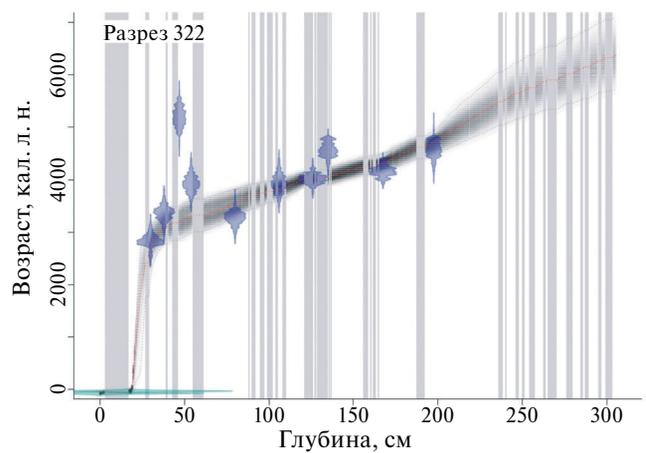


Рис. 3. Возрастная модель с выделением возраста сильных паводков (серые полосы). Голубым показаны ^{14}C -даты со стандартными отклонениями, серая кривая отражает 95 %-ный доверительный интервал.

Fig. 3. Age-depth model with ages of strong floods (grey bars). ^{14}C dates with standard deviations are shown in blue, the gray curve shows the 95 % confidence interval.

Возрастная модель показала, что три ^{14}C -даты (LU-10757, LU-10758, LU-10762) являются удревленными (рис. 3), вероятно, в наводнения эродировался и переносился более древний органо-генный материал. Скорости торфонакопления были довольно равномерными — 0.6—0.8 мм/г. и резко снижаются (до 0.03 мм/г) с 2820 лет.

Состав и распределение диатомей в слоях суглинков и вмещающих органо-генных отложениях крайне неоднородное, причем, следует отметить плохую сохранность створок в отдельных пробах за счет активного растворения. В слоях суглинков и органо-минеральных отложениях диатомей, в основном, аллохтонные, состав зависит от материала, который эродировался и переотлагался во время наводнений. Некоторые слои суглинков не содержат диатомей, что может говорить о сильном терригенном разбавлении и быстром сходе воды.

В слоях суглинков в нижней части разреза встречены единичные центральные поля озерно-реофильных видов (*Cymbella aspera*). Концентрация створок низкая (0.3 тыс./г). Вмещающий торф также содержит единичные экземпляры центральных полей озерно-болотных видов рода *Pinnularia*. Концентрация створок не превышает 0.4 тыс./г.

В средней части разреза в отдельных слоях суглинков (132—134 см) обнаружен богатый комплекс диатомей, концентрация створок достигает 76 тыс./г. Преобладание аллохтонных диатомей указывает на прохождение сильных паводков.

Озерно-реофильные виды преобладают (до 61%). Появляются космополиты *Amphora copulata*, *Diploneis elliptica*, *Neidium ampliatum*, обитающие в стоячих олиготрофно-мезотрофных водах. Эпифит *Cymbella aspera* преобладает. Содержание *Stauroneis phoenicenteron* увеличивается. Состав диатомей указывает на увеличение обводнения. Выше (108—110 см) в слоях суглинков во время наводнений шло поступление диатомей с заболоченных водоемов. Доминируют представители рода *Pinnularia*. Доля озерно-реофильных диатомей составляет 31.4%, преобладает обрастатель *Cymbella aspera*, присутствуют *Amphora copulata*, *Neidium* sp.

В органоминеральных отложениях с тонкими слоями суглинков (115—121 см) 4020—3930 л. н.) концентрация диатомей достигает 628 тыс./г. Створки имеют плохую сохранность. Преобладают озерно-реофильные виды (59.3%) с доминированием *Cymbella aspera*, присутствуют характерный для холодных вод *Cymbopleura heteropleura* и *Amphora copulata*. Доля озерно-болотной группы диатомей составляет 38.5%, доминируют представители рода *Pinnularia*. Комплекс свидетельствует о существовании обводненного болота с частыми наводнениями.

В верхней части разреза в органоминеральных отложениях (74—79 см) створки плохой сохранности, концентрация не превышает 45 тыс./г. Встречены только представители озерно-болотной группы — виды рода *Pinnularia* и ацидофил *Eunotia minor*. Торф (46—51 см) также мало насыщен диатомеями (96 тыс./г). Все створки носят следы растворения. Обнаружены озерно-реофильные *Diploneis ovalis*,

Neidium sp., а среди озерно-болотных видов представители рода *Pinnularia*. Выше в торфе обнаружены только единичные центральные поля видов рода *Pinnularia*. Концентрация створок не превышает 0.8 тыс./г.

Ближе к поверхности (23—27 см) в торфе почти все створки диатомей носят следы растворения. Концентрация диатомей составляет 605 тыс./г. Преобладают озерно-реофильные виды (54.5%) и озерно-болотные виды (45.5%) Встречены алкалофильные донный *Diploneis ovalis* (38.8%) и *Cymbella aspera* (9.9%), присутствуют *Epithemia adnata*, *Neidium* sp., *Ulnaria acus*. Из форм обычных для мелководных олиготрофных водоемов и обводненных болот преобладают виды рода *Pinnularia* (*Pinnularia viridis*, *P. lata*, *P. major*). Встречены фрагменты *Coscinodiscus* sp., *Thalassiosira* sp., перетолженные из древних морских отложений. Комплекс свидетельствует о существовании болота с мелкими озерами и прохождении частых небольших наводнений.

В верхнем наиболее мощном прослое суглинка (3—17 см) обнаружены 23 таксона диатомей хорошей сохранности. Доминируют почвенные виды (70.7%) *Hantzschia amphioxys*, *Humidophila contenta*, *Pinnularia borealis*, свидетельствующие об активной эрозии почвенного покрова во время крупного наводнения. Здесь существенно меньше озерно-болотных диатомей, перенесенных с болот и олиготрофных/дистрофных водоемов (17.4%), среди них встречены арктобореальный *Caloneis lauta*, космополит *C. leptosoma*. Доля реофильных диатомей составляет 7.6% (*Cymbella aspera*, *Meridion constrictum*, *Ulnaria*

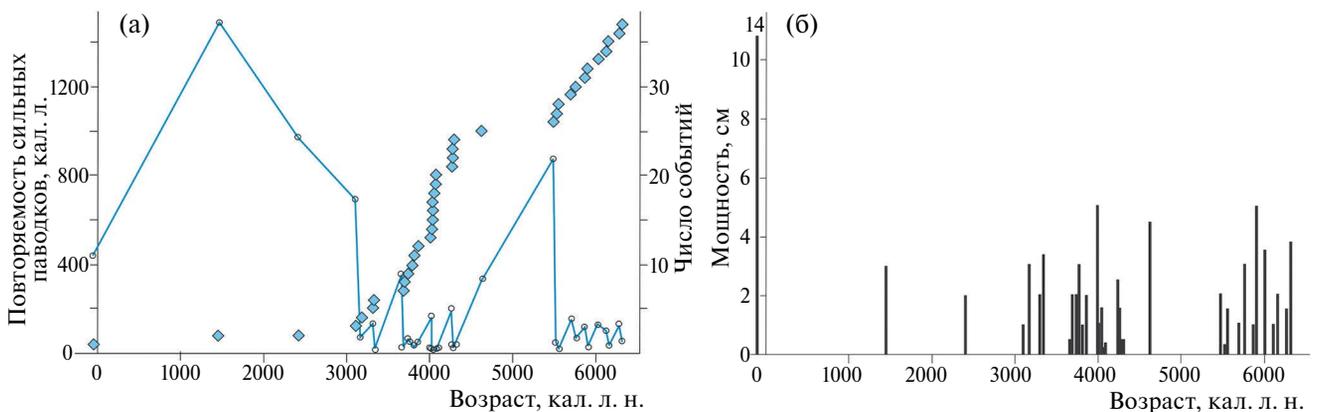


Рис. 4. Повторяемость супертайфунов и глубоких циклонов, сопровождавшихся сильными наводнениями на западном побережье Южного Сахалина в среднем-позднем голоцене (а) и мощность слоев суглинков, оставленных разновозрастными паводками (б).

Fig. 4. Recurrence of supertyphoons and deep cyclones, associated with strong floods in western coast of South Sakhalin in Middle-Late Holocene (а) and thickness of loam layers, deposited by different-age floods (б).

acus). Концентрация диатомей — 60 тыс./г. Встречен фрагмент *Coscinodiscus* sp.

