

**БИОИНДИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ АТМОСФЕРНЫХ АНОМАЛИЙ В РАЗРЕЗАХ
ТОРФЯНИКОВ НА ВОСТОЧНОМ МАКРОСКЛОНЕ СИХОТЭ-АЛИНЯ В ПОЗДНЕМ
ГОЛОЦЕНЕ**

*Н.Г. Разжигаева¹, Л.А. Ганзей¹, Т.А. Гребенникова¹, Т.А. Копотева², М.А. Климин²,
Х.А. Арсланов³, Ф.Е. Максимов³, А.Ю. Петров³, И.Ю. Чекрыжов⁴, Н.Ю. Попов⁴,
А.М. Паничев¹*

¹ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, ул. Радио 7, г. Владивосток, 690041; e-mail: nadyar@tigdvo.ru

²ФГБУН Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, ул. Дикопольцева 56, г. Хабаровск, 680000

³ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб. 7/9,
г. Санкт-Петербург, 199178

⁴ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр. 100 лет Владивостоку 159, 690022

Поступила в редакцию 5 апреля 2022 г.

Изучение стратиграфии торфяника в верховьях р. Милоградовка позволило восстановить изменение увлажнения в среднегорье Сихотэ-Алиня за последние 3400 лет. Высокоразрешающие реконструкции основаны на данных биостратиграфических анализов (ботанический и диатомовый), изучена также зольность торфа. Возраст событий определен с помощью радиоуглеродного датирования с использованием возрастной модели. В верхней части разреза обнаружена криптотефра В-Тм кальдерообразующего влк. Байтоушань, идентифицированная по химическому составу вулканического стекла. Предполагается, что заболачивание долины связано с образованием мелководного водоема в результате схода крупного оползня во время продолжительных ливней, сформировавшего плотину. Выделены биоиндикаторы изменения увлажнения речной долины и прохождения паводков. Проведена корреляция событий с данными, полученными для главного водораздела Сихотэ-Алиня, горных плато, озер на склонах древнего Солонцовского вулкана и побережья Восточного Приморья. Показано, что в разрезе долинного торфяника более детально фиксируются гидрологические изменения, связанные с характером циклогенеза. Выявлена связь палеособытий с аномалиями крупномасштабной атмосферной циркуляции. Длительные засушливые фазы происходили в похолодания, имевшие глобальный характер и сопровождавшиеся аридизацией в Восточной Азии, вызванной снижением интенсивности восточноазиатского летнего муссона. Показано, что в отдельные фазы даже при длительных сухих сезонах в летне-осеннее время происходили наводнения. Фазы обводнения были связаны с активизацией летнего муссона, а также более интенсивным циклогенезом. Наиболее сложная климатическая ритмика установлена для последних 1340 лет.

Ключевые слова: высокоразрешающие реконструкции, радиоуглеродное датирование, климатические изменения, восточноазиатский муссон, циклогенез, голоцен, Сихотэ-Алинь, юг Дальнего Востока России.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из факторов, влияющих на динамику озерно-болотных обстановок осадконакопления в голоцене, являлось изменение увлажнения. Особенно велико его значение в областях муссонной атмосферной циркуляции, в которых наблюдается неравномерное распределение атмосферных осадков по сезонам. В таких районах можно ставить и обратную задачу – по динамике увлажнения, восстановленной на основе

изменения биотических компонентов, выходить на реконструкцию особенностей циркуляции атмосферы в разные периоды. Такое направление является одним из приоритетных в палеогеографии и четвертичной геологии [4, 14, 19]. Юг Дальнего Востока, расположенный в переходной зоне «континент-океан», находится в области муссонного климата с ярко выраженной сезонностью синоптических процессов. Специфика атмосферной циркуляции здесь определяется

взаимодействием воздушных масс в системе «океан-атмосфера-континент» [20]. На изменение климатического режима сильно влияет смещение положения и интенсивность центров действия атмосферы: Сибирского антициклона, Алеутской депрессии в холодный сезон и северо-тихоокеанского (Гавайского) антициклона, дальневосточной и азиатской депрессии в теплый сезон [8]. Большое влияние на климат оказывает также циклоническая деятельность, связанная с межширотным обменом воздушными массами [28]. Состояние сезонных центров действия атмосферы и разнонаправленный перенос воздушных масс контролирует неравномерный характер увлажнения по сезонам. Основная масса атмосферных осадков (до 80 %) выпадает в августе-сентябре. Для этого сезона характерны тропические циклоны (ТЦ), зарождающиеся в западной тропической части Тихого океана [28]. Большое влияние на увлажнение оказывает и внетропический циклогенез [16]. Обильные осадки являются причиной речных паводков, особенно опасными являются метеорологические ситуации, когда события накладываются или близки по времени, что вызывает переувлажнение водосборов и высокий уровень в реках [7]. Зимы, как правило, малоснежные, с чем связан дефицит увлажнения в весенний сезон.

