

## Реконструкция палеотайфунов и повторяемости экстремальных паводков на юге острова Сахалин в среднем–позднем голоцене

© 2020 Н. Г. Разжигаева\*<sup>1</sup>, Т. А. Гребенникова<sup>1</sup>, Л. А. Ганзей<sup>1</sup>,  
А. О. Горбунов<sup>2</sup>, В. И. Пономарев<sup>3</sup>, М. А. Климин<sup>4</sup>,  
Х. А. Арсланов<sup>5</sup>, Ф. Е. Максимов<sup>5</sup>, А. Ю. Петров<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>2</sup>Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

<sup>3</sup>Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>4</sup>Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, Россия

<sup>5</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: [nadyar@tigdvo.ru](mailto:nadyar@tigdvo.ru)

**Реферат.** Впервые для о. Сахалин восстановлена геологическая летопись экстремальных паводков, связанных с прохождением наиболее сильных тайфунов за последние 6620 кал. лет. В качестве природного архива для реконструкций выбран разрез голоценовых отложений около г. Долинск (водораздел в северной части Сусунайской низменности), включающий торфяник с многочисленными слоями суглинков, образованными при затоплении болотного массива во время крупных наводнений. Приведены результаты изучения эколого-таксономического состава диатомовой флоры с целью восстановления эволюции обстановок осадконакопления, анализа динамики увлажненности и водности водотоков. Торфяник образовался на месте лагуны, существовавшей в максимальную фазу трансгрессии в среднем голоцене. Органогенное осадконакопление началось 6010 кал. л.н. в распресненной лагуне. При снижении уровня моря ~5710–5040 кал. л.н. лагуна превратилась в береговое озеро. Предложены биоиндикаторы для выявления следов палеонаводнений. Одним из критериев выделения периодов частых паводков является анализ величины зольности торфа. Определен возраст 25 экстремальных наводнений и проанализирован палеоклиматический фон событий. В качестве современного аналога палеособытий рассматривается катастрофическое наводнение, вызванное тайфуном Филлис (1981). Установлено, что повторяемость экстремально сильных тайфунов возрастала как в теплые влажные и сухие, так и в холодные сухие фазы палеоклиматических колебаний. Выделены три периода их активизации (4640–4360; 4030–3580; 1860–1380 кал. л.н.), когда супертайфуны выходили на остров 1 раз в 30–90 лет. Выполнено сравнение проявления экстремальных тайфунов на юге Сахалина и в регионе Японского моря. Предполагается, что на палеомасштабе значительно изменялись траектории экстремальных супертайфунов, как и в современный период инструментальных гидрометеорологических измерений.

**Ключевые слова:** палеотайфуны, экстремальные паводки, геологические критерии, диатомовые водоросли, хронология, повторяемость, средний–поздний голоцен, остров Сахалин.

**Для цитирования:** Разжигаева Н.Г., Гребенникова Т.А., Ганзей Л.А., Горбунов А.О., Пономарев В.И., Климин М.А., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю. Реконструкция палеотайфунов и повторяемости экстремальных паводков на юге острова Сахалин в среднем–позднем голоцене. *Геосистемы переходных зон*. 2020. Т. 4, № 1. С. 046–070. <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2020.4.1.046-070>

## Reconstruction of paleotyphoons and recurrence of extreme floods in south Sakhalin Island in Middle–Late Holocene

Nadezhda G. Razjigaeva\*<sup>1</sup>, Tatiana A. Grebennikova<sup>1</sup>, Larisa A. Ganzey<sup>1</sup>, Alexey O. Gorbunov<sup>2</sup>, Vladimir I. Ponomarev<sup>3</sup>, Mikhail A. Klimin<sup>4</sup>, Khikmatulla A. Arslanov<sup>5</sup>, Fedor E. Maksimov<sup>5</sup>, Alexey Yu. Petrov<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

<sup>2</sup>Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

<sup>3</sup>V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

<sup>4</sup>Institute of Water and Ecological Problems, FEB RAS, Khabarovsk, Russia

<sup>5</sup>St.-Petersburg State University, St.-Petersburg, Russia

\*E-mail: nadyar@tigdvo.ru

**Abstract.** The geological record of extreme floods associated with the passage of the strongest typhoons in the last 6620 cal. yr. was first restored for the Sakhalin Island. The cross-section of the Holocene deposits near Dolinsk Town (the watershed in the northern part of the Susunai lowland) was chosen as a natural archive for paleotyphoon activity. The cross-section includes the peat bog with numerous loam layers which formed during the flooding of the swamp during extreme floods. The results of the ecological and taxonomic composition of diatom flora study have been presented with the aim of restoring the evolution of sedimentation environments, as well the analysis of the moisture dynamics and river activity. Peat bog has been formed on the place of the lagoon existed in the maximum phase of transgression in the Middle Holocene. Peat accumulation has begun 6010 cal. yr. BP in brackish-water lagoon. The lagoon had turned into the coastal lake when sea level dropped ~5710–5040 cal. yr. BP. Some bioindicators were revealed for identification of severe floods. One of the criteria for identifying the periods of frequent floods is the analysis of the ash content of peat. The age of 25 extreme floods was determined and the paleoclimatic background of events was analyzed. The catastrophic flood caused by Phyllis typhoon (1981) has been considered as an analogue of paleo-events. It is established that the repeatability of extreme typhoons increased in both warm wet and dry and cold dry phases, three periods of their activation were identified (4640–4360; 4030–3580; 1860–1380 cal. yr. BP), when super typhoons entered the island once in 30–90 years. The manifestations of extreme typhoons in south Sakhalin and in the Sea of Japan region have been compared. The super typhoon tracks seemed to be changed in a radical manner during paleo times as well in the period of the instrumental meteorological observations.

**Keywords:** extreme floods, paleotyphoons, geological criteria, diatoms, chronology, recurrence, middle-late Holocene, Sakhalin Island.

**For citation:** Razjigaeva N.G., Grebennikova T.A., Ganzey L.A., Gorbunov A.O., Ponomarev V.I., Klimin M.A., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Petrov A.Yu. Reconstruction of paleotyphoons and recurrence of extreme floods in south Sakhalin Island in Middle–Late Holocene. *Geosystems of Transition Zones*, 2020, vol. 4, no. 1, p. 046–070. (In Russian). <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2020.4.1.046-070>

### Введение

Одной из особенностей погоды и климата Дальнего Востока являются перемещающиеся с юга тропические циклоны (ТЦ), зарождающиеся в западной тропической части Тихого океана, Филиппинском море – наиболее мощном по сравнению с другими регионами мира очаге образования ТЦ [Ситников и др., 2001; Henderson-Sellers et al., 1998]. В Тихом океане ТЦ называются тайфунами, в Атлантическом – ураганами. Тайфуны, выходящие

на Дальний Восток, как правило, образуются к северо-востоку и востоку от Филиппинских островов, в районе Каролинских и Марианских островов, с июля по сентябрь и перемещаются по параболическим траекториям, изменяющимся в зависимости от метеорологических ситуаций и аномалий циркуляции атмосферы от месяца к месяцу, от года к году и на больших временных масштабах [Ситников и др., 2001]. Тайфуны, вышедшие на Японское море, далее обычно пере-

мещаются на Сахалин и Курильские острова. С 1957 до 1997 г. наблюдался выход в умеренные широты 547 тропических циклонов [Тунеголовец, 1998]. На российский Дальний Восток может выходить до 5 тайфунов в год [Ситников и др., 2001].

Значительные аномалии тропического и внетропического циклогенеза [Woodruff et al., 2009; Katsuki et al., 2016; Zhan et al., 2017], как и муссонной системы Северо-Восточной Азии [Бышев и др., 2014], наблюдаются в период различных типов Эль-Ниньо. В годы с Эль-Ниньо очаг образования тропических циклонов смещается на юго-восток, тайфуны имеют большую продолжительность и интенсивность, а также прослеживается тенденция поворота траектории тайфунов на северо-восток, что делает более вероятным их выход на Корею, Японию [Elsner, Liu, 2003]. При наступлении Эль-Ниньо отмечен более активный внетропический циклогенез на Дальнем Востоке [Тунеголовец, 2009].

Обильные осадки, которые приносят ТЦ, являются причиной речных паводков. На Дальнем Востоке в такие ливни может выпадать до 280 мм/сут. На Сахалине дожди тайфунного происхождения в основном охватывают южную часть острова, но при ураганных ветрах могут наблюдаться на всей территории [Ситников и др., 2001]. Особенно опасны такие метеорологические ситуации, когда накладываются или близки по времени прохождения тайфуны и другие атмосферные вихри, вызывающие сильные осадки, переувлажнение водосборов и высокий уровень в реках [Гарцман и др., 2014]. Такая картина наблюдалась на Сахалине во время наиболее разрушительного тайфуна Филлис (2–8.08.1981), пришедшего на остров 6.08.1981 практически одновременно с циклоном, что привело к образованию единой циклонической системы и обильному выпадению осадков. С этим тайфуном связано самое мощное за последние десятилетия наводнение на Сахалине. Одним из факторов возникновения экстремальных паводков является и наложение интенсивных дождей на снеготаяние [Генсиоровский, Казаков, 2015].

Помимо огромного материального ущерба и возможной угрозы для жизни людей, паводки оказывают сильное экологическое воздействие на геосистемы. Могут изменяться некоторые параметры природной среды (рН, минерализация), происходит эрозия, образуются покровы наилок, что меняет гидрологическую ситуацию, иногда вызывает смену растительных сообществ и нарушает естественный ход развития ландшафтов.

Возможность долгосрочного прогнозирования наводнения позволяет принять соответствующие меры предосторожности. В настоящее время синоптический прогноз перемещения ТЦ и их интенсивности хорошо разработан [Тунеголовец, 2010; Похил, 2011]. Поскольку инструментальные записи на юге Дальнего Востока начались только со второй половины XX в., изменчивость циклогенеза можно проследить лишь в пределах нескольких десятилетий [Лобанов и др., 2014]. Записи о сильных тайфунах исторического времени есть только в китайских и японских летописях [Liu et al., 2001; Woodruff et al., 2009]. Для долгосрочного прогноза и анализа тенденций изменения климатического режима Дальневосточного региона при разнонаправленных климатических трендах важно знать, как менялась ситуация с повторяемостью ТЦ, вызывавших экстремальные паводки, в масштабе нескольких тысячелетий. Мало известно, какие сдвиги в климате влияли на повторяемость и интенсивность ТЦ в голоцене [Woodruff et al., 2009]. При отсутствии длительных рядов наблюдений и летописных свидетельств ответ на вопрос, какие климатические ограничения существовали в активизации тайфунов в тысячелетние сроки, может дать использование палеогеографических данных.

Природные архивы со следами прохождения ТЦ включают аномалии в  $\sigma^{18}\text{O}$  в пещерных натечных образованиях и кольцах деревьев, штормовые валы и уступы размыва на морских берегах, отложения в речных долинах и озерах [Liu, Fearn, 2000; Woodruff et al., 2009; Katsuki et al., 2016]. Данные о проявлении палеотайфунов в северо-западной части Тихого океана ограничены. В последние годы для юга Дальнего Востока появились работы

по шельфовым отложениям, касающиеся разработки геохимических критериев выделения катастрофических тайфунов за последние 1800 кал. л. [Астахов и др., 2019]. Для оценки влияния тайфунов, вызывавших усиление речного стока, на морские экосистемы предложено использовать диатомовые водоросли [Прушковская, 2019; Tsoy et al., 2015]. Реконструкция усиления паводковой активности в позднем голоцене на основе разной зольности торфа и ряда биоиндикаторов сделана для р. Бикин, принадлежащей бассейну Амура [Разжигаева и др., 2019]. На Японских островах варибельность палеотайфунов в голоцене восстановлена по геохимическим признакам и изменению структурных характеристик озерных отложений [Woodruff et al., 2009]. Есть данные по частоте сильных наводнений в голоцене для Корейского п-ова [Katsuki et al., 2016; Lim et al., 2017] и Китая [Zhou et al., 2019].

Целью настоящей работы является восстановление геологической летописи происхождения палеотайфунов, вызывавших экс-

тремальные паводки, на южном Сахалине за последние 6.6 тыс. кал. л., выяснение хронологии событий и анализ их повторяемости, выявление периодов активизации палеотайфунов и сопоставление с палеоклиматическими данными по региону.

