

ПОДХОДЫ К РЕКОНСТРУКЦИИ АНОМАЛИЙ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В ГОЛОЦЕНЕ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНЫХ И ЦЕНТРАЛЬНЫХ КУРИЛ)

Н.Г. Разжигаева¹, Л.А. Ганзей¹, В.И. Пономарев², Л.М. Мохова¹, Т.А. Гребенникова¹

¹ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

²ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

Аннотация. Для восстановления аномалий атмосферной циркуляции в районе Курильских о-вов в голоцене предложено использовать данные по распределению в разрезах озерно-болотных отложений и почвенно-пирокластических чехлов аллохтонных биофоссилий (пыльца и морские диатомей), которые входили в состав биоаэрозолей. Показано, что количество пыльцы далекого ветрового переноса увеличивалось при сдвигах климатического режима, сопровождавшихся усилением циклогенеза и штормовой активности. Для реконструкции интенсивности зимних циклонов с сильными снегопадами информативной является пыльца кедрового стланика. Треки зимних циклонов связаны с интенсивностью и положением Алеутского минимума, а также зависели от действия Сибирского антициклона.

Ключевые слова: биоаэрозоли, аллохтонная пыльца, морские диатомеи, высокоразрешающие реконструкции, циклогенез, Алеутский минимум

APPROACHES TO RECONSTRUCTION OF ATMOSPHERIC CIRCULATION ANOMALIES IN THE HOLOCENE (NORTHERN AND CENTRAL KURILS)

N.G. Razjigaeva¹, L.A. Ganzey¹, V.I. Ponomarev², L.M. Mokhova¹, T.A. Grebennikova¹

¹Pacific Geographical Institute FEB RAS, 7, Radio St., Vladivostok, 690041, Russia

²V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

e-mail: nadyar@tigdvo.ru

Abstract. We propose to use data on the distribution of allochthonous biofossils (pollen and marine diatoms) in the lacustrine-swamp sequences and soil-pyroclastic sections to restore atmospheric circulation anomalies in the Kuril Islands region in the Holocene. These taxa were components of wind-blown bioaerosols. It was shown that the amount of far-transported pollen increased during shifts in the climate regime, accompanied by increased cyclogenesis and storm activity. Dwarf pine pollen (*Pinus pumila*) is informative to reconstruct the intensity of winter cyclones with heavy snowfalls. The tracks of winter cyclones were connected with the intensity and position of the Aleutian Low, and also depended on the action of the Siberian High.

Key worlds: bioaerosols, allochthonous pollen, marine diatoms, high resolution reconstructions, cyclogenesis, Aleutian Low

Введение. При климатических сдвигах в голоцене менялись интенсивность и положение мод центров действия атмосферы, контролирующих атмосферную циркуляцию, соотношение широтного или меридионального перемещения воздушных масс [5, 10 и др.]. Северо-Восток Азии находится под воздействием Сибирского антициклона, Алеутского минимума и Тихоокеанского максимума, летом над материком возникает Дальневосточная депрессия, а над Охотским морем стоит антициклон. Взаимодействие этих барических центров во многом определяет аномалии циркуляции атмосферы в регионе. Большую роль играет тропический и внетропический циклогенез, влияющий на ветровой режим и распределение осадков. Особенно большое влияние циклоническая деятельность оказывает

на климат Курильских островов. Значительное влияние на климатические изменения в переходной зоне в голоцене играли процессы, происходящие в системе «материк-океан-атмосфера». Динамика климата региона в синоптическом масштабе активно изучается [3 и др.], но оценить состояние климатической системы и способность к изменчивости в палеомасштабе можно только на основе палеогеографических данных. Для восстановления аномалий атмосферной циркуляции в голоцене нами было предложено использовать данные по биоаэрозолям, основанные на анализе распределения в разрезах аллохтонных биофоссилий [12]. В бореальной зоне биологические частицы составляют до 60% аэрозольного материала [6]. В вегетационный период основная масса частиц состоит из пыльцы, которая переносится на большие расстояния. При сильном волнении на море в аэрозоли попадают морские микроорганизмы, в том числе диатомеи. Из компонентов аэрозолей ближнего разноса для реконструкции интенсивности зимних циклонов информативной является пыльца кедрового стланика, для развития которого необходим мощный снежный покров [4, 8]. Для восстановления обильных снегопадов используется сочетание пыльцы *Pinus pumila* и спор *Selaginella selaginoides* [9].