В Приморье изменение увлажнения в палеоаспекте изучалось на западном макросклоне Сихотэ-Алиня [24], в Приханкайской низменности [2] и Восточно-Маньчжурских горах [48]. На более крутом восточном макросклоне Сихотэ-Алиня трудно получить длительные палеоклиматические летописи. Палеогеографические реконструкции сделаны в основном для нижнего течения рек и морского побережья [12, 17, 46], а в горных районах – по малым озерам на горных плато и в пределах крупных оползней [23, 26, 48]. Уникальный разрез торфяника обнаружен в верхнем течении р. Милоградовка (в долине руч. Угольный) (рис. 1). Цель работы – на основе изучения стратиграфии торфяника восстановить изменение увлажнения в среднегорье Сихотэ-Алиня, определить хронологические границы климатических смен и на этой основе охарактеризовать особенности атмосферной циркуляции в позднем голоцене.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Район работ находится в пределах Ванчинской угленосной впадины, представляющей собой грабен, вытянутый вдоль Милоградовского разлома. Здесь на юрских и меловых породах залегает мощный чехол кайнозойских осадочно-вулканогенных отложений, включающий угленосные слои и многочисленные проявления цеолититов, золота, германия и редко-

земельных элементов [27, 30]; здесь также выходят несколько гидрокарбонатных и сульфатных минеральных источников [45]. Верховья бассейна р. Милоградовка берут начало около главного водораздела Сихотэ-Алиня, который отделяет их от бассейна р. Уссури. Водораздел имеет уплощенный рельеф, сильно заболочен, его образование связано с перехватом, когда в результате регрессивной эрозии в одно из похолоданий плейстоцена р. Милоградовка перехватила притоки р. Уссури [6, 13]. На водоразделе расположено урочище Мута с обширными марями (абс. высоты 550–620 м), динамика биотических компонентов которых во многом контролировалась изменением увлажнения в голоцене [47].

По данным метеостанции Лазо с учетом регионального вертикального градиента [15] в верховьях бассейна р. Милоградовки среднегодовая температура t составляет $+3.6$ °С, t янв. -19.1 °С, t авг. $+18.6$ °С, годовое количество осадков 750–760 мм/год. Район работ находится в поясе широколиственно-кедровых лесов.

Разрез торфяника обнаружен на левом борту руч. Угольного на высоте 445 м ($43^{\circ}31.749'$ с.ш., $134^{\circ}13.357'$ в.д.) в 3 км от слияния с р. Милоградовкой. Расстояние до берега Японского моря 42 км. На этом участке расположено небольшое кустарниково-травяное болото с лиственничником, подрезанное ручьем и обрамленное в тыловой части крутыми склонами. Разрез является естественным обнажением. В основании вскрыты галечники и голубовато-серый разнородный песок (мощность 0.5 м) с единичными включениями бурого угля. Мощность торфа – 2.05 м, в инт. 1.95–2.00 м залегает слой серого мелкозернистого заиленного песка, в инт. 1.07–1.08 м – слой светло-серого алевролита. Опробование проводилось с шагом 5 см. Рядом с обнажением расположен минеральный источник с аномально кислой водой [45].

Изучен ботанический состав торфа, при проведении анализа отмечалось наличие макрочастиц древесного угля, кладоцер и минеральной примеси. Зольность торфа и органо-минеральных отложений определена по стандартной методике. Диатомовый анализ выполнен по стандартной методике [10], диатомеи определялись в постоянных препаратах при увеличении $\times 1000$ под микроскопом «Axioskop». Определена концентрация створок диатомей в 1 грамме воздушно-сухого осадка. Для уточнения экологических характеристик диатомей использовались работы [3, 9, 29, 36–38].