## Материал и методы

На Сахалине наводнения, вызванные ливнями тайфунного происхождения, в основном наблюдаются в южной части острова [Ситников и др., 2001]. В качестве объекта для поисков следов палеонаводнений выбран разрез средне-верхнеголоценовых отложений ( $47^{\circ}19.453'$  с.ш.,  $142^{\circ}46.237'$  в.д.) на Сусунайской низменности в пределах заболоченного междуречья рек Излучная и Суходол (притоки р. Большой Такой, бассейн р. Найба) в окрестностях г. Долинск (рис. 1). Разрез расположен в 10 км от берега моря (абс. выс. 4 м). Здесь был заложен шурф, нижняя часть разреза отобрана с помощью геослайсера. Общая мощность вскрытых отложений 2.31 м. Опробование в шурфе проведено, в зависимости

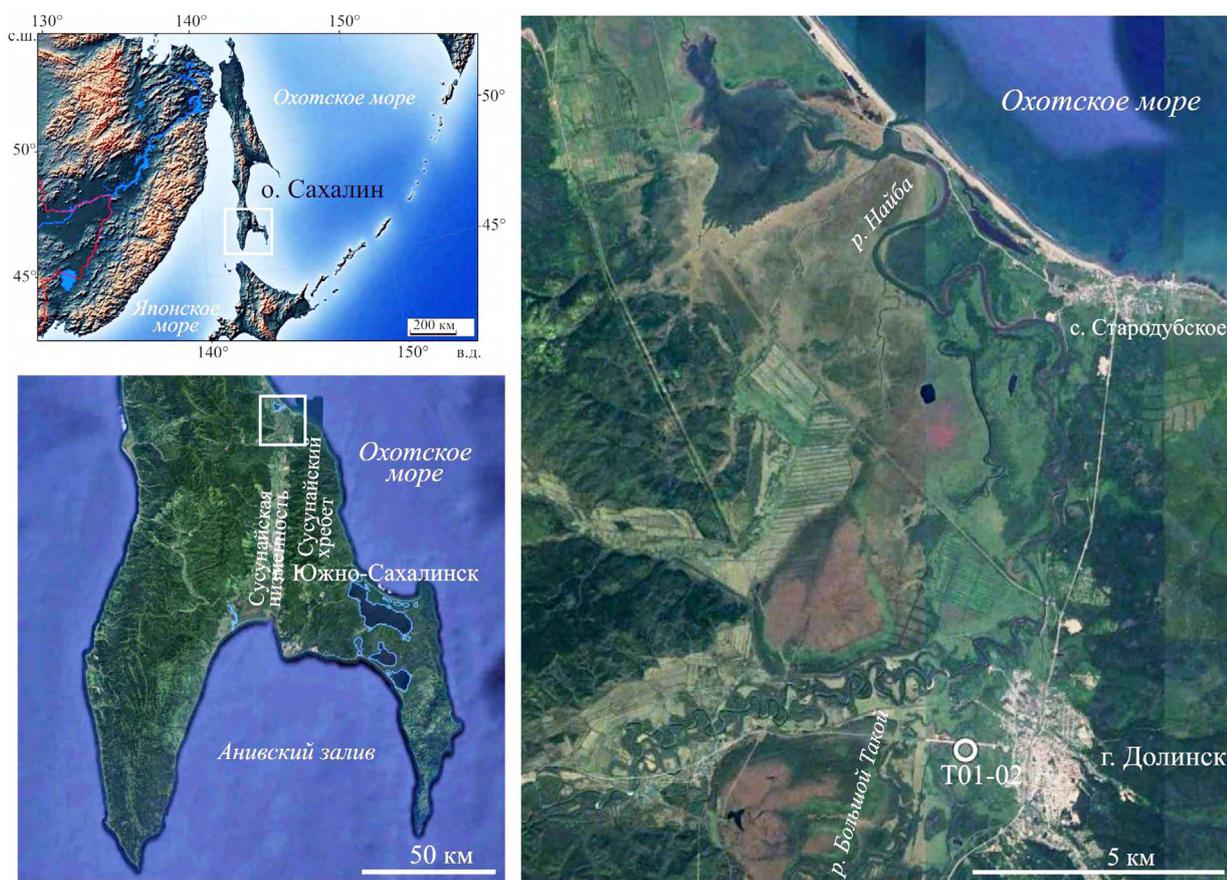


Рис. 1. Схема района работ.

Fig. 1. Study area.

от литологического состава, в верхней части разреза более детально, в нижней – с шагом 5 см. Определение зольности торфа и прослоев органоминеральных отложений и суглинков [Торф... , 1995] позволило выявить значительные колебания ее величины по разрезу.

Для идентификации происхождения прослоев суглинков и анализа изменения увлажнения проведен диатомовый анализ. В каждом образце торфа и суглинков сделан подсчет содержания створок диатомей в 1 г воздушно-сухого осадка. Это выбрано одним из основных критериев для реконструкции наводнений и оценки масштабов сноса материала. Обработка проб на диатомовый анализ проводилась по стандартной методике [Диатомовые водоросли... , 1974]. Диатомеи определяли в постоянных препаратах с помощью микроскопа Axioscop при увеличении  $\times 1000$  с использованием атласов-определителей [Диатомовый анализ, 1950; Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1991]. В насыщенных образцах подсчитывалось более 200 створок. При эколого-географической характеристике диатомей и выявлении роли отдельных видов использовались также сведения из работ [Давыдова, 1985; Барина и др., 2006; Харитонов, 2010]. На диаграмму вынесены основные таксоны, позволяющие определить изменения экологических условий во время образования торфа и прослоев суглинков.

Радиоуглеродное датирование выполнено в Институте наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета (см. таблицу). Калибровка радиоуглеродных дат сделана с помощью программы OxCal 4.3 с использованием калибровочной кривой «IntCal 13» [Bronk Ramsey, 2017]. При определении хронологии событий использован калиброванный возраст, определенный по модели по программе Bacon 2 и с про-

граммной оболочкой R [Vlaauw, Christen, 2011]. Для верхней части разреза сделан расчет возраста по скорости торфонакопления между датами ЛУ-8857 и ЛУ-8858, поскольку модель дает сильное омоложение.

## Результаты

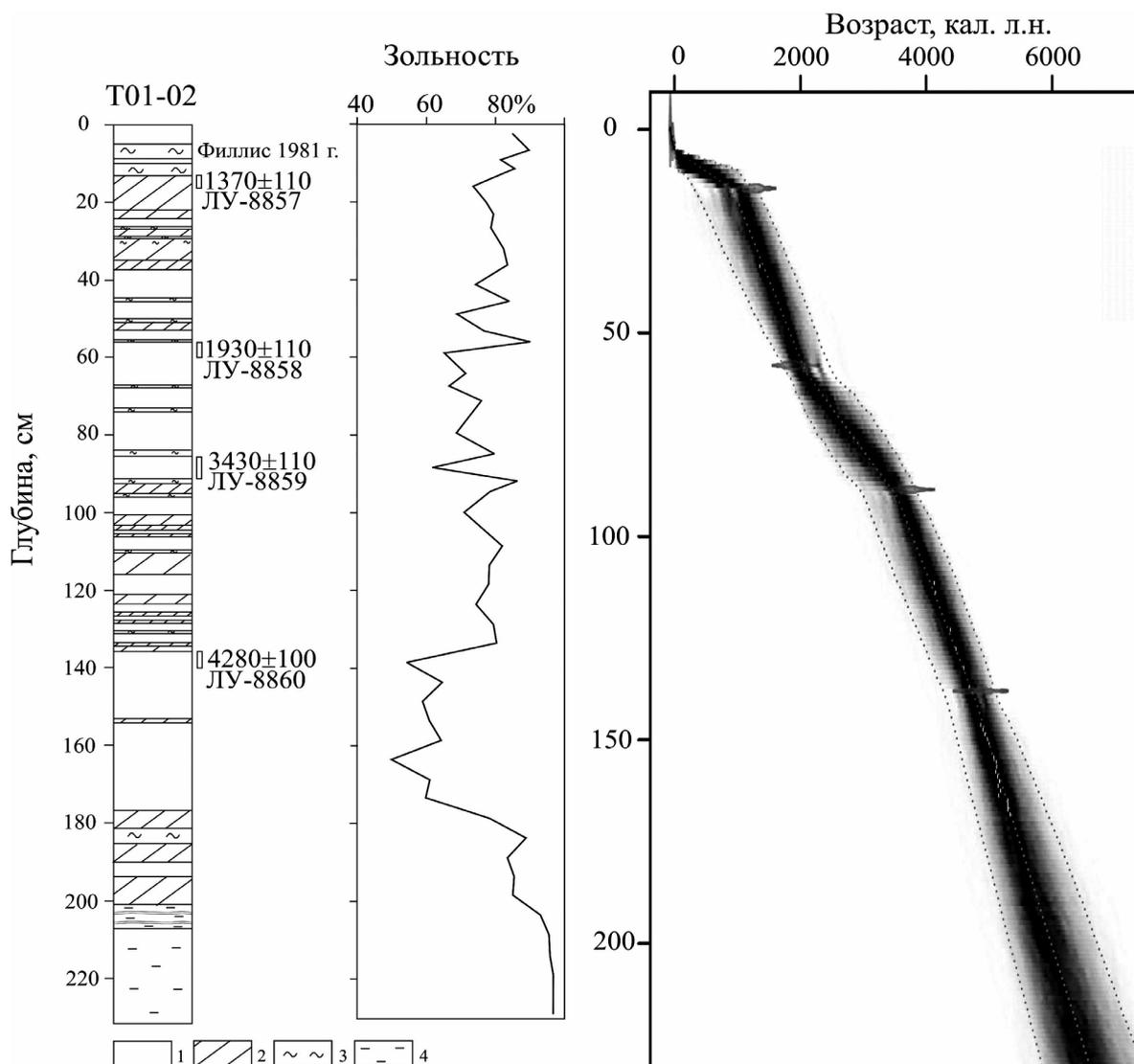
**Строение разреза, зольность торфа, хронология.** В основании разреза выходят среднеголоценовые голубовато-серые алевритовые илы в кровле, включающие тонкие слойки торфа (рис. 2). Большая часть разреза представлена травяным торфом с прослоями торфянистого алеврита и многочисленными слойками суглинков, которые рассматриваются как следы экстремальных наводнений, связанных с разливом рек при прохождении крупных палеотайфунов. Слойки имеют четкие границы, иногда волнистые, возможно эрозионные. Органогенное осадконакопление началось в распресненной лагуне около 6010 кал. л.н., на месте которой 5710 кал. л.н. образовалось озеро, а с  $\sim 5040$  кал. л.н. – низинное болото. Распределение  $^{14}\text{C}$ -дат по разрезу и моделирование (рис. 2) свидетельствуют о том, что скорости торфонакопления довольно существенно менялись от 0.4 мм/год на начальном этапе формирования торфяника (6010–3270 кал. л.н.) до 0.15 мм/год (3270–1940 кал. л.н.) и увеличились до 0.6 мм/год между 1940–1280 кал. л.н. с последующим снижением вследствие развития почвенных процессов.

Анализ зольности торфа показал значительные колебания величины минерализации по разрезу (рис. 2), отвечающей в первую очередь разной интенсивности и частоте паводков в среднем–позднем голоцене. Когда в водоем выносились речные взвеси или болото попадало в зону затопления, на поверхности образовывались прослойки сильно заиленного

### Результаты радиоуглеродного датирования торфа из разреза отложений на водоразделе рек Излучная и Суходол, южный Сахалин

#### Results of radiocarbon dating of peat from the section on watershed of Izluchnaya and Sukhodol rivers, South Sakhalin

Лабораторный номер	Номер образца	Интервал, см	Радиоуглеродный возраст, лет	Калиброванный возраст, кал. л.
ЛУ-8857	АВ 1	13–16	1370 $\pm$ 110	1280 $\pm$ 120
ЛУ-8858	АВ 2	56.3–60	1930 $\pm$ 90	1880 $\pm$ 110
ЛУ-8859	АВ 3	86–91	3430 $\pm$ 110	3700 $\pm$ 140
ЛУ-8860	АВ 4	136–140	4280 $\pm$ 100	4850 $\pm$ 170



**Рис. 2.** Строение разреза T01–T02 средне-верхнеголоценовых отложений на водоразделе рек Излучная и Суходол (южный Сахалин), зольность торфа и органоминеральных отложений и модель «глубина–возраст». 1 – торф, 2 – органоминеральные отложения, 3 – суглинок, 4 – алеврит.

**Fig. 2.** Construction of the T01–T02 section of the middle-upper Holocene deposits on watershed of the Izluchnaya and Sukhodol rivers (South Sakhalin), the ash contents of peat and organomineral deposits and “age–depth” model. 1 – peat, 2 – organomineral deposits, 3 – loam, 4 – silt.

торфа или чистых суглинков. Эти прослой фиксируют периоды усиления паводков или отдельные крупные события. Мощность таких прослоев меняется от 3 до 15 мм. В основании разреза есть слой до 40 мм. Мощный слой суглинка (до 35 мм) в кровле разреза, вероятно, был оставлен во время наводнения, вызванного тайфуном Филлис в 1981 г. Возможно, во время этого наводнения верхняя часть разреза была размывта.

Выделяются интервалы, в которых зольность очень высока не только в прослоях суглинков, но и во вмещающем торфе: инт. 176–201 см (78.24–89.02 %) 6010–5520 кал. л.н.,

92.5–136 см (70.67–81.95 %) 4680–3580 кал. л.н. Высокая зольность (до 85.5 %) отмечена и для верхней части разреза 0–37.5 см, которая формировалась последние 1580 кал. л.н. Наименее обогащен минеральной примесью (49.68–64.78 %) торф в инт. 136–177 см, накопление которого происходило 5520–4680 кал. л.н. в период снижения паводковой активности. Уменьшение величины зольности (61.22–68.46 %) отмечено во вмещающем торфе в инт. 46.5–91 см (3540–1700 кал. л.н.), есть пики снижения зольности в верхней части разреза в инт. 37.5–44.5 см (1700–1580 кал. л.н.), 13.5–18 см (1280–1180 кал. л.н.).

**Диатомовый анализ.** Судя по видовому составу диатомовой флоры из разреза, отложения накапливались в разных экологических условиях. Нижняя часть разреза (инт. 131–231 см) формировалась в условиях распресненной лагуны, верхняя (инт. 0–131 см) – в континентальных условиях. Это обусловило наличие в отложениях представителей диатомовых водорослей разных экологических групп: пресноводные, солоноватоводно-пресноводные, солоноватоводные, солоноватоводно-морские и морские. Особую группу диатомей представляют морские виды, многие из которых являются вымершими. На о. Сахалин широко распространены морские неогеновые отложения с обилием диатомей [Шешукова-Порецкая, 1967], которые размываются реками и часто встречаются в более молодых и современных осадках. Большая часть этих видов представлена в виде фрагментов, среди которых удалось определить вымершие *Actinocyclus ochotensis* var. *fossilis*, *Thalassiosira temperlei*, *Neodenticula kamtschatica*, *N. koizumii*, *Kisseleviella carina*, *Thalassiosira ambigua*, *T. marujamica*, *T. nidulus*, *T. gravida* var. *fossilis*, *Euryxidicula zabelinae*, *Stephanopyxis grunowii*, *S. horridus* и ныне существующие *Coscinodiscus asteromphalus*, *C. marginatus*, *Actinoptychus senarius*, *Thalassionema nitzschioides*, *Arachnoidiscus ehrenbergii*, *Paralia sulcata*, *Cocconeis costata*, *C. scutellum* и др. Подобный состав морских диатомей выделен в морских отложениях маруямской свиты среднемиоцен-плиоценового возраста, широко распространенных в долине р. Малый Такой в Долинском районе южного Сахалина [Пушкарь, Черепанова, 2001; Akiba et al., 2000]. Вымершие морские виды в разных сочетаниях присутствуют во всех пробах как лагунной, так и континентальной пачек. Анализ состава диатомей в отложениях позволил выделить 10 диатомовых комплексов, отвечающих отдельным стадиям развития побережья в голоцене (рис. 3).