Цель работы выделить периоды активизации циклогенеза в голоцене на основе распределения аллохтонных биофоссилий в разрезах озерно-болотных отложений Северных и Центральных Курил. Курильская островная дуга имеет протяженность 1250 км, вытянута в субмеридиональном направлении и является хорошим объектом для реконструкции аномалий атмосферной циркуляции, здесь проще выделить таксоны, которые перенесены воздушным путем на большие расстояния. В основу реконструкций положены данные по 21 разрезу торфяников и почвенно-пирокластических чехлов. На основе радиоуглеродного датирования и тефростратиграфии построены возрастные модели в программе Bacon 4.2.2 (<https://cran.r-project.org/web/packages/rbacon/rbacon.pdf>).

Результаты и обсуждение. *Пыльцевые аэрозоли дальнего переноса.* На Северных и Центральных Курилах из аллохтонных таксонов в палиноспектрах обнаружена пыльца, темнохвойных пород и широколиственных, ареалы которых расположены намного южнее. Пыльца дуба, ильма, ясеня, ореха и липы могла переноситься с Южных Курил за 1000 км, хотя ясень, орех и липа на о. Кунашир встречаются редко [1] и, скорее всего, источником были Японские о-ва, с которых переносилась также пыльца бука, лещины и граба (за 1400 км). В раннем голоцене пыльца широколиственных могла быть принесена только с Японских о-вов, поскольку на юге Курил были распространены темнохвойные и березовые леса. Пыльца ели и пихты могла переноситься с о-вов Итуруп, Кунашир, Шикотан за 700–800 км. Перенос пыльцы древесных берез на северные острова мог идти и с Центральных Курил (о-ва Расшуа, Кетой, Симушир), расстояние до которых 250–350 км. Занос пыльцы с юга происходил с циклонами, траектории которых связаны с охотско-алеутским и широтно-алеутским типами атмосферной циркуляции, которые имеют высокую повторяемость в вегетационный период [2].

На о. Парамушир наиболее часто аллохтонная пыльца (*Quercus*, *Fagus*, *Juglans*, *Ulmus*) встречается в озерных отложениях, образованных после 5300 кал. л.н. [4]. На о. Онекотан из аллохтонных таксонов в палиноспектрах обнаружена пыльца древесных берез, пихты, ели, дуба, ильма, ореха. На севере острова состав аллохтонной пыльцы очень бедный. Чаше эти таксоны стали встречаться после 5500 л.н. и 4600–2800 л.н. В похолодание ~5400–4400 л.н. на о. Расшуа площади березовых лесов сократились, скорее всего перенос шел с Симушира и Урупа, где березовые леса были основной формацией. В центре и на юге о. Онекотан состав аллохтонной пыльцы более разнообразный. Пыльца широколиственных поступала ~6000–5600 л.н. (рис. 1) В это время на юге гряды расширялись площади широколиственных лесов, в которых обычными компонентами были дуб, ильм, орех [11]. Пыльца широколиственных также поступала 5300, 3300–2800 л.н., отдельные сигналы были ~2300, 1400, 600 л.н., темнохвойных – 2900 и 600 л.н. Пыльца древесных берез встречается более часто, наиболее

интенсивно занос шел 5350–5250, 4732–3800, 3200–2800, а также 2250–1700, 1000 л.н., когда каменноберезняки стали занимать большие площади на о-вах Расшуа, Кетой и Симушир.