Возраст образцов торфа определен по результатам радиоуглеродного датирования в Институте наук о Земле СПбГУ (г. Санкт-Петербург). Калибров-

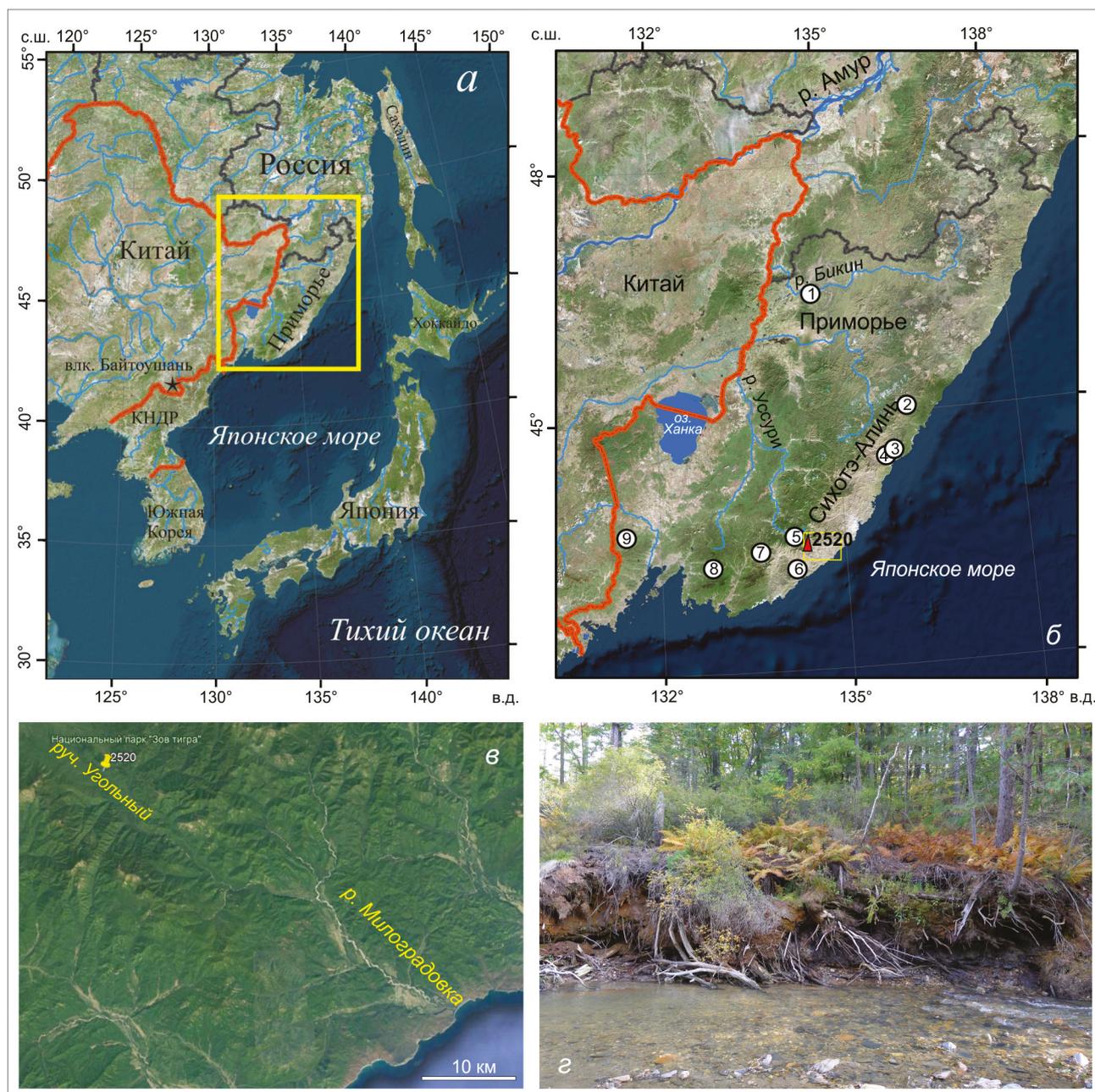


Рис. 1. Местоположение района работ.

a – положение Приморского края; *б* – положение Сихотэ-Алиня, изученного разреза торфяника (2520) и опорных разрезов верхнего голоцена: 1 – нижнее течение р. Бикин, 2 – Солонцовские озера, 3, 4 – побережье зал. Опричник и бух. Лангоу I, 5 – урочище Мута (главный водораздел Сихотэ-Алиня), 6 – побережье бух. Кит, 7–9 – Сергеевское, Шкотовское и Шуфанское плато; *в* – бассейн р. Милоградовки и положение разреза торфяника (2520) в долине руч. Угольного; *г* – марь в долине руч. Угольного.