Комплекс 1 (инт. 207–231 см, 6620–6130 кал. л.н.). В отложениях нижней части разреза комплекс диатомей включает виды всех экологических групп. Сумма морских и солоноватоводных диатомей сильно ва-

рьирует, в подошве и кровле слоя достигает 45 и 55 % соответственно, в средней части слоя снижается до 26.4 %. Доминирует солоноватоводно-пресноводный *Planothidium hauckianum*, заметной численности достигают солоноватоводные *Campylodiscus echeneis*, *Diploneis pseudovalis*, *D. smithii* var. *pumila*, *Tryblionella acuminata*, солоноватоводно-морской *Melosira moniliformis* var. *octogona* и морской планктонный *Paralia sulcata*. Современные комплексы диатомей с высоким участием *Planothidium hauckianum* выявлены в лагунах п-ова Камчатка и о. Сахалин в зоне, подверженной сильному влиянию пресных вод [Черепанова, 1988]. Содержание пресноводных диатомей колеблется в пределах 41–72 %. Среди них по отношению к солености преобладают индифференты (до 37.4 %) и галофилы (до 34 %). Доминируют литорально-эпифитные *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosira venter*, *Staurosirella pinnata*, населяющие чаще всего заросшие водной растительностью водоемы. Виды *Staurosira venter* и *Staurosirella pinnata* часто являются доминирующими в небольших озерах [Гребенникова, 2009] и с оценкой обилия «редко» и «нередко» встречены в современных диатомовых сообществах рек южного Сахалина Анна, Мерея и Бахура [Никулина, 2005], но массовое развитие получают в лагунах [Полякова, 1979; Grebennikova, 2011].

Речное влияние фиксируется по присутствию морских переотложенных диатомей и видов, характерных для текучих вод: образцов *Hannaea arcus* f. *recta*, *Meridion circulare*, *Gomphonema grunowii*, *G. truncatum*, *Cymbella aspera*, *Cocconeis placentula*, *C. placentula* var. *euglypta*, донных *Navicula cryptocephala*, *N. rhynchocephala* и планктонного *Aulacoseira italica*. Содержание большинства этих видов не превышает 1–2 %. Наиболее сильный снос материала в лагуну фиксируется в периоды накопления осадков в инт. 226–231 см (6620–6510 кал. л.н.) и 211–216 см (6310–6220 кал. л.н.). Эти осадки характеризуются большим количеством фрагментов и целых створок переотложенных морских диатомей, что указывает на усиление сноса материала. Особенно это заметно по возрастанию содержания таких видов, как *Cocconeis*

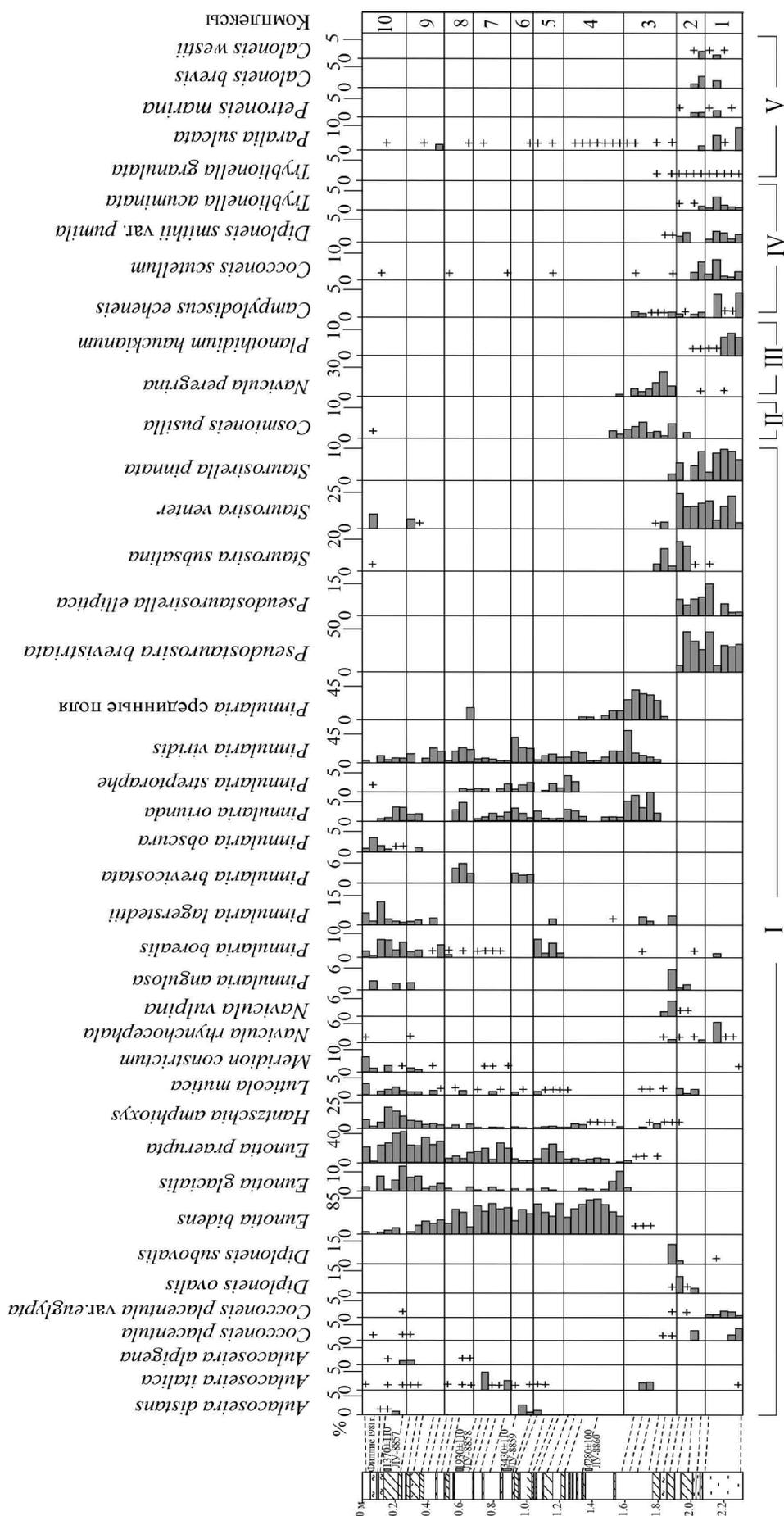


Рис. 3. Распределение диатомовых водорослей по разрезу T01-T02, южный Сахалин. Виды диаграмей: I – пресноводные, II – пресноводно-солончатоводные, III – солончатоводно-пресноводные, IV – солончатоводные, V – морские.

Fig. 3. Distribution of diatoms along the T01-T02 section, South Sakhalin: Diatoms species: I – freshwater; II – freshwater-brackish-water; III brackish-water-freshwater; IV – brackish-water, V – marine.

*scutellum* и *Paralia sulcata*, доля которых в осадках представляет суммарную величину участия обитающих в лагуне и переотложенных видов. Содержание створок диатомей в этих осадках снижается до 672–589 тыс./г, что может являться следствием терригенного разбавления. За исключением этих двух интервалов, концентрация створок колеблется в пределах 2273–4348 тыс./г.

Комплекс 2 (инт. 185–207 см, 6130–5710 кал. л.н.) характеризуется снижением доли солоноватоводных и морских диатомей – до 10–11 % в большинстве проб. Увеличилось число солоноватоводно-пресноводных диатомей, появились *Navicula pusilla* var. *jacutica*, *Bacillaria paxillifera*, *Nitzschia obtusa*, более часто стали встречаться *Parlibellus cruciculoides*, *Nitzschia commutata*. В составе пресноводных диатомей в нижней части слоя еще большее развитие получили *Pseudostaurosira brevistriata*, *P. elliptica*, *Staurosira venter*, *S. subsalina*, *Staurosirella pinnata*. В инт. 185–191 см доли этих видов значительно снижаются, существенно возрастает содержание характерных для озер донных пресноводно-солоноватоводных *Diploneis ovalis*, *D. oblongella*. В каждой пробе найдены принесенные речными водами морские переотложенные виды диатомей и характерные для текучих вод пресноводные виды. Одним из признаков интенсивного сноса материала во время наводнений может служить поступление в лагуну почвенных диатомей *Pinnularia borealis*, *P. obscura*, *Hantzschia amphioxys*, *Luticola mutica*, *Humidophila contenta*. Присутствие этих видов в составе диатомей свидетельствует о развитии почвенных процессов на прилегающей территории. Содержание створок в осадках сильно меняется. Следы наиболее сильного сноса материала, приводящего к разбавлению и снижению концентрации створок диатомей в лагуне, зафиксированы в алевролите с тонкими слоями торфа на глубине 201–207 см (6130–6010 кал. л.н.). Здесь обнаружено повышенное содержание *Cocconeis scutellum*, *Paralia sulcata*, а концентрация створок диатомей составляет 1998 тыс./г осадка, тогда как в подстилающих и перекрывающих осадках концентрация створок достигает 4348 и 5190 тыс./г. Значитель-

но снижается концентрация створок (до 617–1972 тыс./г) и в инт. 185–191 см (5810–5710 кал. л.н.).

Комплекс 3 (инт. 153–185 см, 5710–5040 кал. л.н.) отражает существование берегового озера с повышенной соленостью. Содержание морских и солоноватоводных диатомей не превышает 2–3 %. Доминирует солоноватоводно-пресноводный *Navicula peregrina*. Высокое содержание этого вида отмечено в современных сообществах диатомей в устьях рек, впадающих в лагуну Пильтун (северо-восточный Сахалин) [Могильникова, Мотылькова, 2003]. В подошве слоя существенную долю составляют пресноводные *Diploneis subovalis* и *Navicula vulpina*, встречающиеся в реках и озерах; более заметным становится содержание пресноводно-солоноватоводного *Cosmioneis pussila*, также характерного для озер. Ближе к средней части слоя отмечается высокое обилие видов рода *Pinnularia* (до 69.5 %), многие из которых распространены как в заболоченных водоемах, так и в осадках мелководных озер и рек. Большая часть створок (до 44.1 %) видов рода *Pinnularia* изломаны, сохранились лишь срединные поля, что, по-видимому, связано с высокой турбулентностью водного потока во время наводнений. Среди уцелевших видов наиболее часто встречаются *Pinnularia viridis*, *P. viridiformis*, *P. subrupestris*, *P. oriunda*, населяющие олиготрофно-дистрофные воды, характеризующиеся средними или слегка пониженными значениями минерализации и рН. Повышается доля почвенных диатомей (до 5.8 %). В инт. 181–185 см (5710–5600 кал. л.н.) обнаружен арктобореальный *Pinnularia angulosa* (до 5.7 %), что указывает на более прохладные условия. Из других диатомей, поступающих с речными водами, найдены планктонный *Aulacoseira italica*, донный *Gyrosigma sciotoense*, обрастатели *Gomphonema acuminatum*, *Epithemia adnata*, *Amphora libyca*, *Cocconeis sciotoense* и др. В целом отмечено низкое содержание диатомей, типичных для текучих вод. Концентрация створок в осадках колеблется в пределах 399–891 тыс./г.

Комплекс 4 (инт. 110.5–153 см, 5040–4030 кал. л.н.) отвечает начальному этапу

развития болота во влажных и умеренно влажных условиях. Доминирует *Eunotia bidens*, характерный для торфяных болот, и появляется *Eunotia glacialis*. В подошве и кровле слоя отмечается обилие видов рода *Pinnularia*, причем в нижней части интервала большая часть створок изломаны. Более заметным становится присутствие морских древних диатомей (в основном фрагменты створок) и видов, обычных для текучих вод (*Rhoicosphenia abbreviata*, *Gomphonema coronatum*, *G. truncatum*), что свидетельствует о прохождении сильных наводнений. Концентрация створок в подошве и кровле слоя достигает 17–25 тыс./г, в средней части снижается до 2–3 тыс./г.

Комплекс 5 (инт. 92.5–110.5 см, 4030–3580 кал. л.н.) фиксирует существование сухих обстановок. Значительно возрастает участие почвенных диатомей (до 11.7 %), среди которых выделяются *Hantzschia amphioxys*, *Pinnularia borealis*, что может указывать на активизацию почвенных процессов. Здесь же зафиксировано и повышение содержания *Eunotia praerupta*, способного переносить более сухие условия [Liu et al., 2011]. Признаком прохождения частых наводнений может служить увеличение богатства диатомей (до 33 таксонов), среди которых обнаружены планктонные *Aulacoseira distans*, *A. italica*, обрастатели *Ulnaria ulna*, *Symbella aspera*, *Hanaea arcus* f. *recta* и др. Для этих осадков также характерно обилие фрагментов и целых створок переотложенных морских диатомей. Концентрация створок диатомей повышается до 32–42 тыс./г.