Пыльцевая запись на о. Харимкотан охватывает 2600 лет. В торфе встречена пыльца пихты, ели, дуба и древесных берез. Пыльца темнохвойных поступала 2180–2000 л.н. и в малый ледниковый период, максимальное ее количество зафиксировано 230 л.н. Пыльца дуба найдена только в отложениях малого ледникового периода. В погребенных почвах о. Чиринкотан, образованных ~1600, 1200 л.н., обнаружена единичная пыльца ели, древесных берез и ореха, максимальное число пыльцевых зерен ели и древесных берез отмечено в почвах малого ледникового периода. На о. Экарма получена запись для последних 2800 лет с временным разрешением до 40 лет. Аллохтонной является пыльца пихты, ели, древесной березы, ильма, ореха. Занос пыльцы темнохвойных увеличился в последние 1700 лет. Пыльца широколиственных активно поступала около 2600–2200 л.н., большой занос отмечен около 1300 л.н. и при переходе малого оптимума к малому ледниковому периоду.

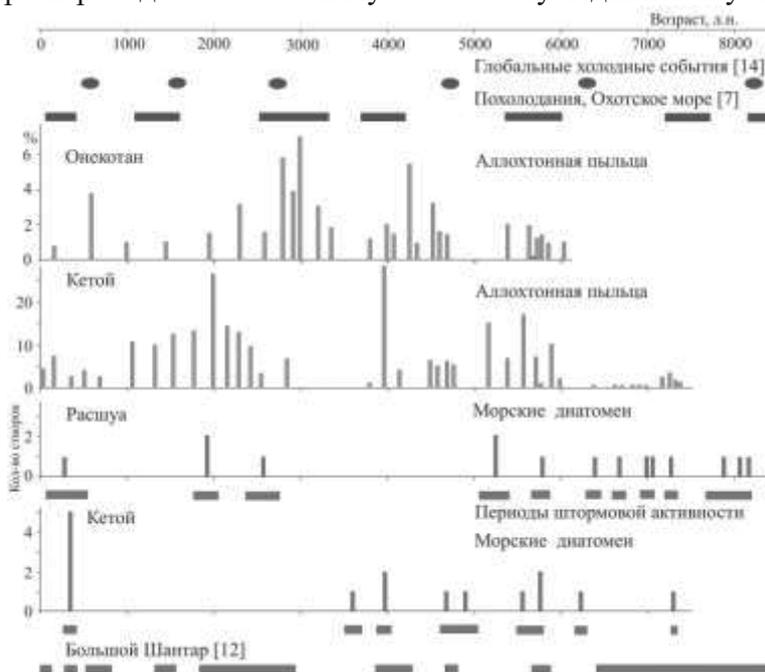


Рис. 1. Распределение аллохтонных биофоссилий (пыльцы и морских диатомей) в разрезах торфяников Северных и Центральных Курил, периоды штормовой активности и сравнение с проявлением похолоданий в Охотском море и глобальных холодных событий.

В разрезе торфяника на юге о. Шиащкотан количество и разнообразие аллохтонной пыльцы заметно увеличилось, особенно после 4700 л.н. Пыльца темнохвойных активно поступала 4270–4100 л.н., наибольшее ее количество зафиксировано ~2750–2400 л.н., в холодное событие [14], эпизодически встречалась в короткопериодные похолодания позднего голоцена и в малый ледниковый период. Из широколиственных пород компонентами биоаэрозолей были пыльца дуба и ильма, но есть и пыльца более далекого разноса, в том числе растений, редко встречающихся на юге гряды (липа, ясень) или не растущих на Курилах (бук, лещина). Пыльца бука и лещины поступала в конце среднего голоцена. Количество пыльцы широколиственных увеличилось после 3500 л.н. Пыльца дальнего разноса поступала около 4200–4100 л.н., 3600–3000, ~1900 и особенно часто 600–200 л.н. В биоаэрозолях конца малого ледникового периода (200 л.н.) присутствовала пыльца аравии, ближайшее местообитание которой находится на о. Уруп в 400–450 км [1]. Занос пыльцы древесных берез начался около 4700 л.н., и более активно шел с 4260 л.н. В конце

среднего–начале позднего голоцена каменная береза на о. Расшуа была более распространена, чем в настоящее время.