Хронология событий и палеоклиматический фон. Выделяются несколько периодов с разной повторяемостью и интенсивностью паводков. В конце среднего голоцена (6470—5490 л. н.) сильные паводки проходили довольно регулярно (рис. 4). Выделено 12 событий, проходивших с повторяемостью 30—40 лет и 100—150 лет. Климат Южного Сахалина, восстановленный на основе данных спорово-пыльцевого анализа, в это время отличался нестабильностью условий и резкой сменой более влажных и более сухих периодов (Микишин, Гвоздева, 2018). Прохождение сильных паводков фиксируется и на Восточном Сахалине, где в изученном разрезе водораздельного торфяника резко меняется концентрация створок диатомей за счет терригенного разбавления и заметно увеличивается количество реофильных диатомей и поломанных створок, выносимых реками в наводнения в озеро-лагуну. Отдельных событий в терригенных отложениях здесь не было выделено (Razjigaeva et al., 2020).

Около 5490—4300 л. н. водность р. Яблочной снижалась (рис. 4). В начале периода (до 5430—5100 л. н.) наводнений практически не было. В этот период уменьшилась и зольность отложений в разрезе торфяника на Восточном Сахалине (Razjigaeva et al., 2020). Этот временной интервал близок к похолоданию на границе атлантик—суббореал, сопровождавшемуся на юге Дальнего Востока иссушением климата (Короткий и др., 1997б). На Сахалине похолодание со снижением увлажнения отмечено 5300—4700 л. н. (Микишин, Гвоздева, 2017; Микишин и др., 2020), а глобальное холодное событие выделяется 4800—4600 л. н. (Wanner et al., 2011).

Около 5100—4300 л. н. в долине р. Яблочной происходило накопление органоминеральных отложений, что свидетельствует об активизации циклогенеза, наводнения проходили регулярно, но они были небольшими и не оставляли отдельных слоев суглинков в разрезе. Зафиксирован только один экстремальный паводок (~4620 л. н.), оставивший слой суглинка мощностью 4.5 см. На Восточном Сахалине 4640—4360 л. н. выделяется период частых сильных паводков, связанный с высокой активностью тайфунов (Razjigaeva et al., 2020). Фаза высокой штормовой активности на юге Японских островов также объясняется усилением частоты прохождения сильных тайфунов (Woodruff et al., 2009). В конце периода в долине р. Яблочная отмечено несколько короткопериодных сухих событий (4620—4600; 4520—4460; 4430—4340; 4320—4300 л. н.), когда

накапливался низкозольный торф. Климат на юге острова был теплее или близкий к современному и суше (Микишин, Гвоздева, 2017).

Период 4300—3670 л. н. характеризовался высокой повторяемостью сильных наводнений в бассейне р. Яблочной, происходивших каждые 10—40 лет. На Восточном Сахалине период сильных паводков был 4030—3580 л. н., но повторяемость их реже — 50—100 лет (Razjigaeva et al., 2020). В это время (4300—3550 л. н.) увеличивалась интенсивность течения Соя, ветвь Цусимского течения в южной части Охотского моря (Kawahata et al., 2003).

В пределах этого периода повторяемость паводков в бассейне р. Яблочной снижалась (до 150—190 лет) 4260—4070 и 4020—3860 л. н., когда происходили незначительные наводнения и слоев суглинков не образовывалось. Климатические условия на острове были теплее и суше современных (Микишин и др., 2020), возможно, за счет эффективного испарения. Водность р. Яблочной была низкой 3670—3320 л. н., слабые наводнения начались после 3530 л. н. На Восточном Сахалине также снизилась повторяемость экстремальных паводков. Это событие совпадает с похолоданием, датированным на Южном Сахалине 3600—3500 л. н. (Микишин и др., 2020).

Четыре крупных паводка в бассейне р. Яблочной произошло 3320—3110 л. н. В начале периода с небольшим интервалом произошли два наводнения, суммарная мощность слоя суглинков, разделенная тонким прослоем торфа, 6 см. На острове в это время выделяется потепление (3500—2900 л. н.), сопровождавшееся иссушением (Микишин и др., 2020), что не исключает прохождение отдельных супертайфунов, вызывавших залповые осадки.

Последние 3110 л. н. сильные паводки в долине р. Яблочной были редкими явлениями, в доисторический период произошло только два крупных наводнения (2420, 1450 л. н.). С 2820 л. н. снижение скоростей торфонакопления вплоть до формирования торфянистой погребенной почвы произошло в одно из наиболее значительных похолоданий голоцена, отличавшегося резким снижением увлажнения в Восточной Азии, связанном со снижением интенсивности летнего муссона (Борисова, 2014; Wanner et al., 2011; Chen et al., 2015, Park et al., 2019). Это похолодание и иссушение климата хорошо проявилось и на юге Дальнего Востока (Базарова и др., 2018; Razjigaeva et al., 2023), в том числе и на Сахалине (Короткий и др., 1997а; Микишин, Гвоздева, 2018; Микишин и др., 2020; Leipe et al., 2015).

Линза суглинка и увеличение зольности в верхней части почвы свидетельствуют об усилении паводко-

вой активности ~1450 л. н., что совпадает с периодом частых сильных паводков на Восточном Сахалине с повторяемостью 50—75 лет (1860—1380 л. н.) (Razjigaeva et al., 2020). Предполагается, что летом в это время смещался на юг полярный фронт. Современным аналогом частых ливней при близком стоянии полярного фронта является ситуация в Приморье летом 2023 г.

Верхний слой суглинка был образован во время прохождения тайфуна Филлис (2—8.08.1981), вызвавшего самый сильный и разрушительный паводок за период наблюдений. К острову тайфун подошел 6.08.1981 вслед за циклоном, зародившимся над территорией Приморья, севера Кореи и Китая на остатках тайфуна Оджин (27.07—1.08.1981). Из-за влияния циклона траектория тайфуна Филлис была нетипичной: сначала он шел к Курильским о-вам, затем резко изменил направление, пересек Хоккайдо и обрушился на Сахалин, затем пошел на Хабаровский край и затух в Амурской области 8.08.1981 (Japan Meteorological Agency, <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/summary/wnp/1/198112.html.en>). Общее количество осадков на Южном Сахалине составило до 300 мм, а в горах сумма осадков варьировала от 435 до 1277 мм (Казаков, Генсиоровский, 2007).

Сравнение записей крупных паводков на Сахалине и сопоставление с общеклиматической ситуацией в тихоокеанском регионе. Сравнение данных по Южному Сахалину и записей сильных паводков (Suzuki et al., 2021) и других свидетельств палеотайфунов (Woodruff et al., 2009) в озерных отложениях, полученных для Японских островов и других районов Восточной Азии — Приморья (Астахов и др., 2019), Южной Кореи (Katsuki et al., 2016; Lim et al., 2017), Южного Китая (Zhou et al., 2019) и о-ва Тайвань (Chen et al., 2012), показывает, что периоды с частым прохождением экстремальных событий далеко не всегда совпадают во временных границах. Это связано как с изменением интенсивности тропического и внетропического циклогенеза, так и с траекториями супертайфунов и глубоких циклонов, которые сильно зависели от особенностей барических полей на момент их прохождения над конкретными регионами. Метеорологические наблюдения показывают, что траектории циклонов существенно зависят от градиентов атмосферного давления, есть определенные закономерности их распределения по сезонам (Мезенцева и др., 2019). Большую роль в формировании тайфунов и внетропических циклонов у восточной окраины Азии играет климатическая ситуация в Тихоокеанском регионе, включая тропики, а также изменение интенсивности и положения мод центров

действия атмосферы (Тунеголовец, 2010; Глебова, 2018, 2021). Генерация тайфунов тесно связана с расширением теплого бассейна в западной части Тихого океана (Ho et al., 2004), а траектории движения во многом определяются положением западного гребня Тихоокеанского (Гавайского) антициклона (Зуенко, 2007).