Комплекс 6 (инт. 84–92.5 см, 3580–3220 кал. л.н.) характеризует развитие болота в более влажных условиях. На фоне доминирования болотного *Eunotia bidens* существенно увеличивается видовое богатство и содержание видов рода *Pinnularia* (до 33–53 % в сумме), среди которых преобладает *Pinnularia viridis*, и появляются населяющие в основном олиготрофно-дистрофные воды со средними значениями pH и минерализации *P. brevicostata*, *P. hemiptera*, *P. major*, *P. sudetica*, *P. subgibba* и характерный для мезотрофных водоемов *Placoneis elginensis* var. *cuneata*. Речное влияние фиксируется

также по присутствию в осадках древних морских диатомей и видов родов *Aulacoseira*, *Symbella*, *Gomphonema* и др., обычных для текучих вод. Состав диатомей увеличивается до 37 таксонов, а концентрация створок в осадках достигает 46–62 тыс./г.

Комплекс 7 (инт. 56.3–84 см, 3220–1840 кал. л.н.) фиксирует снижение увлажнения и, возможно, усиление степени закисления болота. Здесь значительно повышается доля *Eunotia praerupta* (до 18 %) и появляется арктобореальный *E. diodon*, характерный для низинных болот с pH среды 4.3–7.8 [Liu et al., 2011]. Доля видов рода *Pinnularia* снижается до 8.1–14.3 % в сумме, в то время как участие других диатомей, указывающих на речное влияние, остается значительным. Среди них наиболее высокого обилия в отдельных пробах достигает планктонный *Aulacoseira italica* (до 5.0–9.6 %), присутствуют *Symbella aspera*, *C. cymbiformis*, *Meridion circulare*, *M. constrictum* и др. Возможно, в наводнения происходил вынос *Aulacoseira italica* из старицы. Концентрация створок достигает 200–265 тыс./г. Наиболее сильный снос терригенного материала зафиксирован в инт. 67–76 см (2820–2380 кал. л.н.), где концентрация створок диатомей снижена до 36–67 тыс./г.

Комплекс 8 (инт. 44.5–56.3 см, 1840–1700 кал. л.н.) свидетельствует о повышении увлажненности. В составе диатомей снижается доля болотных видов *Eunotia* и заметно повышается содержание видов рода *Pinnularia* (до 39 % в сумме), среди которых особенно выделяются *Pinnularia viridis* и *P. brevicostata*, населяющие водоемы разного типа, включая реки и озера. Список диатомей включает 41 таксон, концентрация створок диатомей в этих осадках не превышает 57 тыс./г. Наиболее сильные наводнения фиксируются в слоях суглинков в интервалах 44.5–46.5 см (~1700 кал. л.н.) и 55.5–56.3 см (~1840 кал. л.н.). Здесь концентрация диатомей снижается до 11–29 тыс./г и более часто встречаются фрагменты древних морских диатомей. В слое 55.5–56.3 см у большинства видов рода *Pinnularia* (18 %) сохранились только срединные поля, что также может свидетельствовать о прохождении сильных наводнений.

Комплекс 9 (инт. 22–44.5 см, 1700–1350 кал. л.н.). Характерно увеличение доли почвенных диатомей (до 15.2 %), что показывает усиление почвенных процессов, обусловленных, по-видимому, снижением увлажненности. Не противоречит этому и смена доминантов – доминирующее положение приобретает *Eunotia praerupta*. Здесь же существенную долю занимают виды рода *Pinnularia* (до 32 % в сумме) и найден широкий набор таких видов, как *Cymbella amplificata*, *C. aspera*, *Gomphonema gracile*, *G. grunowii*, *Encyonema silesiacum*, *Odontidium hyemale*, *Navicula slesvicensis*, *Frustulia vulgaris* и др., являющиеся показателями частых наводнений. В нижней части этого слоя осадков (инт. 35–44.5 см, 1700–1550 кал. л.н.) концентрация створок диатомей составляет не более 66 тыс./г, а список видов включает 32 таксона. В инт. 29–35 см (1550–1450 кал. л.н.) концентрация створок снижается до 15 тыс./г, а список видов сокращается до 25 таксонов, что свидетельствует о более сильном терригенном разбавлении. Здесь в заметном количестве обнаружены типичные реофилы *Didymosphenia geminata* и *Gomphonema grunowii*. В верхней части слоя (инт. 22–29 см, 1450–1350 кал. л.н.) существенно возрастает богатство видов (до 61 таксона), постепенно увеличивается концентрация створок, к кровле их число достигает 477 тыс./г. Здесь же в заметном количестве встречены *Staurosira venter*, *Placoneis elginensis* и более широким становится список видов рода *Eunotia*. Возможно, в пределах долины в это время существовало небольшое озерко-старица. Подобный характер диатомовой флоры также указывает на частые наводнения. Отмечено увеличение содержания (до 4.5 %) арктобореальных видов (*Eunotia crista-galli*, *Pinnularia nodosa*, *P. angulosa*, *P. oriunda*), что свидетельствует о более холодных условиях.

Комплекс 10 (инт. 0–22 см, последние 1350 кал. л.н.). Заключительный этап в накоплении отложений характеризуется наиболее высоким содержанием почвенных диатомей, особенно в нижней части слоя (до 37.5 %). Возможно, поверхность, где был заложен разрез, вышла из сферы активного влияния грун-

товых вод. Доминирует *Hantzschia amphioxys*, характерный для пойменных биоценозов [Кондакова, Пирогова, 2014]. В подошве слоя в составе этой группы существенную долю занимает *Pinnularia borealis*, ближе к кровле возрастает участие *Luticola mutica*, *Pinnularia obscura*. В этих осадках по-прежнему высока доля ацидофила *Eunotia praerupta*, а доля *E. bidens* значительно снижается, что также может указывать на существование более сухих условий. В составе диатомей, принесенных наводнениями, высокого участия достигают *Meridion circulare*, *M. constrictum*, *Fragilaria vaucheriae* и выявлен представительный список видов из родов *Cymbella* (7), *Gomphonema* (8), *Nitzschia* (5). Богатство диатомей в нижней части этого слоя составляет 66 таксонов, в верхней части – до 100 таксонов. Наблюдается постепенный рост и концентрации створок диатомей – от 1390 тыс./г в подошве слоя до 6000 тыс./г в кровле. Частота наводнений могла снижаться в период накопления осадков в инт. 8.5–9.5 см. В составе диатомей здесь возрастает содержание североальпийского аэрофила *Pinnularia lagerstedtii*, населяющего часто мокрые мхи, и появляется *Navigeia paludosa*, обитающий на влажных почвах и в биотопах с тенденцией к временному обезвоживанию [Krammer, 1992]. Снижается богатство видов, характерных для текучих вод, и концентрация створок до 1120 тыс./г сухого осадка. В слое суглинка, оставленном во время тайфуна Филлис 1981 г. (инт. 5–8.5 см), найдены *Staurosira venter*, *S. subsalina*, *Pseudostaurosira elliptica*, *P. brevistriata*, по-видимому перенесенные из озер и стариц.

### Обсуждение результатов

**Эволюция обстановок осадконакопления и вариации увлажнения.** Болото, которое выбрано в качестве объекта исследований, развивалось на месте лагуны, образованной в вершине ингрессионного залива в среднем голоцене (рис. 4). Береговая линия во время ее формирования находилась в 10 км вглубь суши от современного берега моря. Образование лагуны произошло в оптимум голоцена, когда уровень моря был выше современного на 3.5–4 м [Короткий



и др., 1997]. Лагунные отложения этого возраста широко распространены на Сахалине [Короткий и др., 1997; Микишин, Гвоздева, 1996]. Разрез вскрыл отложения лагуны, существовавшей ~6620–6130 кал. л.н. в заключительную стадию максимальной фазы голоценовой трансгрессии.

Дальнейшее развитие водоема происходило при постепенном сокращении связи с морем. Около 6130–5710 кал. л.н. лагуна стала более распресненной. Эта стадия началась в похолодание, выделенное на южном Сахалине ~6300–6100 кал. л.н. [Микишин, Гвоздева, 2018], сопровождавшееся небольшой регрессией [Короткий и др., 1997]. На северо-западе острова холодный эпизод датирован около 6000 кал. л.н. [Leire et al., 2015]. При снижении уровня моря ~5710–5040 кал. л.н. лагуна превратилась в береговое озеро. Эта смена обстановок хорошо совпадает с похолоданием и регрессией на границе среднего–позднего голоцена [Короткий и др., 1997]. В изученном разрезе кратковременный холодный сигнал, судя по присутствию арктобореальных диатомей, был ~5710–5610 кал. л.н. в начальную фазу образования озера. Временные рамки похолодания на Сахалине определены 5200–4700 кал. л.н., снижение среднегодовых температур воздуха по сравнению с современными составило 0.8–1.8 °C на севере и 3–4 °C – на юге острова, среднегодовое количество атмосферных осадков было на 40–140 мм меньше современных значений [Микишин, Гвоздева, 2017]. Около 5200–4700 кал. л.н. более сухие условия были и в Приамурье, где на болотах образовался пограничный горизонт, что связано с уменьшением интенсивности летнего муссона [Базарова и др., 2018].

Органогенные отложения с большим количеством изломанных диатомей рода *Pinnularia* накапливались 5500–5000 кал. л.н., когда существовало озеро. Заращение озера и начало развития болота совпадает со значительным похолоданием, сопровождаемым регрессией [Микишин, Гвоздева, 1996; Короткий и др., 1997]. Возможно, разрушение створок происходило в активной динамической среде мелководного озера. Довольно

много фрагментов видов *Pinnularia* встречено в торфе, образованном на начальном этапе существования болота 5000–4810 кал. л.н. В торфянике только суглинок, образованный в наводнение около 1840 кал. л.н., включает большое количество срединных полей видов *Pinnularia*. Возможно, шло переотложение створок из старицы. Следует отметить, что в реках южного Сахалина представители рода *Pinnularia* и *Eunotia* встречены единично [Никулина, 2005].

Интенсивное заболачивание долины началось в позднем голоцене. Развитие болота было неоднородным, установлено семь этапов, различающихся разной степенью увлажненности (рис. 4), связанной с изменением атмосферной циркуляции. На начальной стадии развития (5040–4030 кал. л.н.) болото было хорошо увлажненным. Климатические условия на острове характеризовались переменным увлажнением [Микишин, Гвоздева, 1996; Гвоздева, Микишин, 2008]. Около 4030–3580 кал. л.н. в изученном разрезе зафиксировано снижение увлажнения вплоть до развития почвенных процессов. Болото развивалось в условиях потепления (3900–3400 кал. л.н.), близкого к атлантическому оптимуму (среднегодовые температуры были +5...+6.5°C, температура августа +17...+19°C, января –7...–11°C), количество атмосферных осадков на юге Сахалина не превышало 700 мм/год [Микишин, Гвоздева, 1996]. Временные рамки фазы совпадают с фазой уменьшения увлажнения, выделенной в Нижнем Приамурье, где в разрезах торфяника Кия из нижележащего горизонта получена <sup>14</sup>C-дата 3720±100 л.н., 4090±150 кал. л.н., СОАН-4452, а в разрезе Дуди из вышележащего горизонта – 3565±100 л.н., 3870±140 кал. л.н., СОАН-4480 [Базарова и др., 2018].

В изученном разрезе установлено, что условия стали более влажными 3580–3220 кал. л.н. Уменьшение увлажнения на фоне снижения температуры отмечено для 3220–1830 кал. л.н. Похолодание и иссушение на юге Сахалина датировано около 3200 кал. л.н. Температуры были близки к современным, годовая сумма осадков не превышала 500 мм [Микишин,

Гвоздева, 1996]. Увлажнение болотного массива увеличивалось 1830–1700 кал. л.н. Снижение увлажненности зафиксировано около 1700–1350 кал. л.н. Последние 1347 кал. л.н. болото развивалось в довольно сухих условиях. Определенную роль в этом мог играть выход кровли торфяника на гипсометрический уровень, где снизилось влияние грунтовых вод. Холодный и сухой эпизод на южном Сахалине выделяется 1450–1250 кал. л.н. [Микишин, Гвоздева, 2016].

Наиболее хорошо выраженные рецидивы холода и сухости на северо-западе Сахалина (разрез Хоэ) выделены около 6000, 4400, 2900, 1500, 900–500 кал. л.н. [Leire et al., 2015]. За исключением первого, эти события зафиксированы и в изученном разрезе. Эти кратковременные фазы совпадают с холодными событиями, проявившимися в других регионах мира [Bond et al., 2001], в том числе в области развития Азиатского муссона (4800–4600, 2600–2500, 1650–1450, 650–450 кал. л.н.) [Wanner et al., 2011]. Для Северо-Восточного Китая установлено, что летний муссон был ослаблен ~3740–1920 кал. л.н. [Li et al., 2011; Chen et al., 2015; Stebich et al., 2015]. В Нижнем Приамурье сухие условия были около 2570 кал. л.н. [Базарова и др., 2018].

В балансе атмосферных осадков южного Сахалина (сумма около 1000 мм/год) большую роль играют жидкие: по данным метеостанции г. Долинск, их величина составляет 581 мм (58%), на твердые приходится 299 мм, смешанные – 122 мм. Наиболее обильные дождевые осадки наблюдаются в августе (109 мм) и сентябре (120 мм), за лето выпадает до 80% годовой нормы [Научно-прикладной... , 1990)]. Основным контролирующим фактором являются циклоны. Учитывая их распределение по сезонам, можно предположить, что в прошлом в засушливые периоды снижалась интенсивность циклогенеза. В похолодания в зимнее время мог быть более активным Сибирский антициклон, что также могло приводить к уменьшению интенсивности снегопадов. В летнее время мог быть более интенсивным Охотский антициклон, что могло приводить к смещению траектории циклонов к югу [Базарова и др., 2018]. Снижение увлажнения в Северо-Вос-

точном Китае 3600–2100 кал. л.н. связывают с активизацией Эль-Ниньо [Chen et al., 2015].