На о. Матуа в разрезе торфяника, образованного около 2550 л.н., встречена пыльца пихты, ели, древесной березы, дуба, ореха, и кедрового стланика, который не рос в это время на острове из-за высокой вулканической активности. Максимальное количество пыльцы темнохвойных поступало около 2500 л.н., регулярно стала встречаться в период 1900–1080 л.н. и в малый ледниковый период (550–300 л.н.). Пыльца широколиственных и берез заносилась в похолодания позднего голоцена (2500, 1450), при переходе от малого оптимума к малому ледниковому периоду, более активно в малый ледниковый период (450–300 л.н.), далекий перенос пыльцы (*Juglans*, *Quercus*) был в малый оптимум голоцена. В погребенных почвах количество пыльцы древесных больше, и она более разнообразна. Пыльца темнохвойных и древесных берез встречена в палеопочвах раннего дриаса, количество ее увеличивается в почве аллереда. Пыльца широколиственных стала заноситься со среднего голоцена, начиная с климатической перестройки около 8300–8000 л.н. Обнаружена пыльца *Picea*, *Abies*, *Betula*, *Juglans*, *Corylus*. В почве, образованной в начале среднего голоцена увеличивается количество пыльцы древесных берез и пыльцы с южных островов (*Corylus*, *Ulmus*, *Juglans*, *Picea*, *Abies*). В почвах, образованных в конце атлантика появляется пыльца *Carpinus*. Наиболее активный вынос биоаэрозолей отмечен в похолодание около 5300 л.н. Активизация поступления аллохтонной пыльцы была и в оптимум позднего голоцена. Пыльца далекого разноса (*Corylus Juglans*, *Ulmus*, *Tilia*, *Abies*) спорадически отмечена с 2600 л.н. Разнообразная аллохтонная пыльца встречена в почве малого ледникового периода, особенно увеличилось количество пыльцы древесных берез.

В разрезе отложений палеоозера в древней кальдере о. Расшуа найдена аллохтонная пыльца пихты, ели, дуба, ильма, ореха, липы, лещины, бука, бересклета. Пыльца далекого разноса (до 6.8%) обнаружена в отложениях, которые накапливались до 7700 л.н. В оптимум голоцена зафиксирован занос пыльцы темнохвойных пород и бересклета. Активный привнос пыльцы широколиственных был ~6400 л.н., что совпадает с глобальным холодным событием [14]. Активизация заноса пыльцы отмечена 5300–4600 л.н., в основном поступала пыльца темнохвойных. Пыльца далекого разноса (*Juglans*) зафиксирована ~4000 л.н., что близко к сдвигу климата в регионе в сторону более прохладных условий. Пыльца лещины занесена с Японских о-вов около 2600–2500 л.н., что близко по возрасту к холодному событию [14]. Занос пыльцы темнохвойных и дуба происходил около 2100–2000 л.н. Большое количество аллохтонной пыльцы поступало в похолодание (~1450 л.н.), в малый оптимум и малый ледниковый период. На о. Рыпонкича с тундровыми и луговыми ландшафтами в палиносpectрах единично встречена пыльца пихты, ели, дуба, ильма, липы, ореха. Максимальное количество пыльцы далекого разноса найдено в отложениях, которые накапливались в условиях прогрессирующего похолодания (~3600–3400 л.н.). Активный занос пыльцы темнохвойных был при переходе от малого оптимума к малому ледниковому периоду.