Записи паводков для Западного и Восточного Сахалина отражают как общие тенденции, так и имеют различия (рис. 5), связанные, в первую очередь, с различным геоморфологическим положением палеоархивов (долинный и водораздельный торфяники), а также с особенностями выходов тайфу-

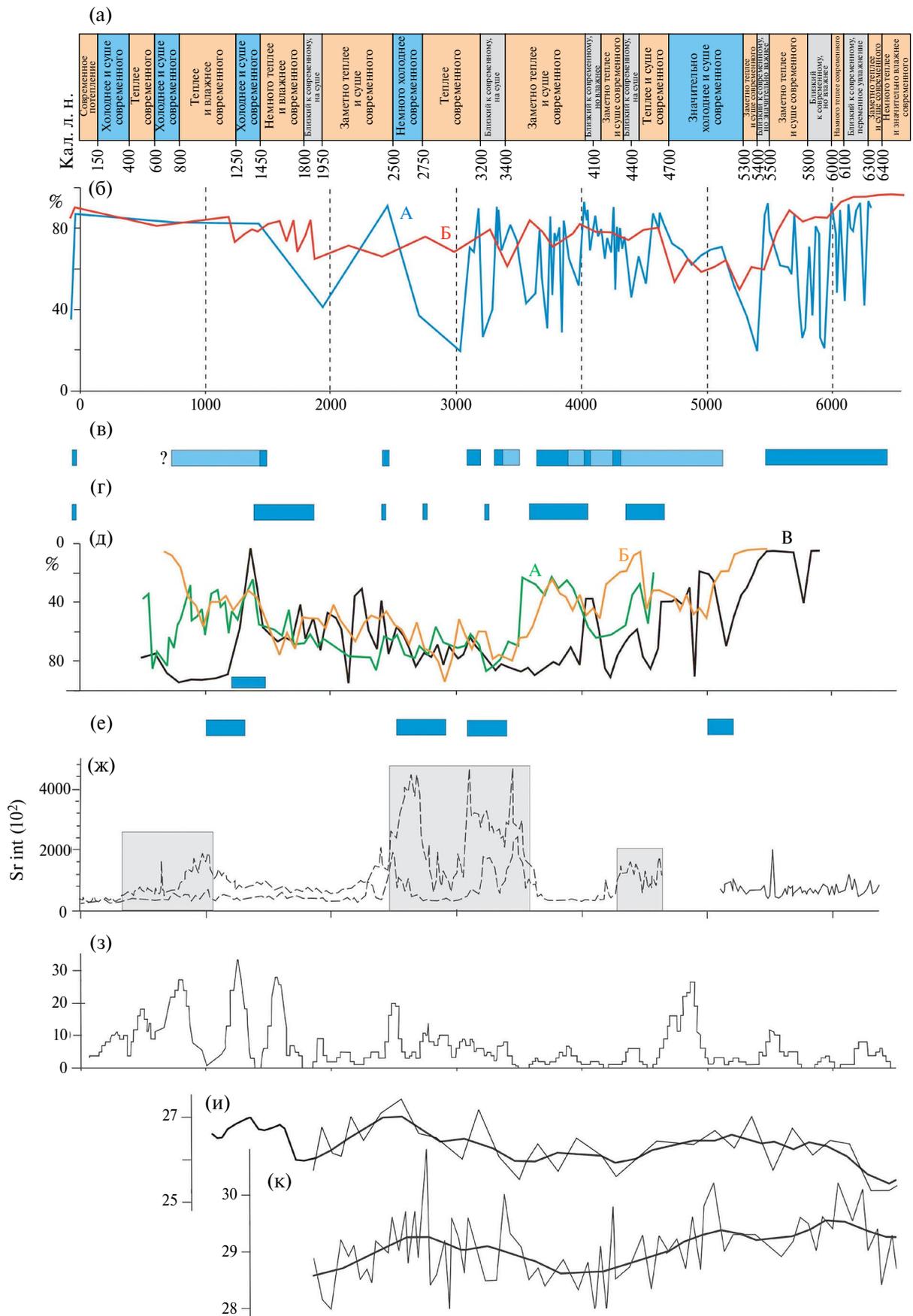
—————>

Рис. 5. Реконструкции периодов с сильными паводками в сравнении с палеоклиматическими построениями по Южному Сахалину и палеогеографическими данными по Западной Пацифике.

(а) — палеоклиматические данные по Южному Сахалину (Микишин, Гвоздева, 2017, 2019; Микишин и др., 2021); (б) — зольность торфа в разрезе в бассейне р. Яблочной (А) и разрезе в бассейне р. Найбы (Б); (в) — периоды с паводками разной интенсивности на Южном Сахалине (западное побережье, бассейн р. Яблочной); (г) — периоды сильных паводков (восточное побережье, бассейн р. Найбы); (д) — п. п. торфа в разрезах в бассейне р. Исикари, Западный Хоккайдо и период с сильными паводками, А, Б — разрезы, расположенные ближе к руслу, В — разрез ближе к борту долины (Ishii et al., 2017); (е) — периоды экстремальных паводков на юге о. Хонсю (Suzuki et al., 2021); (ж) — периоды высокой штормовой активности, о-в Камикошики, юг Японии (Woodruff et al., 2009); (з) — повторяемость событий Эль-Ниньо за 100 лет (Moy et al., 2002); (и) — запись ТПО в районе трога Окинава, °С (Sun et al., 2005); (к) — запись ТПО в тропической зоне западной части Тихого океана, °С (Stott et al., 2002; Park et al., 2021).

Fig. 5. Reconstruction of the periods with strong floods compared with paleoclimatic data for Southern Sakhalin and paleogeographical records for Western Pacific.

(a) — paleoclimatic data for Southern Sakhalin (Mikishin, Gvozdeva, 2017, 2019; Mikishin et al., 2021); (b) — ash content of the peat in the section in Yablochnaya River valley (A) and Naiba River basin (B); (v) — periods of different intensity floods (western coast, Yablochnaya River basin); (g) — periods of strong floods (eastern coast, Naiba River basin); (d) — LOI of the peatbogs within Ishikari River basin, Western Hokkaido and period with strong floods, A, B — section located near the river channel, B — section located further from the river channel (Ishii et al., 2017); (e) — periods of extreme floods on south of the Honshu Island (Suzuki et al., 2021); (zh) — periods of high storm activity, Kamikoshiki Island, South Japan (Woodruff et al., 2009); (z) — frequency (per 100 years) of El Niño events (Moy et al., 2002); (i) — sea surface temperature (SST) records, Okinawa Trough regions, °C (Sun et al., 2005); (k) — SST records in the western tropical zone of the Pacific Ocean, °C (Stott et al., 2002; Park et al., 2021).



нов с разными траекториями на остров. Количество сильных паводков в среднем-позднем голоцене, зафиксированных в долинном торфянике, выше (38 событий) по сравнению с водораздельным (25 событий), и повторяемость в периоды активизации циклогенеза составляет на западном побережье 1 раз в 10—30 лет, а на восточном — в 30—90 лет (Razjigaeva et al., 2020). В теплые периоды (оптимумы среднего и позднего голоцена) большую роль в затоплении нижней части долины играл и подъем базиса эрозии при трансгрессивном положении уровня моря с подъемом до 2.5—3 м выше современного (Короткий и др., 1997а, б).

Периоды с сильными наводнениями на Западном Сахалине, как правило, происходили в потепления или в условиях, близких к современным, характеризующихся разным увлажнением (Микишин, Гвоздева, 2017; 2018; Микишин и др., 2020). Полученные данные показывают, что отдельные экстремальные наводнения были и в относительно сухие фазы в силу сложившихся синоптических ситуаций.

Длительная фаза, выделенная на Западом Сахалине 6470—5490 л. н., не прослежена на восточном побережье острова, поскольку в изученном разрезе в этот период накапливались лагунные и озерные отложения, в которых не образовывались слои, отвечающие отдельным паводкам. В то же время снижение концентрации створок и привнос большого количества реофильных диатомей свидетельствовали о прохождении крупных паводков (Razjigaeva et al., 2020). Об этом же говорит и высокая зольность органических отложений (рис. 5).

В теплых условиях среднего голоцена, усиленных действием теплого течения (Kawahata et al., 2003), происходила активизация меридиональных переносов тепла в океане и атмосфере, в западной части тропической зоны Тихого океана доминировала положительная аномалия поверхностных температур (Stott et al., 2004; Sun et al., 2005), что способствовало интенсивному тропическому циклогенезу. Данные по северо-западу Америки свидетельствуют, что в среднем голоцене северо-тихоокеанский (гавайский) антициклон был более интенсивным, чем в позднем голоцене и располагался севернее (Barron, Anderson, 2011). Вероятно, при такой ситуации траектории тайфунов и внетропических морских циклонов смещались к западу океана. Субарктический фронт располагался севернее своего современного положения (Yamamoto et al., 2021).