**Повторяемость экстремальных наводнений и палеоклиматический фон.** Верхний прослой суглинка рассматривается как след разрушительного тайфуна Филлис (№ 198112). Тайфун возник 2.08.1981, минимальное давление в центре вихря составляло 975 hPa, когда он проходил над Сахалином – 980–984 hPa (Japan Meteorological Agency, <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/summary/wnp/l/198112.html.en>). Перед тайфуном 1.08.1981 на Сахалин пришел циклон, зародившийся над территорией Приморья, севера Корейского п-ова и Китая на остатках тайфуна Оджин (№ 198110; 27.07–1.08.1981), который перемещался на запад через Японские острова на юг Корейского п-ова. В результате прохождения предшествующего циклона траектория тайфуна Филлис была нетипичной: сначала направлена на север к Курильским островам, затем тайфун изменил направление движения, пересек восток Хоккайдо и 6.08.1981 обрушился на Сахалин, оттуда ушел на Хабаровский край и затух в Амурской области 8.08.1981 (Japan Meteorological Agency, <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/summary/wnp/l/198112.html.en>). На южном Сахалине за 12 ч выпало до 140 мм осадков при ветре до 35 м/с. Общее количество осадков составило 220–300 мм, т.е. четверть-треть годовой нормы. В горах (Сусунайский хребет) на отметках 400–500 м сумма осадков достигала 435–1277 мм [Казаков, Генсировский, 2007]. Подъем уровня рек над предпаводочным уровнем доходил до 6.5 м, что превысило максимальные уровни за весь период наблюдений. Интенсивность подъема была 30–50 см/ч, наводнение сопровождалось сильной боковой и глубинной эрозией. Во время паводка 3–6 августа 1981 г. на юге острова полностью затопило долины многих рек, слой воды на пойме составлял 1–4 м, ширина зоны затопления достигала 10–15 км, на залитых участках вода стояла 2–3 недели (Катастрофы Сахалина. Тайфун Филлис: хроники затопления. – <https://skr.su/news/post/34036/>). Тайфун вызвал многочисленные

сели и оползни, сходявшие даже с пологих склонов, вода была насыщена влекомыми наносами и взвесью [Казаков, Генсиоровский, 2007]. Один из самых тяжелых ударов стихии приняли жители Долинского района, на многих полях был смыт плодородный слой (<https://sakhalinmedia.ru/news/525344/>). Определенную роль в переувлажнении водосборов сыграло и большое увлажнение в зимний сезон 1980/1981 г. [Генсиоровский, 2011].

Большая мощность слоя суглинка по сравнению с нижележащими может быть связана не только с активной эрозией во время наводнения, но и с антропогенным освоением территории, где большие площади стали занимать участки, лишенные растительности, – территория г. Долинск, дорожная сеть и т.п. Но главной причиной, вероятно, было то, что наводнение сопровождалось многочисленными оползнями и селями, это усиливало эрозионную способность водотоков [Казаков, Генсиоровский, 2007].

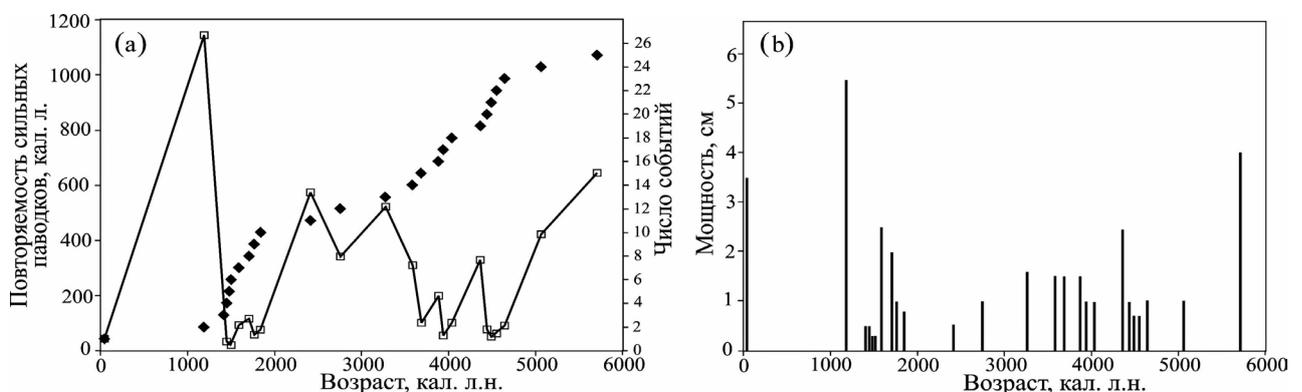
Наводнение, вызванное тайфуном Филлис, рассматривается нами как аналог для палеособытий, следы которых зафиксированы в разрезе изученного торфяника. Экстремальные наводнения в прошлом также могли возникать при метеоусловиях редкой повторяемости, когда происходило наложение тайфунов и глубоких циклонов, гидрологический эффект таких событий мог многократно увеличиваться [Похил, 2011].

Следует учитывать, что одним из факторов, контролирующих возникновение экстремальных паводков на Сахалине, является

вертикальный градиент осадков, связанный с сильной расчлененностью горного рельефа и большими уклонами водотоков в горной части острова. В случае прохождения тайфунов его величина достигает 260–320 мм на 100 м превышения [Казаков, Генсиоровский, 2007].

Катастрофический характер также носило наводнение (с подъемом уровня рек до 5 м, уровня воды на пойме – до 2.5 м), вызванное ливнями во время тайфуна Джорджия 17.10.1970 г. Ситуацию усугубили юго-восточные ветры, вызывавшие подпор воды в устьях рек [Ситников и др., 2001].

Проведенные реконструкции позволили выявить отдельные события – супертайфуны, сопровождавшиеся сильными наводнениями и оставившие след в виде прослоев суглинков. В изученном разрезе зафиксировано 25 таких событий (рис. 5а). На рис. 5а повторяемость сильных паводков показана как разница по времени между отдельными событиями. Мощность слоя суглинка в какой-то степени может указывать на интенсивность паводка (рис. 5б). Как правило, мощность прослоев, оставленных во время редких катастрофических наводнений, выше. Слои органоминеральных отложений с высокой зольностью торфа также показывают периоды усиления паводковой активности, но паводки имели меньшую интенсивность: при затоплении болота увеличивалось содержание минеральной примеси в торфе, но отдельные слойки суглинков не образовывались. В этом случае можно говорить только о периоде активизации паводков.



**Рис. 5.** Число (черные символы) и повторяемость (светлые символы) супертайфунов, сопровождавшихся сильными наводнениями, на южном Сахалине в среднем–позднем голоцене (а); мощность слойков суглинков, оставленных разновозрастными паводками (б).

**Fig. 5.** The number (black symbols) and recurrence (light symbols) of super typhoons, accompanied by severe floods, in South Sakhalin in the Middle–Late Holocene (a); thickness of loam layers, left by floods of different age (b).

Данные, полученные по развитию лагун-палеоозера в среднем голоцене, позволяют отметить только тенденции в изменении интенсивности речного стока, а не отдельные события (за исключением 1–2 случаев).

Наиболее сильный снос терригенного материала в лагуну 6620–6510 кал. л.н. и 6310–6220 кал. л.н., вероятно, связан с усилением речного стока. Первая фаза отвечает влажным и более теплым условиям по сравнению с современными [Микишин, Гвоздева, 1996; Leire et al., 2015]. Вторая совпадает с похолоданием ~6300–6100 кал. л.н., выделенным на южном Сахалине, сухим было его начало, более влажная стадия началась ~6200 кал. л.н. [Микишин, Гвоздева, 2018]. В это время уменьшается интенсивность проникновения в южную часть Охотского моря теплового течения [Kawahata et al., 2003].

Усиление терригенного сноса в распресненную лагуну происходило 6130–6010 кал. л.н. и 5810–5710 кал. л.н. Вероятной причиной этого могли быть сильные паводки. Первое событие совпадает с холодным эпизодом около 6000 кал. л.н., выделенным на Сахалине [Leire et al., 2015]. В начальную фазу образования озера ~5710–5610 кал. л.н. произошла смена органогенного осадконакопления терригенным, что обычно связано с усилением речного стока или, возможно, с экстремальным паводком. Это событие также совпадает с кратковременным похолоданием. Высокая примесь суглинка позволяет выделить и событие около 5060 кал. л.н., отвечающее сильному паводку.

Анализ возраста прослоев суглинков и органоминеральных горизонтов показал неравномерную повторяемость экстремальных наводнений в среднем–позднем голоцене (рис. 5). Выделяется три периода, когда экстремальные паводки проходили чаще (4640–4360; 4030–3580; 1840–1380 кал. л.н.), разделенные промежутками, когда повторяемость их сильно снижалась вплоть до длительных перерывов (рис. 4, 5).

Первый период частых наводнений начался в условиях глобального похолодания 4800–4600 кал. л.н., сопровождавшегося уменьшением увлажнения в Азии

[Wanner et al., 2011]. Холодный эпизод около 4400 кал. л.н. хорошо выражен на северо-западе Сахалина [Leire et al., 2015]. На южном Сахалине это время (4700–4400) выделяется как начало потепления [Микишин, Гвоздева, 1996]. Повторяемость сильных паводков на территории южного Сахалина составляла 50–90 лет. В последующий период, длившийся 330 кал. л., наводнения также происходили, но экстремальных событий не было.

Второй период охватывает сухую фазу, запечатленную в изученном разрезе (4030–3580 кал. л.н.). Повторяемость сильных паводков составляла около 50–100 лет. На южном Сахалине 3910–3520 кал. л.н. фиксируется максимальное потепление в позднем голоцене, количество атмосферных осадков было ниже современного – не более 700 мм/год [Микишин, Гвоздева, 1996]. Течение Соя около 4300–3550 кал. л.н. становилось более интенсивным [Kawahata et al., 2003]. После этого периода наводнения происходили не чаще одного раза в 420–650 лет.

Третий период частых паводков начался в прохладных влажных условиях (1840–1700 кал. л.н.) и полностью охватывал холодную сухую фазу (1700–1350 кал. л.н.). Повторяемость сильных паводков увеличивалась до одного раза в 50–75 лет, а в отдельных случаях – до 30 лет. Временные рамки периода совпадают с глобальным холодным событием 1750–1350 кал. л.н., сопровождавшимся снижением увлажнения в Азии, в это время снижалась солнечная активность, хотя ее наиболее значимый минимум был сразу после этого события [Wanner et al., 2011]. На северо-западе Сахалина холодный эпизод датирован около 1500 кал. л.н. [Leire et al., 2015]. Но на южном Сахалине, по данным спорово-пыльцевого анализа, около 1800–1450 кал. л.н. зафиксировано потепление [Микишин, Гвоздева, 1996]. Возможно, такая метахронность объясняется влиянием на южное побережье острова течения Соя, которое стало более интенсивным 1700–1400 кал. л.н. [Kawahata et al., 2003]. На Японских островах 1710–1220 кал. л.н. была самая длительная за средний–поздний голоцен холодная стадия Кофун, разделенная на две фазы потеплением

около 1560 кал. л.н. [Sakaguchi, 1983]. В это время были многочисленные наводнения. Холодные условия объясняют смещением на юг полярного фронта в летнее время.

Строение верхней части изученного разреза показывает, что события такого масштаба, как тайфун Филлис, в недавнем прошлом имели редкую повторяемость, даже если учесть, что часть разреза могла быть размывта в наводнение 1981 г. (рис. 2). Под вторым прослоем суглинка получена  $^{14}\text{C}$ -дата  $1370 \pm 110$  л.н.,  $1280 \pm 120$  кал. л.н., ЛУ-8857. Паводок был около 1180 кал. л.н. (VIII в. н.э.), что близко по времени к сигналу катастрофического наводнения, зафиксированному в колонке донных отложений Амурского залива [Астахов и др., 2019]. Мощность слоя в изученном разрезе меняется от 4 до 7 см, что по аналогии с тайфуном Филлис [Казаков, Генсиоровский, 2007] может косвенно свидетельствовать о том, что тайфун вызвал многочисленные сели и оползни на Сахалине.

**Сравнение данных по сильным паводкам с региональным материалом.** Записи проявления палеотайфунов в северо-западной части Тихого океана, оставивших следы в голоценовых отложениях, есть только для Япономорского региона и близлежащего окружения: для Приморья – за последние 1800 кал. л. [Астахов и др., 2019]), о. Камикошики (Kamikoshiki) около о. Кюсю – за 6500 кал. л. [Woodruff et al., 2009] и территории Южной Кореи – за 6400 кал. л. [Lim et al., 2017].

Для сравнения данных, полученных на Сахалине, с материалами по Япономорскому региону в качестве индикаторов прохождения сильных паводков в голоцене, как и в бассейне р. Бикин [Разжигаева и др., 2019], были выбраны величина зольности торфа и органоминеральных отложений, а также насыщенность осадка створками диатомей (как показатель терригенного разбавления) и количество переотложенных морских видов (с учетом только вымерших форм).

На юге Японских островов (о. Камикошики) следы палеотайфунов выделяются как эпизоды поступления морской воды в береговые озера за счет экстремальных штормов,

частично разрушавших барьерные формы 4800–4300, 3600–2500, 1000–300 кал. л.н. [Woodruff et al., 2009]. Увеличение повторяемости сильных тайфунов совпадает с периодами большей активности Эль-Ниньо. И, напротив, около 4300–3600, 2200–1200, <300 кал. л.н. в озерах накапливались тонкослоистые осадки и условия седиментации были спокойными – эти фазы сопоставляются с периодами ослабления активности Эль-Ниньо. Для оценки активизации Эль-Ниньо используются реконструкции по Эквадору [Mou et al., 2002]. На территории Южной Кореи более частые паводки были 6400–5800, 5300–4600, 3900–3600, 3400–2900 кал. л.н., их также связывают с усилением активности Эль-Ниньо [Lim et al., 2017].