В разрезе торфяника на юге о. Кетой аллохтонная пыльца распределена неравномерно. Пыльца темнохвойных и дуба поступала 7200–7400 л.н. В оптимум голоцена заносились единичные пыльцевые зерна пихты и ели. Активный занос пыльцы происходил в условиях тренда на похолодание 6000–5500 л.н., причем биоаэрозоли включали много пыльцы дальнего разноса (*Juglans*, *Fagus*, *Corylus*). Около 5300–5000 л.н. был большой занос пыльцы темнохвойных. Наряду с темнохвойными разнообразная пыльца широколиственных поступала 4600–4400 л.н., когда на юге гряды были распространены широколиственные леса [11]. Пыльца темнохвойных и дуба активно заносилась около 4200–4000 л.н. Постоянное поступление аллохтонной пыльцы отмечено с 2800 лет, включая таксоны далекого разноса (*Fagus*, *Corylus*). В биоаэрозолях малого оптимума голоцена, было много пыльцы липы,

ореха. Пыльца далекого разноса поступала в начале малого ледникового периода (580–400 л.н.).

На о. Симушир детальные данные для последней тысячи лет получены на основе изучения торфяника. Более активный привнос биоаэрозолей происходил конце малого оптимума (950–790 л.н.) и малом ледниковом периоде. В последние 200 лет количество аллохтонной пыльцы сократилось. В погребенных почвах также обнаружена аллохтонная пыльца (*Quercus*, *Ulmus*, *Juglans*, *Tilia*, *Picea*). На севере острова ее количество увеличивается в погребенной почве, перекрытой тефрой СКг (2 тыс. л.н.) и в почве малого оптимума голоцена. В центральной части острова пыльца *Picea* обнаружена в почве, сформированной на тефре СКг, пыльца *Picea*, *Ulmus* встречается в почвах конца малого оптимума, *Picea* – в почве малого ледникового периода. На юге острова пыльца широколиственных (*Quercus*, *Ulmus*, *Juglans*) найдена в почвах, залегающих выше тефры СКг, пыльца *Picea* обнаружена в почве малого ледникового периода.

Пыльцевые аэрозоли близкого переноса. Сравнение данных по разным островам показало, что большое влияние на развитие зарослей кедрового стланика оказывали вулканические извержения, что затушевывает климатический сигнал в пыльцевых летописях, особенно на маленьких островах (Чиринкотан, Экарма, Матуа). На о. Парамушир уменьшение содержания пыльцы кедрового стланика свидетельствует о снижении снежного покрова 6600–5300 л.н. [4]. На о. Онекотан максимальное количество пыльцы *Pinus* s/g *Haploxyton* обнаружено в разрезах торфяников на севере острова (рис. 2), удаленных от влк. Пик Креницына, активно извергавшегося в среднем-позднем голоцене. Появление спор *Selaginella selaginoides* зафиксировано с 2300 л.н. В центре и на юге острова заросли кедрового стланика стали занимать большие площади последние 2600 лет. Появление в обилии (до 67%) спор *Selaginella selaginoides* на Шестаковском перешейке отмечено с 1720 л.н. На о. Харимкотан сочетание высокого содержания пыльцы кедрового стланика (до 46%) и спор *Selaginella selaginoides* (до 99%) в отложениях, образованных до извержения влк. Севергина в 1933 г., свидетельствует о сильных снегопадах последнюю тысячу лет. На о. Экарма кедровый стланик был более распространен в период без крупных извержений (1740–1380 л.н.) и в конце малого ледникового периода. На о. Шиашкотан в последние 5500 лет условия были благоприятные для развития густых зарослей кедрового стланика. Минимумы содержания пыльцы отмечены после вулканических извержений. Самый мощный (9 см) слой грубой тефры образовался при извержении влк. Кунтоминтар ~2800 л.н. Пики содержания отмечены в период 4060–2430 л.н.