Ряд исследователей связывают деятельность супертайфунов в прошлом с быстрой интенсифи-

кацией событий ЭНСО (Woodruff et al., 2009; Chen et al., 2012; Lim et al., 2017). В среднем голоцене Эль-Ниньо имели небольшую амплитуду и происходили редко (Mou et al., 2002; Rein et al., 2005; Barron, Anderson, 2011). Отдельные минимумы содержания минеральной примеси в торфянике р. Яблочной (рис. 5) совпадают по времени с сигналами Эль-Ниньо (Mou et al., 2002) и, возможно, связаны с кратковременными сухими фазами. В современных условиях усиление интенсивности Эль-Ниньо приводит к дефициту атмосферных осадков в юге материковой части Дальнего Востока (Бышев и др., 2014). Возможно, такая же картина в прошлом была и на Западном Сахалине.

Определенное сходство в записях сильных паводков наблюдается в разрезах торфяников на Южном Сахалине и в Западном Хоккайдо (Ishii et al., 2017), который пересекают южные циклоны, выходящие на о. Сахалин. Кривые, отражающие содержания минеральных примесей в торфяниках, имеют общие черты (рис. 5). На Западном Сахалине хорошо выражена фаза без сильных паводков 5490—5100 л. н., а на Западном Хоккайдо период без сильных наводнений отмечен 5500—5000 л. н., что связывают с ослаблением активности восточноазиатского летнего муссона (Ishii et al., 2017). В это время климатические условия на юге Дальнего Востока стали более прохладными (Короткий и др., 1997б), в том числе на Южном Сахалине (Микишин и др., 2020), а также на Японских островах (Sakaguchi, 1983). На юге Дальнего Востока уменьшалось увлажнение, что могло происходить в периоды преобладания зональных типов циркуляции атмосферы.

С 6000 до 5000 л. н. в тропической части Тихого океана начали происходить существенные климатические изменения (Rein et al., 2005). Отмечено падение температур поверхности океана (ТПО) на западе тропической зоны и в районе трога Окинава, сменившееся небольшим подъемом после 5200 л. н. (Stott et al., 2004; Sun et al., 2005), когда тропический циклогенез усиливался. Возможно, с этой причиной связано, что с 5100 л. н. на Западном Сахалине регулярно стали проходить паводки, но экстремальных событий не было. В конце этого периода (5200—5000 л. н.) экстремальные паводки зафиксированы на юге о-ва Хонсю (Suzuki et al., 2021). Период частых паводков 5200—4900 л. н. на Корейском п-ове также связывают с увеличением ТПО с 29 до 30.2 °C (Lim et al., 2022).

Длительный период экстремальных паводков на юге Сахалина (4300—3580 л. н.) приурочен к потеплению в начале позднего голоцена (оптимум суб-

бореала) (рис. 5). Потепление также было усилено за счет интенсификации теплого течения (Kawahata et al., 2003). Проявление экстремальных паводков на восточном и западном побережьях несколько отличалось по времени (рис. 5), но, в целом, можно сказать, что траектории сильных тайфунов и глубоких циклонов часто пересекали южную часть острова. На Западном Хоккайдо выделен период 4000—3500 л. н. уменьшения паводковой активности р. Исикали (Ishii et al., 2017), но судя по уменьшению п. п. п., торфяники, расположенные ближе к руслу реки, заливались полыми водами, т.е. паводки происходили, но они захватывали не всю долину.

Для этого времени выделено два эпизода с низкой водностью р. Яблочной 4260—4070 и 4020—3860 л. н. Первый эпизод совпадает с границей среднего-позднего голоцена новой международной стратиграфической шкалы (Walker et al., 2019). Короткий сдвиг в сторону более прохладных условий ~4130 л. н. отмечен на о-ве Ребун, Япония (Leipe et al., 2018), 4120 л. н. в северо-восточном Китае (Stebich et al., 2015), а также 4200 и 4000 л. н. в Южной Корее (Park et al., 2019). Более сухие условия связывают не со снижением солнечной активности, а с уменьшением ТПО в тропиках (Stott et al., 2004). Второй эпизод (4020—3860 л. н.) снижения паводковой активности р. Яблочной совпадает с началом оптимума позднего голоцена на Южном Сахалине (4000—3600 л. н.), когда было теплее и суше, чем в настоящее время (Микишин и др., 2020), возможно, за счет эффективного испарения.

В позднем голоцене в тихоокеанском регионе резко активизировалось Эль-Ниньо, особенно после 3500—3700 л. н. (Mou et al., 2002; Lim et al., 2022), что усиливало климатическую нестабильность и определяло разнонаправленные тренды в разных частях региона. Северо-тихоокеанский (Гавайский) антициклон был ослаблен и/или смещался на юг (Ваггон, Anderson, 2011), что, по-видимому, способствовало смещению траекторий большинства циклонов с очагами в тропической зоне западной Пацифики на восток.

Можно предположить, что прохождению циклонов на север способствовало и снижение интенсивности Охотского антициклона, стоявшего в теплый сезон над Охотским морем. По данным современных наблюдений его ослабление происходит в годы с низкой активностью Сибирского антициклона, действующего зимой, но влияющего на ход летних атмосферных аномалий (Глебова, 2021). В начале позднего голоцена Сибирский антициклон не был

интенсивным, активизация его отмечена около 3000 л. н. (Mayewski et al., 2004).

В дальнейшем на спаде температурного фона на юге Сахалина выделяются только отдельные экстремальные паводки. Причем по времени они хорошо совпадают с положительными аномалиями ТПО на западе тропической части Тихого океана (Stott et al., 2004; Sun et al., 2005). В целом же на юге острова условия были суше современных (Микишин и др., 2020), в отличие от материковой части юга Дальнего Востока (Короткий и др., 19976), где циклогенез был активным.

Частые и сильные тайфуны, вызвавшие на юге Японии (3600—2500 л. н.) увеличение штормовой активности с разрушением барьерных форм береговых озер (Woodruff et al., 2019), по-видимому, имели траектории, не выходявшие в район Сахалина и, вероятно, следовавшие на континент и на юг Курильских о-вов, где увлажнение было высоким (Макарова, Гребенникова, 2015; Разжигаева и др., 2022). Около 3400—3100 л. н. сильные паводки зафиксированы на юге о-ва Хонсю (Suzuki et al., 2021). Периоды разрушений барьеров в береговых озерах совпадают с увеличением частоты Эль-Ниньо, поэтому предполагается, что Эль-Ниньо сыграло ключевую роль в управлении изменчивостью тайфунов в это время (Woodruff et al., 2019). На материке (Корейский п-ов) около 3700 л. н. отмечено увеличение частоты тайфунов и повторяемости сильных паводков, что также связывают с климатическим сдвигом, обусловленным усилением активности Южного колебания и смещением к югу внутритропической зоны конвергенции (Lim et al., 2022).

С 3110 л. н. экстремальные паводки на западном побережье юга Сахалина были единичные. Период крупных наводнений 1860—1380 л. н. на восточном побережье на западном побережье не выделен, возможно, в силу низкого временного разрешения записей паводков из погребенной почвы. Сильное наводнение произошло около 1450 л. н., с этого времени паводки проходили регулярно, но экстремальных событий не зафиксировано. На Западном Хоккайдо 1400—1300 л. н. проходили сильные паводки (Ishii et al., 2017). В целом, холодный период Кофун, выделенный для Японии 1710—1220 л. н., отличался интенсивными ливнями и частыми наводнениями (Sakaguchi, 1983). Активность супертайфунов повышалась 1450—1250 л. н. и на о-ве Тайвань (Chen et al., 2012). Озерная запись на юге Хонсю показала, что экстремальные паводки были сдвинуты во времени и наблюдались 1300—1000 л. н. (Suzuki et al., 2021). Предполага-

ется, что снижение активности Эль-Ниньо в это время (Mou et al., 2002; Zhang et al., 2014) привело к увеличению величины и частоты тропических штормов и тайфунов, приближающихся к Японии, и отсюда усиление паводковой активности рек (Ishii et al., 2017). На материке (бассейн р. Бикин) длительный период с обильным речным стоком и паводками начался ~1260 л. н. и продолжался до 720 л. н. (Разжигаета и др., 2019).

В малый ледниковый период на о-ве Сахалин было относительно сухо (Микишин, Гвоздева, 2018), следов экстремальных наводнений в изученных разрезах не обнаружено. Возможно, более сухие условия связаны с блокирующим действием Охотского антициклона: повышенный фон давления над Охотским морем стал препятствием для активного выхода циклонов. Высокая водность рек и обилие паводков установлена для материковой части юга Дальнего Востока и юга Курильских о-вов (Razjigaeva et al., 2023). В период инструментальных наблюдений сильные тайфуны на юге Сахалине — частые явления, но в изученных разрезах найден только суглинок, образованный при затоплении долин в тайфун Филлис.