В настоящее время в годы сильных продолжительных классических Эль-Ниньо, начинающихся весной и продолжающихся зимой следующего года, на материковой части юга российского Дальнего Востока наблюдается интенсификация зимнего муссона и ослабление летнего муссона, что сопутствует сокращению сумм осадков в холодный и теплый сезоны года. Траектории тайфунов в такие годы смещаются к востоку от континента, они, как правило, не выходят на Приморский край, где соответственно наблюдаются продолжительные маловодья и аномальные засухи [Бышев и др., 2014].

Первый период активизации палеотайфунов на Сахалине (4640–4360 кал. л.н.) близок к фазе сильных штормов, выделенной для юга Японии [Woodruff et al., 2009]. Можно предположить, что траектории супертайфунов в это время преимущественно пересекали южную часть Японского моря и выходили на Сахалин.

Вторая фаза активизации палеотайфунов, выделенная для Сахалина (4030–3580 кал. л.н.), близка к периоду экстремальных паводков, установленному для территории Южной Кореи [Lim et al., 2017]. Траектории супертайфунов преимущественно становились параболическими, захватывали Корейский п-ов и далее шли в северную часть Японского моря и на юг Охотского моря [Ситников и др., 2001]. На юг Японии

в это время наиболее сильные тайфуны не выходили [Woodruff et al., 2009].

Третий период активизации палеотайфунов на Сахалине (1860–1380 кал. л.н.) находится в противофазе с периодами высокой повторяемости тайфунов на юге Японии и Корейского п-ова. Экстремальные наводнения в это время происходили и в Приморье, где возросла повторяемость сигналов наводнений [Астахов и др., 2019]. Интенсивность тропических циклонов в Восточно-Китайском море и прилегающих участках Китая увеличивалась около 1800–1500 кал. л.н., что связывают с теплой фазой (романский теплый период) и увеличением температуры поверхностных вод в тропической зоне Тихого океана [Zhou et al., 2019]. Несмотря на то что в это время на юге Сахалина на фоне похолодания сокращались атмосферные осадки, повторяемость экстремальных паводков тайфунного происхождения сильно возросла. Можно предположить, что в это время траектории супертайфунов смещались: периодически возникали синоптические ситуации, когда крупные вихри, минуя юг Японии и юг Корейского п-ова, выходили на южный Сахалин.

Следует отметить, что реконструкции интенсивности Эль-Ниньо, сделанные в Перу, показывают, что максимальной силы это явление достигало 2000–1300 кал. л.н., повторяемость очень сильных событий составляла 60–80 лет [Rein et al., 2005]. Этот временной интервал согласуется с данными увеличения повторяемости палеотайфунов, сопровождаемых экстремальными паводками, на южном Сахалине.

Известно, что траектории тайфунов связаны с особенностями крупномасштабной атмосферной циркуляции в тропических и умеренных широтах Тихого океана [Ситников и др., 2001; Похил, 2011]. В годы Эль-Ниньо отмечена активизация алеутской депрессии и азиатского антициклона, а также ослабление северотихоокеанского антициклона и азиатской депрессии, что способствует усилению циклогенеза во внетропической зоне [Тунеголовец, 2009]. Соответственно во время сильных Эль-Ниньо в западной части Тихого океана увеличивался меридиональный перенос в тропосфере в средних и уме-

ренных широтах. В зависимости от синоптической ситуации тропические циклоны изменяли траекторию перемещения и двигались на север и северо-запад. В пограничной зоне между Японским и Охотским морями тайфуны смещались вдоль юго-восточной периферии Охотского антициклона, принося залповые осадки на о. Сахалин.

### Заключение

На Сусунайской низменности южного Сахалина изучен разрез, который является природным архивом для реконструкции изменения интенсивности и частоты выхода на остров палеотайфунов, сопровождавшихся экстремальными наводнениями в среднем–позднем голоцене.

Торфяник, включающий многочисленные прослойки суглинков, образованные в сильные паводки, образовался на месте лагуны, существовавшей в максимальную фазу голоценовой трансгрессии. Эволюция водоема шла по пути уменьшения солености. Выделены стадии лагуны – распресненной лагуны – берегового озера, каждая из которых начиналась в кратковременное похолодание, сопровождавшееся малоамплитудной регрессией. На месте лагуны образовалось болото, прошедшее 7 стадий развития в разных условиях увлажнения.

Анализ изменения величины зольности торфа, эколого-таксономического состава диатомовых ассоциаций и количественного содержания створок диатомей в отложениях, накопившихся в разные периоды голоцена, дает возможность подойти к оценке частоты наводнений, их интенсивности и позволяет оценить масштабы сноса материала в разные периоды.

Установлены следы 25 экстремальных наводнений, определены критерии их выделения и возраст. Наводнения в среднем–позднем голоцене проходили неравномерно. Выделено три периода, когда повторяемость сильных паводков, вызванных выходом на остров супертайфунов и, возможно, нескольких интенсивных тропических циклонов, значительно возрастала. Современным аналогом таких событий рассматривается тайфун Филлис 1981 г., к которому относится верхний слой

суглинка в изученном разрезе. Соответственно, нижележащие слои с суглинками также образовались в периоды с высокой повторяемостью экстремальных наводнений, вызванных, как и в современный период, залповыми осадками при прохождении экстремальных тайфунов. Периоды увеличения повторяемости наводнений тайфунного генезиса на Сахалине проходили как в теплые влажные и сухие, так и в холодные сухие фазы позднего голоцена.

Из сравнения данных о проявлении палеотайфунов на Сахалине и в Япономорском регионе следует, что периоды их активизации не всегда совпадают на Сахалине, в Приморье,

Корейском п-ове и на юге Японских островов, что обусловлено смещением траекторий интенсивных тайфунов. Выявлены как синхронность периодов, так и метахронность, что, по-видимому, связано с аномалиями крупномасштабной атмосферной циркуляции и повторяемостью различных синоптических ситуаций, контролирующих выход супертайфунов на юг о. Сахалин.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Приоритетные научные исследования в интересах комплексного развития Дальневосточного отделения РАН» (проект ВАНТ 18-010).

### Список литературы

1. Астахов А.С., Дарьин А.В., Калугин И.А., Аксентов К.И. **2019**. Реконструкция частоты катастрофических наводнений на западном побережье Японского моря по шельфовым седиментационным записям. *Метеорология и гидрология*, (1): 91–102. <https://doi.org/10.3103/s1068373919010072>
2. Базарова В.Б., Климин М.А., Копотева Т.А. **2018**. Голоценовая динамика восточноазиатского муссона в Нижнем Приамурье (юг Дальнего Востока). *География и природные ресурсы*, (3): 124–133. doi:10.21782/GIPR0206-1619-2018-3(124-133)
3. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. **2006**. *Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды*. Тель-Авив: Pilies Studio, 498 с.
4. Бышев В.И., Нейман В.Г., Пономарев В.И., Романов Ю.А., Серых И.В., Цурикова Т.В. **2014**. Роль глобальной атмосферной осцилляции в формировании климатических аномалий Дальневосточного региона России. *Доклады АН*, 458(1): 92–96. <http://dx.doi.org/10.7868/S0869565214250148>
5. Гарцман Б.И., Мезенцева Л.И., Меновщикова Т.С., Попова Н.Ю., Соколов О.В. **2014**. Условия формирования экстремально высокой водности рек Приморья в осенне-зимний период 2012 г. *Метеорология и гидрология*, (4): 77–92. <https://doi.org/10.3103/s1068373914040074>
6. Гвоздева И.Г., Микишин Ю.А. **2008**. Стратиграфия и палеогеография голоцена юго-западного Сахалина. *Естественные и технические науки*, 3: 177–183.
7. Генсиоровский Ю.В. **2011**. *Экзогенные геологические процессы и их влияние на территориальное планирование городов (на примере о. Сахалин)*: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Иркутск: ИЗК СО РАН, 23 с.
8. Генсиоровский Ю.В., Казаков Н.А. **2015**. Условия формирования экстремальных паводков в бассейнах рек низкогорья (на примере о. Сахалин). В кн.: *Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска*: материалы всерос. конф. с междунар. участием. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, т. 2: 302–305.
9. Гребенникова Т.А. **2009**. Флора *Vacillariophyta* разнотипных водоемов средних и северных Курил. *Ботанический журнал*, 94(4): 526–537.
10. Давыдова И.Н. **1985**. *Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене*. Л.: Наука, 244 с.
11. *Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные*. Т. 1. **1974**. В.С. Шешукова-Порецкая (отв. ред.). Л.: Наука, 400 с.
12. *Диатомовый анализ*. Кн. 3. **1950**. Л.: Госгеолит-издат, 632 с.
13. Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В. **2007**. Влияние вертикального градиента осадков на характеристики гидрологических, лавинных и селевых процессов в низкогорье. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*, (4): 342–347.
14. Кондакова Л.В., Пирогова О.С. **2014**. Почвенные водоросли и цианобактерии государственного природного заповедника «Нургуш». *Теоретическая и прикладная экология*, (3): 94–101.
15. Короткий А.М., Пушкарь В.С., Гребенникова Т.А., Разжигаета Н.Г., Караулова Л.П., Мохова Л.М., Ганзей Л.А., Черепанова М.В., Базарова В.Б., Волков В.Г., Ковалюх Н.Н. **1997**. *Морские террасы и четвертичная история шельфа Сахалина*. Владивосток: Дальнаука, 194 с.

16. Лобанов В.Б., Данченков М.А., Лучин Е.В., Мезенцева Л.И., Пономарев В.И., Соколов О.В., Трусенкова О.О., Устинова Е.И., Ушакова Р.Н., Хен Г.В. **2014**. Дальневосточные моря России. В кн.: *Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации*. М.: Росгидромет, раздел 5.4: 684–743.
17. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. **1996**. *Развитие природы юго-восточной части острова Сахалин в голоцене*. Владивосток: ДВГУ, 130 с.
18. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. **2016**. Поздний субатлантик южного Сахалина. *Успехи современного естествознания*, (9): 137–142.
19. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. **2017**. Ранний суббореал Сахалина. *Вестник СВКНИИ ДВО РАН*, (4): 25–38.
20. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. **2018**. Следы похолодания на юге Сахалина в позднеледниковье и атлантическом периоде голоцена. *Успехи современного естествознания*, (3): 107–116.
21. Могильникова Т.А., Мотылькова И.В. **2003**. Летний фитопланктон лагуны Пильтун (северо-восточный Сахалин). *Чтения памяти В.Я. Леванидова*. Владивосток: Дальнаука, вып. 2: 295–304.
22. *Научно-прикладной справочник по климату. Серия 3. Многолетние данные*. Вып. 34. *Сахалинская область*. **1990**. Л.: Гидрометеониздат, 351 с.
23. Никулина Т.Н. **2005**. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) юга острова Сахалин. В кн.: *Растительный и животный мир острова Сахалин (Материалы Междунар. Сахалинского проекта)*. Владивосток: Дальнаука, ч. 2: 8–21.
24. Полякова Е.И. **1979**. Диатомовые водоросли в современных осадках побережья Чукотского моря и их палеогеографическое значение. *Известия АН СССР. Сер. географическая*, (4): 90–94.
25. Похил А.Э. **2011**. Тайфуны Тихого океана – «живые» самоорганизующиеся, развивающиеся и взаимодействующие системы. *Энергия: экономика, техника, экология*, (11): 57–65.
26. Прушковская И.А. **2019**. Влияние тайфунов на содержание диатомей в осадках Амурского залива (Японское море) за последние 150 лет. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, 2: 111–119. doi.org/10.31431/1816-5524-2019-2-42-111-119
27. Пушкарь В.С., Черепанова М.В. **2001**. *Диатомеи плиоцена и антропогена Северной Пацифики (стратиграфия и палеоэкология)*. Владивосток: Дальнаука, 217 с.
28. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Копотева Т.А., Климин М.А., Паничев А.М., Кудрявцева Е.П., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю. **2019**. Летопись речных паводков в предгорьях Сихотэ-Алиня за последние 2,2 тысячи лет. *Известия РАН. Сер. географическая*, (2): 85–99. doi.org/10.31857/S2587-55662019285-99
29. Ситников И.Г., Похил А.Э., Тунеголовец В.П. **2001**. Тайфуны. В кн.: *Природные опасности России. Гидрометеорологические опасности*. Г.С. Голицын, А.А. Васильева (ред.). М.: КРУК, т. 5: 84–126.
30. *Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности: ГОСТ 11306-83*. **1995**. М.: Изд-во стандартов, 7 с.
31. Тунеголовец В.П. **1998**. *Тропические циклоны северо-западной части Тихого океана: структура, эволюция, прогноз интенсивности и перемещения статистическими методами*: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Владивосток, 50 с.
32. Тунеголовец В.П. **2009**. Интенсивность циклогенеза во второй половине XX столетия. *Труды ДВНИГМИ*, 151: 140–153.
33. Тунеголовец В.П. **2010**. Комплексный метод прогноза перемещения и интенсивности тайфунов. *Труды ДВНИГМИ*, (1): 189–202.
34. Харитонов В.Г. **2010**. *Конспект флоры диатомовых водорослей (Bacillariophyceae) Северного Охотоморья*. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 189 с.
35. Черепанова М.В. **1988**. Диатомовые водоросли как индикаторы условий осадконакопления в лагунах Дальнего Востока. В кн.: *Количественные параметры природной среды в плейстоцене*. Владивосток: ДВО АН СССР, 172–177.
36. Шешукова-Порецкая В.С. **1967**. *Неогеновые морские водоросли Сахалина и Камчатки*. Л.: Изд-во ЛГУ, 432 с.
37. Akiba F., Hiramatsu Ch., Tsoy I.B., Ogasawara K., Amano K. **2000**. Diatom biostratigraphy and geologic age of the Maruyama and Kurasi Formations, Southern Sakhalin, and their correlation to the Neogene of the Tenpoku Area, Hokkaido. *J. of Geography (Chigaku Zasshi)*, 109(2): 203–217. https://doi.org/10.5026/jgeography.109.2\_203
38. Blaauw M., Christen J.A. **2011**. Flexible paleoclimate age-depth models using an 601 autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*, 6(3): 457–474. doi.org/10.1214/11-ba618