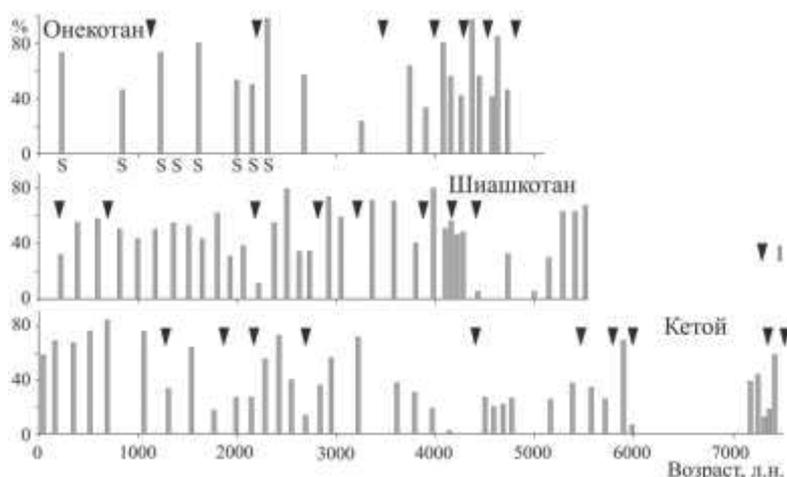


Рис. 2. Изменение содержания пыльцы кедрового стланика и присутствие спор *Selaginella selaginoides* (S) в разрезах торфяников Северных и Центральных Курил, как показателей интенсивности снегопадов. 1 – крупные вулканические извержения.

На о. Матуа, судя по обилию спор *Selaginella selaginoides* в торфянике, сильные снегопады были 890–650 л.н. На о. Расшуа кедровый стланик был распространен с 8200 л.н. Споры *Selaginella selaginoides* начали встречаться в отложениях, сформированных в последние 4400 лет, а в обилии – с 3600 лет. После выпадение тефры Us при кальдерообразующем извержении влк. Ушишир (1.9–1.8 тыс. л.н.) заросли кедрового стланика и плаунка стали угнетенными, а в малом оптимуме голоцена и начале малого ледникового периода условия стали опять благоприятными. Аналогичная ситуация была и на о. Кетой, где кедровый стланик был распространен в последние 7500 лет (рис. 2). Данные свидетельствуют, что обильные снегопады шли весь малый ледниковый период. На о. Симушир обилие пыльцы кедрового стланика и спор *Selaginella selaginoides* встречено в почвах, погребенных тефрой СКг, и малого ледникового периода. Обилие пыльцы кедрового стланика и спор *Selaginella selaginoides* обнаружено и в торфянике, сформированном в последнюю тысячу лет.

Сравнивая распределение пыльцы кедрового стланика во времени на различных островах, включая горную часть о. Итуруп, можно отметить неоднородность в пространстве. На плато (абс. выс. 400 м) в центральной части о. Итуруп заросли кедрового стланика резко сократились после 6000 л.н., в то время, как на Северных и Центральных Курилах условия были благоприятными для его развития. Можно предположить, что найденная пространственная неоднородность изменения пыльцы обусловлена отличиями аномалий зимних атмосферных осадков и приземной температуры воздуха на островах. Это связано с изменениями интенсивности циклогенеза и траекторий циклонов в западном районе умеренных широт Тихого океана. В зависимости от интенсивности, повторяемости и траекторий циклонов, приходящих зимой с юго-запада, юга или юго-востока значительные положительные аномалии температуры воздуха и сумм осадков наблюдались на южных или северных островах Курильской гряды, а также Камчатке [8], Алеутских островах [5] и Аляске [10]. Эти синоптические процессы, взаимосвязанные с повторяемостью типов крупномасштабной циркуляции атмосферы, обуславливали также аномалии положения и интенсивности Алеутского минимума. В оптимум голоцена с теплыми зимами атмосферная циркуляция в северной части Тихого океана, вероятно, была близкой к типу W1 (аномально теплых зим), а в позднем голоцене – к типу С1 (аномально холодных зим) по [13]. В первом случае усиливался зимний циклогенез в северо-западной части Тихого океана и циклоны проходили над грядой Курильских островов. Во втором случае усиливался Сибирский антициклон, восточная периферия которого захватывала субарктические районы Дальнего Востока России, вызывая усиление поступления холодного сухого воздуха с континента с северо-западным ветром, отрицательные аномалии зимней температуры воздуха и осадков. В позднем голоцене Алеутский минимум был слабым и, вероятно, распался на два центра [13]. Зимние циклоны оказывали большее влияние на Северные и Центральные Курилы.