ВЫВОДЫ

На Западном Сахалине обнаружен разрез долинного торфяника с многочисленными слоями суглинков, образованных в экстремальные паводки, что позволило получить геологическую летопись интенсивности и повторяемости выхода на остров сильных палеотайфунов или глубоких внутритропических циклонов, сопровождавшихся экстремальными наводнениями за последние 6370 лет. Современным аналогом палеопаводков является наводнение во время тайфуна Филлис 1981 г., при прохождении которого образовался верхний слой суглинка в изученном разрезе. На основе моделирования, проведенного по данным радиоуглеродного датирования, определен возраст 38 сильных паводков, а изменение величины зольности торфа позволило выделить периоды увеличения водности водотока с паводками меньшего масштаба, не оставивших видимых слоев в разрезе. Выделено несколько периодов с разной повторяемостью и интенсивностью паводков. Кратковременные эпизоды без паводков, как правило, сопоставимы с уменьшением температуры воды в западной тропической зоне Тихого океана и/или с интенсификацией Эль-Ниньо.

Сравнение записей паводков на западном и восточном побережьях Южного Сахалина показало, что

количество сильных паводков, зафиксированных в долинном торфянике, выше по сравнению с ранее изученным водораздельным торфяником (25 событий) и повторяемость в периоды активизации циклогенеза составляет на западном побережье 1 раз в 10—30 лет, а на восточном — в 30—90 лет.

Сравнение данных по Южному Сахалину и записей экстремальных гидрологических событий в других регионах Восточной Азии показывает, что периоды с частым прохождением сильных палеотайфунов и глубоких циклонов не всегда совпадают во времени. Основной причиной являются особенности траекторий супертайфунов и глубоких циклонов при разных климатических ситуациях, которые определялись аномалиями крупномасштабной циркуляции и соответственно барических полей в период прохождения тропических и внутритропических циклонов над окраинными конкретными районами Восточной Азии. На основе анализа полученных данных подтверждается, что формирование тайфунов, их траектории и усиление циклогенеза в Восточной Азии и прилегающей части океана в среднем — позднем голоцене тесно связаны с потеплением на западе Тихого океана, а также от положения и интенсивности центров действия атмосферы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят коллег, принявших участие в полевых работах. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект 22-27-00222 (<https://rscf.ru/project/22-27-00222>). При подготовке и просмотре проб использовалась инфраструктура ТИГ ДВО РАН (тема государственного задания 122020900184-5 и ИВЭП ДВО РАН (тема государственного задания 121021500060-4), при обработке данных — ТОИ ДВО РАН (тема государственного задания 122110700009-1). Полевые работы выполнены сотрудниками ТИГ ДВО РАН и ИМГиГ ДВО РАН (тема государственного задания 121021500062-8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Астахов А. С., Дарьин А. В., Калугин И. А. и др. (2019). Реконструкция частоты катастрофических наводнений на западном побережье Японского моря по шельфовым седиментационным записям. *Метеорол. Гидрол.* № 1. С. 91—102. <http://dx.doi.org/10.3103/S1068373919010072>
- Базарова В. Б., Климин М. А., Копотева Т. А. (2018). Голоценовая динамика восточноазиатского мус-

- сона в Нижнем Приамурье (юг Дальнего Востока). *География и природные ресурсы*. № 3. С. 124—133. <http://dx.doi.org/10.1134/S1875372818030071>
- Борисова О. К. (2014). Ландшафтно-климатические изменения в голоцене. *Известия РАН. Серия географическая*. № 2. С. 5—20. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2014-2-5-20>
- Бышев В. И., Нейман В. Г., Пономарев В. И. и др. (2014). Роль глобальной атмосферной осцилляции в формировании климатических аномалий Дальневосточного региона России. *Докл. Акад. Наук*. Т. 458. № 1. С. 92—96. <https://doi.org/10.7868/S0869565214250148>
- Генсиоровский Ю. В., Казаков Н. А. (2015). Условия формирования экстремальных паводков в бассейнах рек низкогогорья (на примере о. Сахалин). В сб.: *Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска: Всероссийская научная конференция с международным участием*. Южно-Сахалинск, 26—30 мая 2015 г.: сборник материалов. Т. 2. Владивосток: Дальнаука. С. 302—305.
- Глебова С. Ю. (2018). Циклоны над Тихим океаном и Дальневосточными морями в холодные и теплые сезоны и их влияние на ветровой и термический режим в последний двадцатилетний период. *Известия ТИНРО*. Т. 193. С. 153—166. <http://dx.doi.org/10.26428/1606-9919-2018-193-153-166>
- Глебова С. Ю. (2021). Сибирский антициклон как важный фактор развития циклонической деятельности в Дальневосточном регионе в зимний, весенний и летний сезоны. *Известия ТИНРО*. Т. 221. Вып. 4. С. 879—894. <http://dx.doi.org/10.26428/1606-9919-2021-201-879-894>
- Зуенко Ю. И. (2007). Промысловая океанология Японского моря. Владивосток: ТИНРО-центр. 227 с.
- Казаков Н. А., Генсиоровский Ю. В. (2007). Влияние вертикального градиента осадков на характеристики гидрологических, лавинных и селевых процессов в низкогогорье. *Геозология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. № 4. С. 342—347.
- Короткий А. М., Пушкарь В. С., Гребенникова Т. А. и др. (1997а). Морские террасы и четвертичная история шельфа Сахалина. Владивосток: Дальнаука, 194 с.
- Короткий А. М., Гребенникова Т. А., Пушкарь В. С. и др. (1997б). Климатические смены на территории юга Дальнего Востока в позднем плейстоцене-голоцене. *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. № 3. С. 121—143.
- Макарова Т. А., Гребенникова Т. А. (2015). Реконструкция изменений ландшафтов островов Малой Курильской гряды на основе состава диатомовой флоры позднплейстоцен-голоценовых торфяников. *География и природные ресурсы*. № 2. С. 124—133.
- Мезенцева М. И., Гришина М. А., Кондратьев И. И. (2019). Траектории и глубина циклонов, выходящих на территорию Приморского края. *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. № 4. С. 29—38. <http://dx.doi.org/10.25808/08697698.2019.206.4.003>
- Микишин Ю. А., Гвоздева И. Г. (2017). Ранний суббореал Сахалина. *Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН*. № 4. С. 25—38.
- Микишин Ю. А., Гвоздева И. Г. (2018). Следы похолодания на юге Сахалина в позднледниковье и атлантическом периоде голоцена. *Успехи современного естествознания*. № 3. С. 107—116.
- Микишин Ю. А., Пушкарь В. С., Гвоздева И. Г. (2020). Палеогеография побережья Южного Сахалина в суббореальном периоде голоцена. *Успехи современного естествознания*. № 10. С. 97—107.
- Научно-прикладной справочник по климату Вып. 34. (1990). Л.: Гидрометеиздат. 351 с.
- Пonomarev В. И., Дмитриева Е. В., Шкорба С. П. (2015). Особенности климатических режимов в северной части Азиатско-Тихоокеанского региона. *Системы контроля окружающей среды*. № 1(21). С. 67—72.
- Пonomarev В. И., Дмитриева Е. В., Шкорба С. П. и др. (2018). Изменение планетарного климатического режима на рубеже XX—XXI веков. *Вестник московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана*. Т. 21. № 1. С. 160—169.
- Прушковская И. А. (2019). Влияние тайфунов на содержание диатомей в осадках Амурского залива (Японское море) за последние 150 лет. *Вестник Камчатской региональной ассоциации “Учебно-научный центр”. Серия: Науки о Земле*. Вып. 42. № 2. С. 111—119. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-2-42-1-9>
- Раззигаева Н. Г., Ганзей Л. А., Гребенникова Т. А. и др. (2019). Летопись речных паводков в предгорьях Сихотэ-Алиня за последние 2,2 тысячи лет. *Известия РАН. Серия географическая*. № 2. С. 85—99. <http://dx.doi.org/10.31857/S2587-55662019285-99>
- Раззигаева Н. Г., Гребенникова Т. А., Ганзей Л. А. и др. (2022). Отклик озерной экосистемы Малой Курильской гряды на палеоклиматические и сейсмические события. *Геофизические процессы и биосфера*. Т. 21. № 4. С. 53—73. <https://doi.org/10.21455/GPB2022.4-4>
- Тунеголовец В. П. (2010). Комплексный метод прогноза перемещения и интенсивности тайфунов. *Труды ДВ-НИГМИ*. № 1. С. 189—202.
- Aizen E. M., Aizen V. B., Melack J. M. et al. (2001). Precipitation and atmospheric circulation patterns at mid-latitudes of Asia. *Int. J. of Climatology*. V. 21. Iss. 5. P. 535—556. <https://doi.org/10.1002/joc.626>
- Barron J. A., Anderson L. (2011). Enhanced Late Holocene ENSO/ PDO expression along the margins of the eastern North Pacific. *Quat. Int.* V. 235. Iss. 1-2. P. 3—12. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.02.026>
- Blaauw M., Christen J. A. (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*. V. 6. № 3. P. 457—474. <https://doi.org/10.1214/ba/1339616472>
- Chen F., Xu Q., Chen J. et al. (2015). East Asian summer monsoon precipitation variability since the last deglaciation. *Scientific Report*. V. 5. P. 11186. <https://doi.org/10.1038/srep11186>