39. Bond G., Kromer B., Beer J., Muscheler R., Evans M.N., Showers W., Hoffmann S., Lotti-Bond R., Hajdas I., Bonani G. **2001**. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science*, 294: 2130–2136. doi.org/10.1126/science.1065680
40. Bronk Ramsey C. **2017**. Methods for summarizing radiocarbon datasets. *Radiocarbon*, 59(2): 1809–1833. doi.org/10.1017/rdc.2017.108
41. Chen R., Shen J., Li C., Zhang E., Sun W., Ji M. **2015**. Mid- to Late-Holocene East Asian summer monsoon variability recorded in lacustrine sediments from Jingpo Lake, Northeastern China. *The Holocene*, 25: 454–468. doi.org/10.1177/0959683614561888
42. Elsner J.B., Liu K.B. **2003**. Examining the ENSO-typhoon hypothesis. *Climate Research*, 25: 43–54. doi.org/10.3354/cr025043
43. Grebennikova T.A. **2011**. Diatom flora of lakes, ponds and streams of Kuril Islands. In: *Diatoms: Ecology and Life Cycle*. New York: Nova Publ., 93–124.
44. Henderson-Sellers A., Zhang H., Berz G., Emanuel K., Gray W., Landsea C., Holland G., Light-hill J., Shieh S.L., Webster P., McGuffie K. **1998**. Tropical cyclones and global climate change: a post-IPCC assessment. *Bull. of the American Meteorological Society*, 79: 19–38. doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0019:tcagcc>2.0.co;2
45. Katsuki K., Yang D.Y., Seto K., Yasuhara M., Takata H., Otsuka M., Nakanishi T., Yoon Y., Um I.K., Cheung R.C.W., Khim B.K., Kashima K. **2016**. Factors controlling typhoons and storm rain on the Korean Peninsula during the Little Ice Age. *J. Paleolimnology*, 55: 35–48. doi.org/10.1007/s10933-015-9861-3
46. Kawahata H., Ohshima H., Shimada C., Oba T. **2003**. Terrestrial-oceanic environmental change in the southern Okhotsk Sea during the Holocene. *Quaternary International*, 108: 67–76. doi.org/10.1016/s1040-6182(02)00195-7
47. Krammer K. **1992**. *Pinnularia*, eine Monographie der europäischen Taxa. *Bibliotheca Diatomologica*, 26, 35 p.
48. Krammer K., Lange-Bertalot H. **1986**. *Bacillariophyceae*. 1. Teil: *Naviculaceae*. Jena: Gustav Fischer Verlag, 876 p. (In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. (eds) *Süßwasserflora von Mitteleuropa*; 2).
49. Krammer K., Lange-Bertalot H. **1991**. *Bacillariophyceae*. 3. Teil: *Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. Jena: Gustav Fischer Verlag, 576 p. (In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. (eds) *Süßwasserflora von Mitteleuropa*; 2).
50. Leipe C., Nakagawa T., Gotanda K., Müller S., Tarasov P. **2015**. Late Quaternary vegetation and climate dynamics at the northern limit of the East Asian summer monsoon and its regional and global-scale controls. *Quaternary Science Reviews*, 116: 57–17. doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.03.012
51. Li C., Wu Ya., Hou X. **2011**. Holocene vegetation and climate in Northeast China revealed from Jingbo Lake sediment. *Quaternary International*, 229: 67–73. doi.org/10.1016/j.quaint.2009.12.015
52. Lim J., Lee J.-Y., Hong S.S., Kim J.-Y., Yi S., Nahm W.-H. **2017**. Holocene change in flooding frequency in South Korea and their linkage to centennial-to-millennial-scale El Niño-Southern Oscillation activity. *Quaternary Research*, 87: 37–48. doi.org/10.1017/qua.2016.8
53. Liu K.B., Fearn M.L. **2000**. Reconstruction of prehistoric landfall frequencies of catastrophic hurricanes in Northwestern Florida from lake sediment records. *Quaternary Research*, 54: 238–245. doi.org/10.1006/qres.2000.2166
54. Liu K.B., Shen C., Louie K.S. **2001**. A 1,000 year history of typhoon landfalls in Guangdong, Southern China, reconstructed from Chinese historical documentary records. *Annals of the Association of American Geographers*, 91(3): 453–464. doi.org/10.1111/0004-5608.00253
55. Liu Y., Wang Q., Fu C. **2011**. Taxonomy and distribution of diatoms in the genus *Eunotia* from the Da'erbin Lake and Surrounding Bogs in the Great Xing'an Mountains, China. *Nova Hedwigia*, 92(1–2): 205–232. doi.org/10.1127/0029-5035/2011/0092-0205
56. Moy C.M., Seitzer G.O., Rodbell D.T., Anderson D.M. **2002**. Variability of El Niño/Southern oscillation activity at millennium timescales during the Holocene epoch. *Nature*, 420: 162–165. doi.org/10.1038/nature01194
57. Rein B., Sirocko F., Lückge A., Reinhardt L., Wolf A., Dullo W.-Ch. **2005**. El Niño variability off Peru during the last 20,000 years. *Paleoceanography*, 20: PA4003, 17 p. doi.org/10.1029/2004PA001099
58. Sakaguchi Y. **1983**. Warm and cold stages in the past 7600 years in Japan and their global correlation. *Bull. of the Department of Geography, Univ. of Tokyo*, 15: 1–31.
59. Stebich M., Rehfeld K., Schlütz F., Tarasov P.E., Liu J. **2015**. Holocene vegetation and climate dynamic of NE China based on the pollen record from Sihailongwan Maar Lake. *Quaternary Science Reviews*, 124: 275–289. doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.09.005

60. Tsoy I., Prushkovskaya I., Aksentov K., Astakhov A. **2015**. Environmental changes in the Amur Bay (Japan/East Sea) in the past 150 years on the basis of diatoms and silicoflagellates. *Ocean Science J.*, 50(2): 433–444. doi.org/10.1007/s12601-015-0039-8
61. Wang L., Lu H., Liu J., Gu Z., Mingram J., Chu G., Li J., Rioual P., Negendank J.F.W., Han J., Liu T. **2008**. Diatom-based inference of variation in the strength of Asian winter monsoon winds between 17,500 and 6000 calendar B.P. *J. Geophysical Research*, 113: D21101, 9 p. doi.org/10.1029/2008JD010145
62. Wanner H., Solomina O., Grosjean M., Ritz S.P., Jetel M. **2011**. Structure and origin of Holocene cold events. *Quaternary Science Reviews*, 30: 3109–3123. doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.013
63. 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. *Quaternary Science Reviews*, 29: 1774–1785. doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.02.005
64. Zhan R., Wang Y., Zhao J. **2017**. Intensified Mega-ENSO has increased the proportion of intense tropical cyclones over the Western North-West Pacific since the late 1970s. *Geophysical Research Letters*, 44: 11959–11966. doi.org/10.1002/2017GL075916
65. Zhou X., Liu Z., Yan Q., Zhang X., Yi L., Yang W., Xian R., He Y., Hu B., Liu Yi, Shen Y. **2019**. Enhanced tropical cyclones intensity in the Western North Pacific during warm period over the Last Two Millennia. *Geophysical Research Letters*, 46: 11959–11966. doi.org/10.1029/2019GL083504

### Об авторах

РАЗЖИГАЕВА Надежда Глебовна (ORCID 0000-0001-7936-1797), доктор географических наук, главный научный сотрудник, ГРЕБЕННИКОВА Татьяна Афанасьевна (ORCID 0000-0002-5805-391X), кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, ГАНЗЕЙ Лариса Анатольевна (ORCID 0000-0002-2538-6603), кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник – лаборатория палеогеографии и геоморфологии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН; ГОРБУНОВ Алексей Олегович (ORCID 0000-0002-5903-6660), кандидат географических наук, старший научный сотрудник – лаборатория береговых геосистем, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск; ПОНОМАРЕВ Владимир Иванович (ORCID0000-0002-0501-460X), кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник – лаборатория физической океанологии, Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН; КЛИМИН Михаил Анатольевич (ORCID 0000-0003-1329-5437), старший научный сотрудник – лаборатория экологии почв, Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск; АРСЛАНОВ Хикматулла Адиевич (ORCID 0000-0002-2302-8175), доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, МАКСИМОВ Федор Евгеньевич (ORCID 0000-0002-9429-3216), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, ПЕТРОВ Алексей Юрьевич (ORCID 0000-0002-7577-9114), инженер – научная лаборатория геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана, Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург.

### References

1. Akiba F., Hiramatsu Ch., Tsoy I.B., Ogasawara K., Amano K. **2000**. Diatom biostratigraphy and geologic age of the Maruyama and Kurasi Formations, Southern Sakhalin, and their correlation to the Neogene of the Tenpoku Area, Hokkaido. *J. of Geography (Chigaku Zasshi)*, 109(2): 203–217. [https://doi.org/10.5026/jgeography.109.2\\_203](https://doi.org/10.5026/jgeography.109.2_203)
2. Astakhov A.S., Aksentov K.I., Dar'in A.V., Kalugin I.A. **2019**. Reconstructing the Frequency of Catastrophic Floods on the Western Coast of the Sea of Japan Based on Sedimentary Proxy. *Russian Meteorology and Hydrology*, 44(1): 62–70. <https://doi.org/10.3103/s1068373919010072>
3. Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. **2006**. *Bioraznoobrazie vodoroslei-indikatorov okruzhaiushchei sredy [Biodiversity of algae – the environment indicators]*. Tel'-Aviv: Pilies Studio, 498 p.
4. Bazarova V.B., Klimin M.A., Kopoteva T.A. **2018**. Holocene dynamics of the East-Asian monsoon in the Lower Amur area. *Geography and Natural Resources*, 39(3): 239–247. <https://doi.org/10.1134/s1875372818030071>
5. Blaauw M., Christen J.A. **2011**. Flexible paleoclimate age-depth models using an 601 autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*, 6(3): 457–474. doi.org/10.1214/11-ba618
6. Bond G., Kromer B., Beer J., Muscheler R., Evans M.N., Showers W., Hoffmann S., Lotti-Bond R., Hajdas I., Bonani G. **2001**. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science*, 294: 2130–2136. doi.org/10.1126/science.1065680

7. Bronk Ramsey C. **2017**. Methods for summarizing radiocarbon datasets. *Radiocarbon*, 59(2): 1809–1833. doi.org/10.1017/rdc.2017.108
8. Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Y.A., Serykh I.V., Ponomarev V.I., Tsurikova T.V. **2014**. The influence of global atmospheric oscillation on formation of climate anomalies in the Russian Far East. *Doklady Earth Sciences*, 458(1): 1116–1120. https://doi.org/10.1134/s1028334x14090025
9. Chen R., Shen J., Li C., Zhang E., Sun W., Ji M. **2015**. Mid- to Late-Holocene East Asian summer monsoon variability recorded in lacustrine sediments from Jingpo Lake, Northeastern China. *The Holocene*, 25: 454–468. doi.org/10.1177/0959683614561888
10. Cherepanova M.V. **1988**. [The Diatoms as indicators of conditions of sediments accumulation in Far East lagoons]. In: *Kolichestvennyye parametry prirodnoi sredy v pleistotsene [Quantitative parameters of natural environment in the Pleistocene]*. Vladivostok: DVO AN SSSR, 172–177.
11. Davydova I.N. **1985**. *Diatomovye vodorosli – indikatory prirodnykh uslovii vodoemov v golotsene [Diatoms – the indicators of basins natural conditions in Holocene]*. Leningrad: Nauka Publ., 244 p.
12. *Diatomovyi analiz [Diatom analysis]*. Book 3. **1950**. Leningrad: Gosgeolitizdat, 632 p.
13. Elsner J.B., Liu K.B. **2003**. Examining the ENSO-typhoon hypothesis. *Climate Research*, 25: 43–54. doi.org/10.3354/cr025043
14. Gartsman B.I., Mezentseva L.I., Menovshchikova T.S., Popova N.Y., Sokolov O.V. **2014**. Conditions of generation of extremely high water content of Primorye rivers in autumn-winter 2012. *Russian Meteorology and Hydrology*, 39(4): 260–270. https://doi.org/10.3103/s1068373914040074
15. Gensiorovskii Iu.V. **2011**. *Ekzogennye geologicheskie protsessy i ikh vliianie na territorial'noe planirovanie gorodov (na primere o. Sakhalin) [Exogenous geological processes and their influence on territorial planning of cities (by the example of Sakhalin Island)]*: [dissertation abstract of the Candidate of geological and mineralogical sciences]. Irkutsk: IZK SO RAN, 23 p.
16. Gensiorovskii Iu.V., Kazakov N.A. **2015**. [The conditions of extreme floods formation in the river basins of low mountain relief (by the example of Sakhalin Island)]. In: *Geodinamicheskie protsessy i prirodnye katastrofy. Opyt Neftegorsk: materialy. Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem [Geodynamics processes and natural disasters. Neftegorsk experience: materials of the All-Russian conference with international participation]*. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGiG DVO RAN, vol. 2: 302–305.
17. Grebennikova T.A. **2009**. [The Bacillariophyta flora of diverse basins of the Central and Northern Kurils]. *Botanicheskii zhurnal [Botanical Journal]*, 94(4): 526–537.
18. Grebennikova T.A. **2011**. Diatom flora of lakes, ponds and streams of Kuril Islands. In: *Diatoms: Ecology and Life Cycle*. New York: Nova Publ., 93–124.
19. Gvozdeva I.G., Mikishin Iu.A. **2008**. [Stratigraphy and paleogeography of Holocene of south-western Sakhalin]. *Estestvennyye i tekhnicheskie nauki [Natural and technical sciences]*, 3: 177–183.
20. Henderson-Sellers A., Zhang H., Berz G., Emanuel K., Gray W., Landsea C., Holland G., Lighthill J., Shieh S.L., Webster P., McGuffie K. **1998**. Tropical cyclones and global climate change: a post-IPCC assessment. *Bull. of the American Meteorological Society*, 79: 19–38. doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0019:tcagcc>2.0.co;2
21. Katsuki K., Yang D.Y., Seto K., Yasuhara M., Takata H., Otsuka M., Nakanishi T., Yoon Y., Um I.K., Cheung R.C.W., Khim B.K., Kashima K. **2016**. Factors controlling typhoons and storm rain on the Korean Peninsula during the Little Ice Age. *J. Paleolimnology*, 55: 35–48. doi.org/10.1007/s10933-015-9861-3
22. Kawahata H., Ohshima H., Shimada C., Oba T. **2003**. Terrestrial-oceanic environmental change in the southern Okhotsk Sea during the Holocene. *Quaternary International*, 108: 67–76. doi.org/10.1016/s1040-6182(02)00195-7
23. Kazakov N.A., Gensiorovskii Iu.V. **2007**. Vliianie vertikal'nogo gradienta osadkov na kharakteristiki gidrologicheskikh, lavinnykh i selevykh protsessov v nizkogor'e [Influence of vertical gradient of sediments on the characteristics of hydrogeological, avalanche and mudflow processes in low-mountain]. *Geoekologiya. Inzhenernaia geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya [Geoecology. Engineering ecology. Geocriology]*, (4): 342–347.
24. Kharitonov V.G. **2010**. *Konspekt flory diatomovykh vodoroslei (Bacillariophyceae) Severnogo Okhotomor'ia [Summary of the diatom flora (Bacillariophyceae) of the Northern coast of the Okhotsk Sea]*. Magadan: SVNTs DVO RAN [NESC FEB RAS], 189 p.
25. Kondakova L.V., Pirogova O.S. **2014**. [Soil algae and cyanobacteria of the “Nurgush” national nature reserve]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya [Theoretical and applied ecology]*, (3): 94–101.
26. Korotkii A.M., Pushkar' V.S., Grebennikova T.A., Razzhigaeva N.G., Karaulova L.P., Mokhova L.M., Ganzei L.A., Cherepanova M.V., Bazarova V.B., Volkov V.G., Kovaliukh N.N. **1997**. *Morskie terrasy i chetvertichnaia istoriia shel'fa Sakhalina [The marine terraces and history of quaternary shelf of Sakhalin]*. Vladivostok: Dal'nauka, 194 p.