Морские биоаэрозоли. В озерно-болотных отложениях древней кальдеры о. Расшуа (абс. выс. 100 м, 2 км от моря) найдены морские диатомеи. Можно предположить, что створки были занесены в виде аэрозолей во время сильных штормов. Экстремальные шторма происходили в начале среднего голоцена (до 7700 л.н.), на остров выносились фрагменты створок рода *Thalassiosira*, в том числе океанический северо-бореальный *T. eccentrica*. В период 7380–6970 л.н. створки морских диатомей поступали с мелководья, встречены сублиторальные бентосные *Cocconeis costata*, *C. scutellum*, а также найден фрагмент океанического *Coscinodiscus*. Близкая картина наблюдалась 6780–6340 л.н., в отложениях найдены *C. scutellum* и фрагмент *Thalassiosira* sp. и 5450–5100 л.н., встречены *Cocconeis costata* *Coscinodiscus* sp. В похолодание, начавшееся около 3000 л.н., также происходила эмиссия аэрозолей, в осадках обнаружена *Ellerbeckia sol*. Активный перенос морских аэрозолей с мелководья и открытого моря (*C. scutellum*, неритический *Thalassiosira gravida*) наблюдался ~2060–1810 л.н. и в малый ледниковый период (*C. scutellum* v. *parva*). При

изучении торфяника на плато о. Кетой (абс. выс. 60 м, 200 м от моря) также найдены морские диатомеи. Выделяется несколько периодов высокой штормовой активности. Первые два (7330–7280; 6300–6170 л.н.) совпадали с короткопериодными похолоданиями, хорошо проявленными в Охотском море [7]. находка *Cocconeis costata* указывает, что эмиссия биоаэрозолей происходила в зоне прибоя. В период сильных штормов 5790–5500 л.н. на остров выносились не только створки *C. costata*, но океанического северо-бореального *Neodenticula seminae*. Это начало регионального похолодания, которое было ярко проявлено в Охотском море [7]. Высокая штормовая активность в районе Центральных Курил отмечена 5050–4600 л.н., что совпадает с глобальным холодным событием, хорошо проявленным в Японии [14]. Свидетельством являются присутствие в торфянике створок неритического арктобореального *T. gravida* и солоноватоводного *Tabularia fasciculate*. Поступление морских биоаэрозолей происходило 4000–3500 л.н. В торфе этого возраста найдены *Cocconeis costata*, *Cocconeis* sp. Наиболее интенсивный вынос морских биоаэрозолей на остров происходил во второй половине малого ледникового периода (420–270 л.н.). Помимо *C. costata* в торфе присутствует *Thalassiosira eccentrica*. В целом, как и на Шантарских островах [12] наиболее интенсивные фазы штормовой активности в районе Центральных Курил связаны с перестройками атмосферной циркуляции при переходе от потеплений к похолоданиям.

Выводы. Установлено, что количество пылицы далекого ветрового переноса в разрезах озерно-болотных отложений и погребенных почв Северных и Центральных Курил увеличивалось при сдвигах климатического режима в голоцене. Предполагается, что, как и в современных условиях [3], климатические сдвиги в прошлом сопровождались усилением циклогенеза, штормовой активности и проявлением экстремальных событий. Вероятно, климатические перестройки при переходе от потеплений к похолоданиям были более контрастными на палеомасштабе.

1. На основе распределения пылицы кедрового стланика выделены периоды увеличения снежного покрова, связанного с интенсивностью зимнего циклогенеза. На траектории зимних циклонов, вызывающих снегопады в районе Курил, влияло, главным образом, положение и интенсивность Алеутского минимума.