- Chen H.-F., Wen S.-Y., Song S.-R. et al. (2012). Strengthening of paleo-typhoon and autumn rainfall in Taiwan corresponding to the Southern Oscillation at late Holocene. *J. of Quat. Sci.* V. 27. Iss. 9. P. 964—972. <https://doi.org/10.1002/jqs.2590>
- Ho C. H., Baik J. J., Kim J. H. et al. (2004). Interdecadal changes in summer-time typhoon tracks. *J. Clim.* V. 17. Iss. 9. P. 1767—1776. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<1767: ICISTT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<1767: ICISTT>2.0.CO;2)
- Ishii Y., Hori K., Momohara A. (2017). Middle to late-Holocene flood activity estimated from loss on ignition of peat in the Ishikari lowland, northern Japan. *Global and Planetary Change.* V. 153. P. 1—15. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.04.004>
- Katsuki K., Yang D. Y., Seto K. et al. (2016). Factors controlling typhoons and storm rain on the Korean Peninsula during the Little Ice Age. *J. Paleolimnol.* V. 55. P. 35—48. <https://doi.org/10.1007/s10933-015-9861-3>
- Kawahata H., Ohshima H., Shimada C. et al. (2003). Terrestrial-oceanic environmental change in the southern Okhotsk Sea during the Holocene. *Quat. Int.* V. 108. Iss. 1. P. 67—76.
- Leipe C., Nakagawa T., Gotanda K. et al. (2015). Late Quaternary vegetation and climate dynamics at the northern limit of the East Asian summer monsoon and its regional and global-scale controls. *Quat. Sci. Rev.* V. 116. P. 57—17. <https://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2015.03.012>
- Leipe C., Müller S., Hille K. et al. (2018). Vegetation change and human impacts on Rebun Island (Northwest Pacific) over the last 6000 years. *Quat. Sci. Rev.* V. 193. P. 129—144. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.06.011>
- Lim J., Lee J.-Y., Hong S. S. et al. (2017). Holocene change in flooding frequency in South Korea and their linkage to centennial-to-millennial-scale El Niño-Southern Oscillation activity. *Quat. Res.* V. 87. P. 37—48. <https://doi.org/10.1017/qua.2016.8>
- Lim J., Um I.-K., Yi S., et al. (2022). Hydroclimate change and its controlling factors during the middle to late Holocene and possible 3.7-ka climatic shift over East Asia. *Quat. Res.* V. 109. P. 53—64. <https://doi.org/10.1017/qua.2022.13>
- Mayewski P. A., Rohling E. E., Stager J. C. et al. (2004). Holocene climate variability. *Quat. Res.* V. 62. P. 243—255. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2004.07.001>
- Moy C. M., Seltzer G. O., Rodbell D. T. et al. (2002). Variability of El Niño/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch. *Nature.* V. 420 (6912). P. 162—165. <https://doi.org/10.1038/nature01194>
- Park J., Park J., Yi S. et al. (2019). Abrupt Holocene climate shifts in coastal East Asia, including the 8.2 ka, 4.2 ka, and 2.8 ka BP events, and societal responses on the Korean Peninsula. *Sci. Rep.* V. 9. P. 10806. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47264-8>
- Park J., Park J., Yi S. et al. (2021). Holocene hydroclimate reconstruction based on pollen, XRF, and grain-size analysis and its implications for past societies of the Korean Peninsula. *The Holocene.* V. 31. № 9. P. 1489—1500. <https://doi.org/10.1177/09596836211019115>
- Razjigaeva N. G., Grebennikova T. A., Ganzey L. A. et al. (2020). Recurrence of extreme floods in south Sakhalin Island as evidence of paleo-typhoon variability in North-Western Pacific since 6.6 ka BP. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* V. 556. № 3. P. 109901. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.109901>
- Razjigaeva N., Ganzey L., Grebennikova T. et al. (2023). “Cold-Dry” and “Cold-Wet” Events in the Late Holocene, Southern Russian Far East. *Climate.* V. 11. P. 91. <https://doi.org/10.3390/cli11040091>
- Reimer P., Austin W. E. N., Bard E. et al. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0—55 kcal BP). *Radiocarbon.* V. 62. Iss. 4: IntCal20: Calibration Iss. P. 725—757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Rein B., Sirocko F., Lückge A. et al. (2005). El Niño variability off Peru during the last 20,000 years. *Paleoceanography and Paleoclimatology.* V. 20. Iss. 4. P. 78—185. <http://doi.org/10.1029/2004PA001099>
- Sakaguchi Y. (1983). Warm and cold stages in the past 7600 years in Japan and their global correlation. *Bulletin of the Department of geography, University of Tokyo.* V. 15. P. 1—31.
- Stebich M., Rehfeld K., Schlütz F. et al. (2015). Holocene vegetation and climate dynamic of NE China based on the pollen record from Sihailongwan Maar Lake. *Quat. Sci. Rev.* V. 124. P. 275—289. <http://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2015.07.021>
- Stott L., Cannariato K., Thunell R. et al. (2004). Decline of surface temperature and salinity in the western tropical Pacific Ocean in the Holocene epoch. *Nature.* V. 431(7004). P. 56—59. <http://doi.org/10.1038/nature02903>
- Sun Y., Oppo D. W., Xiang R. et al. (2005). Last deglaciation in the Okinawa Trough: Subtropical northwest Pacific link to Northern Hemisphere and tropical climate. *Paleoceanography and Paleoclimatology.* V. 20. № 4. P. PA4005. <http://doi.org/10.1029/2004PA001061>
- Suzuki Y., Tada R., Nagashima K. et al. (2021). Extreme flood events and their frequency variations during the middle to late-Holocene recorded in the sediment of Lake Suiget-su, central Japan. *The Holocene.* V. 31(78). P. 121—133. <http://doi.org/10.1177/0959683620961497>
- Walker M., Head M. J., Lowe J. et al. (2019). Subdividing the Holocene Series/Epoch: formalization of stages/ages and subseries/subepochs, and designation of GSSPs and auxiliary stratotypes. *J. of Quat. Sci.* V. 34. Iss. 3. P. 173—186. <https://doi.org/10.1002/jqs.3097>
- Wanner H., Solomina O., Grosjean M. et al. (2011). Structure and origin of Holocene cold events. *Quat. Sci. Rev.* V. 30. Iss. 21. P. 3109—3123. <https://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2011.07.010>
- Woodruff J. D., Donnelly J. P., Okusu A. (2009). Exploring typhoon variability over the mid-to-late Holocene: evidence of extreme coastal flooding from Kamikoshiki, Japan. *Quat. Sci. Rev.* V. 28. Iss. 17. P. 1774—1785. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.02.005>
- Yamamoto M., Wang F., Irino T. et al. (2021). A lacustrine biomarker record from Rebun Island reveals a warm summer climate in northern Japan during the early middle Holocene due to a stronger North Pacific High. *Front. Earth Sci.* V. 9. P. 704332. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.704332>

Zhang Z., Leduc G., Sachs J. P. (2014). El Niño evolution during the Holocene revealed by a biomarker rain gauge in the Galápagos Islands. *Earth Planet. Sci. Lett.* V. 404. P. 420–434. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.07.013>

Zhou X., Liu Z., Yan Q. et al. (2019). Enhanced tropical cyclones intensity in the Western North Pacific during warm period over the last two Millennia. *Geophys. Res. Lett.* V. 46. P. 11959–11966. <https://doi.org/10.1029/2019GL083504>

RECCURENCE OF STRONG FLOODS ON WESTERN SAKHALIN AND INTENSITY OF CYCLOGENESIS IN MIDDLE-LATE HOLOCENE¹

N. G. Razjigaeva^{a#}, L. A. Ganzey^a, T. A. Grebennikova^a, V. I. Ponomarev^b, V. V. Afanasiev^b, A. O. Gorbunov^b, and M. A. Klimin^c