27. Krammer K. **1992**. *Pinnularia*, eine Monographie der europäischen Taxa. *Bibliotheca Diatomologica*, 26, 35 p.
28. Krammer K., Lange-Bertalot H. **1986**. *Bacillariophyceae*. 1. Teil: *Naviculaceae*. Jena: Gustav Fischer Verlag, 876 p. (In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. (eds) Süßwasserflora von Mitteleuropa; 2).
29. Krammer K., Lange-Bertalot H. **1991**. *Bacillariophyceae*. 3. Teil: *Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. Jena: Gustav Fischer Verlag, 576 p. (In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. (eds) Süßwasserflora von Mitteleuropa; 2).
30. Leipe C., Nakagawa T., Gotanda K., Müller S., Tarasov P. **2015**. Late Quaternary vegetation and climate dynamics at the northern limit of the East Asian summer monsoon and its regional and global-scale controls. *Quaternary Science Reviews*, 116: 57–17. doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.03.012
31. Li C., Wu Ya., Hou X. **2011**. Holocene vegetation and climate in Northeast China revealed from Jingbo Lake sediment. *Quaternary International*, 229: 67–73. doi.org/10.1016/j.quaint.2009.12.015
32. Lim J., Lee J.-Y., Hong S.S., Kim J.-Y., Yi S., Nahm W.-H. **2017**. Holocene change in flooding frequency in South Korea and their linkage to centennial-to-millennial-scale El Nino-Southern Oscillation activity. *Quaternary Research*, 87: 37–48. doi.org/10.1017/qua.2016.8
33. Liu K.B., Fearn M.L. **2000**. Reconstruction of prehistoric landfall frequencies of catastrophic hurricanes in Northwestern Florida from lake sediment records. *Quaternary Research*, 54: 238–245. doi.org/10.1006/qres.2000.2166
34. Liu K.B., Shen C., Louie K.S. **2001**. A 1,000 year history of typhoon landfalls in Guangdong, Southern China, reconstructed from Chinese historical documentary records. *Annals of the Association of American Geographers*, 91(3): 453–464. doi.org/10.1111/0004-5608.00253
35. Liu Y., Wang Q., Fu C. **2011**. Taxonomy and distribution of diatoms in the genus *Eunotia* from the Da'erbin Lake and Surrounding Bogs in the Great Xing'an Mountains, China. *Nova Hedwigia*, 92(1–2): 205–232. doi.org/10.1127/0029-5035/2011/0092-0205
36. Lobanov V.B., Danchenkov M.A., Luchin E.V., Mezentseva L.I., Ponomarev V.I., Sokolov O.V., Trusenkova O.O., Ustinova E.I., Ushakova R.N., Khen G.V. **2014**. Dal'nevostochnye moria Rossii. In: *Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniiakh klimata i ikh posledstviakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* [Far-Eastern seas of Russia. Second evaluation report of the Roshydromet on the climate changes and their consequences on the Russian Federation territory]. Moscow: Rosgidromet, chapter 5.4: 684–743.
37. Mikishin Iu.A., Gvozdeva I.G. **1996**. *Razvitie prirody iugo-vostochnoi chasti ostrova Sakhalin v golotsene* [Nature evolution of Sakhalin Island south-eastern part in Holocene]. Vladivostok: DVGU Publ., 130 p.
38. Mikishin Iu.A., Gvozdeva I.G. **2016**. [Late subatlantic of South Sakhalin]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia = Advances in Current Natural Sciences*, (9): 137–142.
39. Mikishin Iu.A., Gvozdeva I.G. **2017**. [Early subboreal of Sakhalin]. *Vestnik SVKNII DVO RAN = Bulletin of the North-East Scientific Center of FEB RAS*, (4): 25–38.
40. Mikishin Iu.A., Gvozdeva I.G. **2018**. [Cooling traces on the south of Sakhalin in the late Glacial and Atlantic period of Holocene]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia = Advances in Current Natural Sciences*, (3): 107–116.
41. Mogil'nikova T.A., Motyl'kova I.V. **2003**. [Summer phytoplankton of the Piltun lagoon (northern-east Sakhalin)]. In: *Chteniia pamiati V.Ia. Levanidova* [Readings dedicated to the memory of V.Ia. Levanidov]. Vladivostok: Dal'nauka, iss. 2: 295–304.
42. Moy C.M., Seitzer G.O., Rodbell D.T., Anderson D.M. **2002**. Variability of El Nino/Southern oscillation activity at millennium timescales during the Holocene epoch. *Nature*, 420: 162–165. doi.org/10.1038/nature01194
43. *Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu*. Seriya 3. *Mnogoletnie dannye*. Iss. 34. *Sakhalinskaia oblast'* [Scientific and applied reference book on the climate. Series 3. Long-term data. Iss. 34. Sakhalin Region]. **1990**. Leningrad: Gidrometeoizdat, 351 p.
44. Nikulina T.N. **2005**. [Diatoms (*Bacillariophyta*) of the south Sakhalin Island]. In: *Rastitel'nyi i zhivotnyi mir ostrova Sakhalin (Materialy Mezhdunar. Sakhalinskogo proekta)* [Flora and fauna of Sakhalin Island (The materials of International Sakhalin project)]. Vladivostok: Dal'nauka, part 2: 8–21.
45. Pokhil A.E. **2011**. Taifuny Tikhogo okeana – “zhivye” samoorganizuiushchiesia, razvivaiushchiesia i vzaimodeistvuiushchie sistemy [The Pacific Ocean typhoons – “alive” self-organizing, evolutive and interacting systems]. *Energiia: ekonomika, tekhnika, ekologiya* [Energy: economics, technics, ecology], (11): 57–65.
46. Poliakova E.I. **1979**. [The diatoms in recent sediments of the Chuckchi Sea coast and their paleogeographic meaning]. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya = Bulletin of the Russian academy of Science: Geographical Series*, (4): 90–94.

47. Prushkovskaia I.A. **2019**. [Typhoons influence on content of diatoms in the Amur bay (Japan Sea) sediments for the last 100 years]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle = Bull. of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences*, 2: 111–119. doi.org/10.31431/1816-5524-2019-2-42-111-119
48. Pushkar' V.S., Cherepanova M.V. **2001**. [*The diatoms of Pliocene and Anthropogen of the North Pacific (stratigraphy and paleoecology)*]. Vladivostok: Dal'nauka, 217 p.
49. Razzhigaeva N.G., Ganzei L.A., Grebennikova T.A., Kopoteva T.A., Klimin M.A., Panichev A.M., Kudriavtseva E.P., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Petrov A.Iu. **2019**. [Chronicle of river floods in the foothills of the Sikhote-Alin for the last 2.2 thousands years]. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya = Bulletin of the Russian academy of Science: Geographical Series*, (2): 85–99. doi.org/10.31857/S2587-55662019285-99
50. Rein B., Sirocko F., Lückge A., Reinhardt L., Wolf A., Dullo W.-Ch. **2005**. El Niño variability off Peru during the last 20,000 years. *Paleoceanography*, 20: PA4003, 17 p. doi.org/10.1029/2004PA001099
51. Sakaguchi Y. **1983**. Warm and cold stages in the past 7600 years in Japan and their global correlation. *Bull. of the Department of Geography, Univ. of Tokyo*, 15: 1–31.
52. Sheshukova-Poretskaia V.S. **1967**. *Neogenoye morskoe vodorosli Sakhalina i Kamchatki [Neogene seaweed of Sakhalin and Kamchatka]*. Leningrad: Izd-vo LGU [Leningrad State University press], 432 p.
53. Sheshukova-Poretskaia V.S. (ed.) **1974**. *Diatomovye vodorosli SSSR. Iskopaemye i sovremennyye [The Diatoms of the USSR. Fossil and recent]*. Vol. 1. Leningrad: Nauka Publ., 400 p.
54. Sitnikov I.G., Pokhil A.E., Tunegolovets V.P. **2001**. [Typhoons]. In: *Prirodnye opasnosti Rossii. Gidrometeorologicheskie opasnosti [Nature hazards of Russia. Hydrometeorological hazards]*. Moscow: KRUK, vol. 5: 84–126.
55. Stebich M., Rehfeld K., Schlütz F., Tarasov P.E., Liu J. **2015**. Holocene vegetation and climate dynamic of NE China based on the pollen record from Sihailongwan Maar Lake. *Quaternary Science Reviews*, 124: 275–289. doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.09.005
56. *Torfi produkty ego pererabotki. Metody opredeleniia zol'nosti [Peat and the products of its treatment. Test methods of ash content]*: GOST 11306-83. **1995**. Moscow: Izd-vo standartov [Moscow: Standards Publ. House], 7 p.
57. Tsoy I., Prushkovskaya I., Aksentov K., Astakhov A. **2015**. Environmental changes in the Amur Bay (Japan/East Sea) in the past 150 years on the basis of diatoms and silicoflagellates. *Ocean Science J.*, 50(2): 433–444. doi.org/10.1007/s12601-015-0039-8
58. Tunegolovets V.P. **1998**. *Tropicheskie tsyklony severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana: struktura, evoliutsiia, prognoz intensivnosti i peremeshcheniia statisticheskimi metodami [Tropical cyclones of the northwest Part of the Pacific Ocean: structure, evolution, prediction of intensity and shift with the statistical methods]*: [dissertation abstract of Doctor of geographical sciences]. Vladivostok, 50 p.
59. Tunegolovets V.P. **2009**. [Cyclogenesis intensity in the second half of the XX century]. *Trudy DVNIGMI [Proceedings of the Far Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute (FERHRI)]*, 151: 140–153.
60. Tunegolovets V.P. **2010**. [Complex method of the typhoons shift and intensity prediction]. *Trudy DVNIGMI*, (1): 189–202
61. Wang L., Lu H., Liu J., Gu Z., Mingram J., Chu G., Li J., Rioual P., Negendank J.F.W., Han J., Liu T. **2008**. Diatom-based inference of variation in the strength of Asian winter monsoon winds between 17,500 and 6000 calendar B.P. *J. Geophysical Research*, 113: D21101, 9 p. doi.org/10.1029/2008JD010145
62. Wanner H., Solomina O., Grosjean M., Ritz S.P., Jetel M. **2011**. Structure and origin of Holocene cold events. *Quaternary Science Reviews*, 30: 3109–3123. doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.013
63. 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. *Quaternary Science Reviews*, 29: 1774–1785. doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.02.005
64. Zhan R., Wang Y., Zhao J. **2017**. Intensified Mega-ENSO has increased the proportion of intense tropical cyclones over the Western North-West Pacific since the late 1970s. *Geophysical Research Letters*, 44: 11959–11966. doi.org/10.1002/2017GL075916
65. Zhou X., Liu Z., Yan Q., Zhang X., Yi L., Yang W., Xian R., He Y., Hu B., Liu Yi, Shen Y. **2019**. Enhanced tropical cyclones intensity in the Western North Pacific during warm period over the Last Two Millennia. *Geophysical Research Letters*, 46: 11959–11966. doi.org/10.1029/2019GL083504