2. Выделены периоды высокой штормовой активности, когда сушу поступали морские биоаэрозоли. Как правило, экстремальные шторма проходили в конце оптимальных фаз и при похолоданиях. Основная эмиссия биоаэрозолей происходила в прибрежной зоне.

Благодарность. Авторы очень признательны Н.И. Беляниной, выполнившей большой объем палинологических анализов. Работа проведена при финансовой поддержке Госзаданий ТИГ ДВО РАН 122020900184-5 и ТОИ ДВО РАН 122110700009-1. Экспедиции проводились в рамках проекта КВР (руководитель Б. Фицхью).

Литература

1. Баркалов В.Ю. Флора Курильских островов Владивосток: Дальнаука, 2009. 468 с.
2. Власова Г.А., Полякова А.М. Активная энергетическая зона океана и атмосферы северо-западной части Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2004. 146 с.
3. Пономарев В.И., Дмитриева Е.В., Шкорба С.П., Карнаухов А.А. Изменение планетарного климатического режима на рубеже XX-XXI веков // Вестник МГТУ. 2018. Т. 21. № 1. С. 160–169.
4. Anderson P., Minyuk P., Lozhkin A., Cherepanova M., Borkhodoev V., Finney B. A multiproxy record of Holocene environmental changes from the northern Kuril Islands (Russian Far East) // J Paleolimnol. 2015. V. 54. P. 379–393.
5. Bailey H.L., Kaufman D.S., Sloane H.J. et al. Holocene atmospheric circulation in the central North Pacific: A new terrestrial diatom and $d^{18}O$ dataset from the Aleutian Islands // Quaternary Science Reviews. 2018. V. 194. P. 27–38.

6. Fröhlich-Nowoisky J., Kampf C.J., Weber B. et al. Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions // *Atmospheric Research*. 2016. V. 182. P. 346–376.
7. Gorbarenko, S.A., Artemova, A.V., Goldberg, E.L., Vasilenko, Yu.P. The response of the Okhotsk Sea environment to the orbital-millennium global climate changes during the Last Glacial Maximum, deglaciation and Holocene // *Global and Planetary Changes*. 2014. V. 116. P. 76–90.
8. Hammarlund D., Klimaschewski A., Amour N.A.S. et al. Late Holocene expansion of Siberian dwarf pine (*Pinus pumila*) in Kamchatka in response to increased snow cover as inferred from lacustrine oxygen-isotope records // *Global and Planetary Change*. 2015. V. 134. P. 91–100.
9. Heusser C.J., Igarashi Y. Quaternary migration pattern of *Selaginella selaginoides* in the North Pacific // *Arctic and Alpine Research*. 1994. V. 26. P. 187–192.
10. Jones M.C., Wooller M., Peteet D.M. A deglacial and Holocene record of climate variability in south-central Alaska from stable oxygen isotopes and plant macrofossils in peat // *Quaternary Science Reviews*. 2014. V. 87. P. 1–11.
11. Korotky A.M., Razjigaeva N.G., Grebennikova T.A., Ganzey L.A., Mokhova L.M., Bazarova, V.B., Sulerzhitsky L.D., Lutaenko K.A. Middle and Late Holocene environments and vegetation history of Kunashir Island, Kurile Islands, northwestern Pacific // *Holocene*. 2000. V. 11. P. 311–331.
12. Razjigaeva N., Ganzey L., Grebennikova T., Mokhova L., Ponomarev V., Chakov V., Klimin M. Bioaerosols as evidence of atmospheric circulation anomalies over the Okhotsk Sea and Shantar Islands in the late Glacial–Holocene // *Climate*. 2022. V. 10. P. 24
13. Rodionov S.N., Bond N.A., Overland J.E. The Aleutian Low, storm tracks, and winter climate variability in the Bering Sea // *Deep-Sea Research*. 2007. V. II 54. P. 2560–2577.
14. Wanner H., Solomina O., Grosjean M., Ritz S.P., Jetel M. Structure and origin of Holocene cold events // *Quaternary Science Review*. 2011. V. 30. P. 3109–3123.