^a Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

^b Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

^c Institute of Water and Ecological Problems FEB RAS, Khabarovsk, Russia

[#] E-mail: nadyar@tigdvo.ru

The geological record of extreme floods associated with the passage of strongest typhoons and deep extratropical cyclones over the past 6370 years has been restored in Western Sakhalin (the Yablochnaya River basin). A section of peat bog with numerous layers of loam formed during extreme floods was used for the reconstructions. A recent analogue of such events is Typhoon Phyllis (1981), total rainfall reached 300 mm. Ash content was tested for identification of mineral component that was input to the peat during floods. According to the “age-depth” model, we has determined the ages of 38 extreme floods and periods of weaker floods when organomineral sediments accumulated. During periods of active cyclogenesis, the frequency of extreme floods was once every 10–30 years. The paleoclimatic background of events has been analyzed. Long periods with extreme floods were identified 6470–5490, 4300–3670 years ago, and the last 3110 years ago severe floods were rare events. We compare the records of strong floods that occurred on the western and eastern coast of South Sakhalin and in other regions of East Asia. It has been established that periods with frequent strong paleotyphoons and deep extratropical cyclones do not always coincide in time, which could be due to different trajectories of cyclones under different climatic situations. As in the modern period, the increase in the intensity of cyclogenesis and the frequency of typhoons in the Middle-Late Holocene was closely related to warm pool in the western tropical zone of the Pacific Ocean, anomalies of El Niño and atmospheric centers of action.

Keywords: valley peatbog, paleotyphoons, extratropical cyclones, chronology, El-Niño, Atmospheric Centers of Action, Far East

ACKNOWLEDGMENTS

We are grateful to our colleagues who took part in field work. This research was funded by the Russian Science Foundation, grant № 22-27-00222 (<https://rscf.ru/project/22-27-00222>). When preparing and viewing samples, the infrastructure of Pacific Geographical Institute FEB RAS, State Task № 122020900184-5, and Institute of Water and Ecological Problems FEB RAS, State Task № 121021500060-4 were used. Data processing was supported by the Ilyichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, budget theme № 122110700009-1. Field work was carried out by scientists from TGI

FEB RAS and IMGG FEB RAS (budget theme № 121021500062-8).

REFERENCES

- Aizen E. M., Aizen V. B., Melack J. M. et al. (2001). Precipitation and atmospheric circulation patterns at mid-latitudes of Asia. *Int. J. of Climatology*. V. 21. Iss. 5. P. 535–556. <https://doi.org/10.1002/joc.626>
- Astakhov A. S., Aksentov K. I., Dar'in A. V. et al. (2019). Reconstructing the frequency of catastrophic floods on the western coast of the Sea of Japan based on sedimentary proxy. *Meteorol. Gidrol.* № 1. P. 62–70. <https://doi.org/10.3103/S1068373919010072>

¹ For citation: Razjigaeva N. G., Ganzey L. A., Grebennikova T. A. et al. (2024). Recurrence of strong floods on Western Sakhalin and intensity of cyclogenesis in Middle-Late Holocene. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. V. 55. № 2. P. XX–XX. (in Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2949178924020091>; <https://elibrary.ru/PNBIGI>

- Barron J. A., Anderson L. (2011). Enhanced Late Holocene ENSO/ PDO expression along the margins of the eastern North Pacific. *Quat. Int.* V. 235. Iss. 1–2. P. 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.02.026>
- Bazarova V. B., Klimin M. A., Kopoteva T. A. (2018). Holocene dynamic of Eastern-Asia Monsoon in Lower Amur Area. *Geography and Natural Resources.* V. 39. № 3. P. 239–247. <https://doi.org/10.1134/S1875372818030071>
- Blaauw M., Christen J. A. (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis.* V. 6. № 3. P. 457–474. <https://doi.org/10.1214/ba/1339616472>
- Borisova O. K. (2014). Landscape-climatic changes at Holocene. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya.* № 2. P. 5–20. (in Russ.). <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2014-2-5-20>
- Byshev V. I., Neiman V. G., Ponomarev V. I. et al. (2014). The influence of global atmospheric oscillation on formation of climate anomalies in the Russian Far East. *Dokl. Earth Sci.* V. 458. № 1. P. 1116–1120. <https://doi.org/10.1134/S1028334X14090025>
- Chen F., Xu Q., Chen J. et al. (2015). East Asian summer monsoon precipitation variability since the last deglaciation. *Scientific Report.* V. 5. P. 11186. <https://doi.org/10.1038/srep11186>
- Chen H.-F., Wen S.-Y., Song S.-R. et al. (2012). Strengthening of paleo-typhoon and autumn rainfall in Taiwan corresponding to the Southern Oscillation at late Holocene. *J. of Quat. Sci.* V. 27. Iss. 9. P. 964–972. <https://doi.org/10.1002/jqs.2590>
- Gensiorovsky Yu. V., Kazakov N. A. (2015). Conditions for the formation of extreme floods in low-mountain river basins (on the example of Sakhalin Island). In: *Geodinamicheskie protsessy i prirodnye katastrofy. Opyt Neftegorskaya: Vserossiiskaya nauchnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiyem, Yuzhno-Sakhalinsk, 26–30 maya 2015 g.: sbornik materialov.* Iss. 2. Vladivostok: Dal'nauka (Publ.). P. 302–305. (in Russ.)
- Glebova S. Yu. (2018). Cyclones over the Pacific Ocean and Far-Eastern Seas in cold and warm seasons and their influence on wind and thermal regime in the last two decade period. *Izvestiya TINRO.* Iss. 193. P. 153–166. (in Russ.). <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2018-193-153-166>
- Glebova S. Yu. (2021). Siberian High as an important factor for development of cyclonic activity in the Far Eastern region in winter, spring and summer seasons. *Izvestiya TINRO.* Iss. 201. V. 4. P. 879–894. (in Russ.). <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2021-201-879-894>
- Ho C. H., Baik J. J., Kim J. H. et al. (2004). Interdecadal changes in summer-time typhoon tracks. *J. Clim.* V. 17. Iss. 9. P. 1767–1776. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<1767: ICISTT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<1767: ICISTT>2.0.CO;2)
- Ishii Y., Hori K., Momohara A. (2017). Middle to late-Holocene flood activity estimated from loss on ignition of peat in the Ishikari lowland, northern Japan. *Global and Planetary Change.* V. 153. P. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.04.004>
- Katsuki K., Yang D. Y., Seto K. et al. (2016). Factors controlling typhoons and storm rain on the Korean Peninsula during the Little Ice Age. *J. Paleolimnol.* V. 55. P. 35–48. <https://doi.org/10.1007/s10933-015-9861-3>
- Kawahata H., Ohshima H., Shimada C. et al. (2003). Terrestrial-oceanic environmental change in the southern Okhotsk Sea during the Holocene. *Quat. Int.* V. 108. Iss. 1. P. 67–76.
- Kazakov N. A., Gensiorovsky Yu. V. (2007). The influence of the vertical gradient of precipitation on the characteristics of hydrological, avalanche and mudflow processes in the low mountains. *Geokologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya.* № 4. P. 342–347. (in Russ.)
- Korotky A. M., Grebennikova T. A., Pushkar V. S. et al. (1997b). Climatic changes of the territory of South Far East at Late Pleistocene-Holocene. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk.* № 3. P. 121–143. (in Russ.)
- Korotky A. M., Pushkar V. S., Grebennikova T. A. et al. (1997a). Morskie terrasy i chetvertichnaya istoriya shel'fa Sakhalina (Marine terraces and Quaternary history of Sakhalin shelf). Vladivostok: Dal'nauka (Publ.). 194 p. (in Russ.)
- Leipe C., Müller S., Hille K. et al. (2018). Vegetation change and human impacts on Rebut Island (Northwest Pacific) over the last 6000 years. *Quat. Sci. Rev.* V. 193. P. 129–144. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.06.011>
- Leipe C., Nakagawa T., Gotanda K. et al. (2015). Late Quaternary vegetation and climate dynamics at the northern limit of the East Asian summer monsoon and its regional and global-scale controls. *Quat. Sci. Rev.* V. 116. P. 57–17. <https://doi.org/10.1016/J.QUASCI-REV.2015.03.012>
- Lim J., Lee J.-Y., Hong S. S. et al. (2017). Holocene change in flooding frequency in South Korea and their linkage to centennial-to-millennial-scale El Niño-Southern Oscillation activity. *Quat. Res.* V. 87. P. 37–48. <https://doi.org/10.1017/qua.2016.8>
- Lim J., Um I.-K., Yi S., et al. (2022). Hydroclimate change and its controlling factors during the middle to late Holocene and possible 3.7-ka climatic shift over East Asia. *Quat. Res.* V. 109. P. 53–64. <https://doi.org/10.1017/qua.2022.13>
- Makarova T. A., Grebennikova T. A. (2015). Reconstructing the natural conditions of the islands of the Lesser Kuril Ridge from the composition of diatom flora of the Late Pleistocene–Holocene peat deposits. *Geogr. Nat. Resour.* Iss. 36. № 2. P. 169–178. <https://doi.org/10.1134/S1875372815020092>
- Mayewski P. A., Rohling E. E., Stager J. C. et al. (2004). Holocene climate variability. *Quat. Res.* V. 62. P. 243–255. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2004.07.001>
- Mezentseva M. I., Grishina M. A., Kondrat'ev I. I. (2019). Trajectories and depth of cyclones entering the territory of Primorsky Krai. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk.* № 4. P. 29–38. (in Russ.). <http://dx.doi.org/10.25808/08697698.2019.206.4.003>