ка радиоуглеродных дат выполнена по программе OxCal 4.4.1 с использованием калибровочной кривой «IntCal 20» [50]. На основе радиоуглеродного датирования с помощью пакета Bacon 2.2 [31] с программной оболочкой R [49] построена возрастная модель (рис. 2). Возраст приведен в календарных значениях. Для возрастной привязки событий использовалось и

положение маркирующего вулканического пепла В-Тп влк. Байтоушань. Идентификация тefры проведена на основе химического состава вулканического стекла, анализ выполнен в Радиовом институте им. В.Г. Хлопина, г. Санкт-Петербург, методом рентгеноспектрального микроанализа (EPMA) с применением сканирующего электронного микроскопа MIRA3 FE фирмы

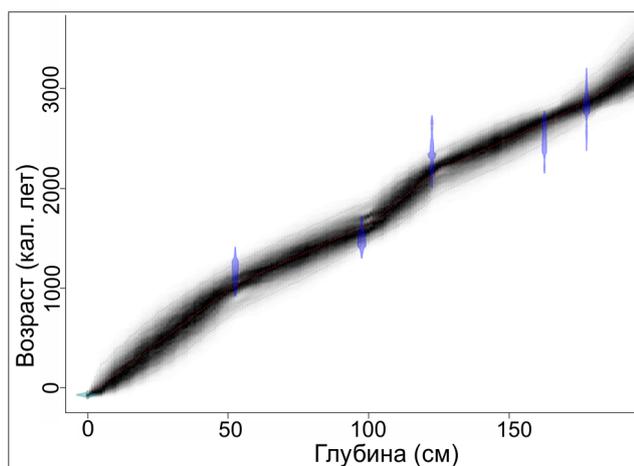


Рис. 2. Возрастная модель накопления озерно-болотных отложений в долине руч. Угольного.

TESCAN и системы микроанализа Aztec компании Oxford Instruments.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Возрастная модель. Из разреза получено 9 радиоуглеродных дат (табл. 1). ^{14}C -даты из подошвы торфяника (ЛУ-9993, 9994), отобранные на контакте с песками, рассматриваются как омоложенные. Возможной причиной был длительный контакт с грунтовыми водами, обогащенными молодым органическим веществом. Из верхней части разреза получена удревленная дата ЛУ-10000, поскольку она найдена выше криптотефры В-Тм влк. Байтоушань, извержение которого было 946/947 гг. н.э. [44]. Идентификация источника проведена по присутствию вулканического стекла с высоким содержанием K_2O (5.77–5.87 %), состав которого аналогичен тефре «тысячелетнего» извержения влк. Байтоушань [33]. Этот пепел был найден в разрезе торфяника урочища Мута и в других разрезах Южного Приморья [23, 46–48]. Тефра рассеяна в интервале 0.20–0.55 м за счет промывания рыхлого древесного торфа. Ниже получена ^{14}C -дата 1260 ± 90 л.н., 1170 ± 90 кал. л.н., ЛУ-9999, которая подтверждает возраст вулканического пепла.

Возрастная модель построена по пяти ^{14}C -датировкам (рис. 2, табл.). Полученная кривая показывает, что скорости торфонакопления были достаточно равномерными. На начальном этапе (3420–2920 л.н.) торф накапливался со скоростью 0.5 мм/год, постепенно (2920–2180 л.н.) скорости увеличились до 0.7–0.8 мм/год, снизились до 0.5 мм/год 2180–1650 л.н., возросли до 0.8 мм/год 1650–1070 л.н. и уменьшились до 0.5 мм/год в последние 1070 лет. Временное

разрешение составляет 100–110 и 60–65 лет, соответственно скоростям торфонакопления, в переходный период (2920–2690 л.н.) – 75–80 лет. Можно предположить, что полученная запись событий хорошо фиксирует 100-летние циклы.