- Mikishin Yu.A., Gvozdeva I. G. (2017). Early Subboreal of Sakhalin. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN*. № 4. P. 25—38. (in Russ.).
- Mikishin Yu.A., Gvozdeva I. G. (2018). Traces of cooling in the Southern Sakhalin in the late-Glacial and Atlantic Period of Holocene. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. № 3. P. 107—116. (in Russ.)
- Mikishin Yu.A., Pushkar V. S., Gvozdeva I. G. (2020). Paleogeography of Southern Sakhalin coast in Subboreal Period of the Holocene. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. № 10. P. 97—107. (in Russ.).
- Moy C. M., Seltzer G. O., Rodbell D. T. et al. (2002). Variability of El Niño/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch. *Nature*. V. 420 (6912). P. 162—165. <https://doi.org/10.1038/nature01194>
- Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu. Vyp. 34 (Scientific and applied climate reference book. Iss. 34.). (1990). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.). 351 p. (in Russ.)
- Park J., Park J., Yi S. et al. (2019). Abrupt Holocene climate shifts in coastal East Asia, including the 8.2 ka, 4.2 ka, and 2.8 ka BP events, and societal responses on the Korean Peninsula. *Sci. Rep.* V. 9. P. 10806. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47264-8>
- Park J., Park J., Yi S. et al. (2021). Holocene hydroclimate reconstruction based on pollen, XRF, and grain-size analysis and its implications for past societies of the Korean Peninsula. *The Holocene*. V. 31. № 9. P. 1489—1500. <https://doi.org/10.1177/09596836211019115>
- Ponomarev V. I., Dmitrieva E. V., Shkorba S. P. (2015). Features of climatic regimes in the northern part of the Asia-Pacific region. *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy*. № 1(21). P. 67—72. (in Russ.)
- Ponomarev V. I., Dmitrieva E. V., Shkorba S. P. et al. (2018). Change of the global climate regime at the turn of the XX—XXI centuries. *Vestnik moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N. E. Baumana*. Iss. 21. № 1. P. 160—167. (in Russ.).
- Prushkovskaya I. A. (2019). The impact of typhoons on the content of diatoms in sediments from Amur Bay (Sea of Japan) over the last 150 years. *Vestnik Kamchatskoi regional'noi assotsiatsii "Uchebno-nauchnyy tsentr". Seriya: Nauki o Zemle*. V. 42. № 2. P. 111—119. (in Russ.). <http://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-2-42-111-119>
- Razhigaeva N., Ganzey L., Grebennikova T. et al. (2023). “Cold-Dry” and “Cold-Wet” Events in the Late Holocene, Southern Russian Far East. *Climate*. V. 11. P. 91. <https://doi.org/10.3390/cli11040091>
- Razhigaeva N. G., Grebennikova T. A., Ganzey L. A. et al. (2020). Recurrence of extreme floods in south Sakhalin Island as evidence of paleo-typhoon variability in North-Western Pacific since 6.6 ka BP. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* V. 556. № 3. P. 109901. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.109901>
- Razhigaeva N. G., Ganzey L. A., Grebennikova T. A. et al. (2019). Paleoflood records within Sikhote-Alin foothills during last 2.2 ka. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. № 2. P. 85—99. (in Russ.). <http://doi.org/10.31857/S2587-55662019285-99>
- Razhigaeva N. G., Grebennikova T. A., Ganzey L. A. et al. (2022). Response of the Lake Ecosystem of the Lesser Kuril Ridge to Paleoclimatic and Seismic Events. *Izv. Atmos. Oceanic Phys.* V. 58. № 11. P. 1377—1397. <http://doi.org/10.1134/S0001433822110068>
- Reimer P., Austin W. E. N., Bard E. et al. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0—55 kcal BP). *Radiocarbon*. V. 62. Iss. 4: IntCal20: Calibration Iss. P. 725—757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Rein B., Sirocko F., Lückge A. et al. (2005). El Niño variability off Peru during the last 20,000 years. *Paleoceanography and Paleoclimatology*. V. 20. Iss. 4. P. 78—185. <http://doi.org/10.1029/2004PA001099>
- Sakaguchi Y. (1983). Warm and cold stages in the past 7600 years in Japan and their global correlation. *Bulletin of the Department of geography, University of Tokyo*. V. 15. P. 1—31.
- Stebich M., Rehfeld K., Schlütz F. et al. (2015). Holocene vegetation and climate dynamic of NE China based on the pollen record from Sihailongwan Maar Lake. *Quat. Sci. Rev.* V. 124. P. 275—289. <http://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2015.07.021>
- Stott L., Cannariato K., Thunell R. et al. (2004). Decline of surface temperature and salinity in the western tropical Pacific Ocean in the Holocene epoch. *Nature*. V. 431(7004). P. 56—59. <http://doi.org/10.1038/nature02903>
- Sun Y., Oppo D. W., Xiang R. et al. (2005). Last deglaciation in the Okinawa Trough: Subtropical northwest Pacific link to Northern Hemisphere and tropical climate. *Paleoceanography and Paleoclimatology*. V. 20. № 4. P. PA4005. <http://doi.org/10.1029/2004PA001061>
- Suzuki Y., Tada R., Nagashima K. et al. (2021). Extreme flood events and their frequency variations during the middle to late-Holocene recorded in the sediment of Lake Suigetsu, central Japan. *The Holocene*. V. 31(78). P. 121—133. <http://doi.org/10.1177/0959683620961497>
- Tunegolovets V. P. (2010). A comprehensive method for predicting the movement and intensity of typhoons. *Trudy DVNIGMI*. № 1. P. 189—202. (in Russ.).
- Walker M., Head M. J., Lowe J. et al. (2019). Subdividing the Holocene Series/Epoch: formalization of stages/ages and subseries/subepochs, and designation of GSSPs and auxiliary stratotypes. *J. of Quat. Sci.* V. 34. Iss. 3. P. 173—186. <https://doi.org/10.1002/jqs.3097>
- Wanner H., Solomina O., Grosjean M. et al. (2011). Structure and origin of Holocene cold events. *Quat. Sci. Rev.* V. 30. Iss. 21. P. 3109—3123. <https://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2011.07.010>
- Woodruff J. D., Donnelly J. P., Okusu A. (2009). Exploring typhoon variability over the mid-to-late Holocene: evidence of extreme coastal flooding from Kamikoshiki, Japan. *Quat. Sci. Rev.* V. 28. Iss. 17. P. 1774—1785. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.02.005>
- Yamamoto M., Wang F., Irino T. et al. (2021). A lacustrine biomarker record from Rebuto Island reveals a warm summer climate in northern Japan during the early middle Holocene due to a stronger North Pacific High. *Front. Earth Sci.* V. 9. P. 704332. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.704332>

- Zhang Z., Leduc G., Sachs J. P. (2014). El Niño evolution during the Holocene revealed by a biomarker rain gauge in the Galápagos Islands. *Earth Planet. Sci. Lett.* V. 404. P. 420–434. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.07.013>
- Zhou X., Liu Z., Yan Q. et al. (2019). Enhanced tropical cyclones intensity in the Western North Pacific during warm period over the last two Millennia. *Geophys. Res. Lett.* V. 46. P. 11959–11966. <https://doi.org/10.1029/2019GL083504>
- Zuenko Yu.I. (2007). Promyslovaya okeanologiya Yaponskogo morya (Fisheries Oceanography of the Japan Sea). Vladivostok: TINRO-centre (Publ.). 227 p. (in Russ.)