Ботанический состав торфа. Заболачивание этого участка долины, по-видимому, связано с образованием мелководного водоема в результате крупного оползня. Начало заболачивания типично для Дальнего Востока [21], по обрамлению водоема формировался гипновый торф (3420–3320 л.н.) с участием *Leptodictyum riparium*, отдающего предпочтение местообитаниям с сильно колеблющимся уровнем воды, вплоть до пересыхания (рис. 3). По берегам озера был распространен камыш озерный (*Scirpus lacustris* – до 15 %) и очеретник белый (*Rhynchospora alba*). На заболоченном участке стал развиваться лиственничник. После крупного наводнения в обводненных условиях 3210–3110 л.н. формировался травяной торф, на что указывают такие виды, как пузырчатка средняя (*Utricularia intermedia*), водное насекомоядное растение, свободно плавающее в толще воды. Также были распространены камыш озерный, очеретник белый (по 10 %) и ирис (5 %). В древостое наряду с лиственницей и ольхой стала преобладать береза. Большое количество терригенной примеси свидетельствует о наводнениях и площадном сносе с близлежащих склонов. Единичные угли указывают на пожары, проходившие, скорее всего, в сухой сезон.

Болото постепенно зарастало лесом, но условия были достаточно влажными, о чем свидетельствует присутствие кладоцер. Существенное увеличение участия древесных остатков свидетельствует о более сухом периоде около 3010–2920 л.н. Сократилась зольность, возможно, реже стали проходить наводнения. Довольно длительный период 2920–2560 л.н. накапливался осоковый торф, основными торфообразователями были кочкообразующие *Carex meyeriana*, *C. stricta* с участием *C. vesicaria*, *C. lasiocarpa*. Появились тростник, единично – сфагновые мхи. Встречены кладоцеры, которые, скорее всего, заносились во время наводнений. Пожары проходили около 2760–2630 л.н.

Большое количество древесного угля (5 %) свидетельствует, что с 2560 л.н. роль пирогенного фактора возросла, что привело к увеличению в древесном ярусе участия березы. Признаком пирогенных сукцессий [11] являлось и присутствие пушицы рыжеватой (*Eriophorum russeolum*). Около 2500–2310 л.н. формировался древесный торф, сложенный остатками березы (до 40 %), лиственницы (до 25 %) и ольхи

Таблица. Радиоуглеродный и календарный возраст торфяника, руч. Угольный.

Лаб. номер, ЛУ-	Номер образца	Интервал, м	Радиоуглеродный возраст, лет	Календарный возраст кал. лет (2σ)	Моделированный возраст, кал. лет
10000	7/2520	0.20–0.25	1830 ± 80	1740 ± 100	450–350
9999	6/2520	0.50–0.55	1260 ± 90	1170 ± 90	1070–980
10001	12/3920	0.55–0.60	1730 ± 90	1620 ± 100	1130–1070
9998	5/2520	0.95–1.00	1600 ± 60	1480 ± 70	1650–1580
9997	4/2520	1.20–1.25	2310 ± 70	2330 ± 130	2180–2080
9996	3/2520	1.60–1.65	2430 ± 90	2520 ± 130	2690–2630
9995	2a/2520	1.75–1.80	2710 ± 90	2840 ± 100	2920–2840
9994	2/2520	1.90–1.95	2440 ± 90	2530 ± 120	3210–3110
9993	1/2520	2.00–2.05	2380 ± 80	2470 ± 130	3420–3320

Примечание. Выделены ¹⁴C-даты, которые были использованы при построении возрастной модели.

(до 5 %). В покрове наряду с осоками рос щитовник болотный (*Dryopteris thelypteris* – до 5%). Роль очеретника белого постепенно уменьшалась. Стало много бриевых мхов (*Leptodictyum riparium*).

Древесно-травяной торф формировался 2310–2180 л.н. при сильных пожарах – встречено много углей. Древесный ярус стал угнетенным. Среди трав было много гигрофитов, в обилии рос ирис щетинистый (*Iris setosa*) и бриевые мхи. На месте сгоревшего леса 2180–1860 л.н. стал накапливаться осоковый торф с преобладанием осоки Мейера. Среди травянистых остатков появились ситник нитевидный (*Juncus filiformis*) и кипрей болотный (*Epilobium palustre*).

Заращение болота преимущественно лиственницей (до 60 %) с участием березы (до 30 %) и ольхи привело к накоплению осоково-древесного и древесно-осокового торфа 1860–1450 л.н. Обводнение болота уменьшилось, что не исключало прохождение сезонных наводнений, о чем свидетельствует минеральная примесь (зольность до 70 %). В начале периода было крупное наводнение, оставившее прослой алеврита, возраст оценивается около 1820–1780 л.н. Среди травянистых вновь стал более распространен щитовник болотный (до 5 %). На склонах и скалистых выступах (1580–1450 л.н.) появился можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis*). Присутствие остатков клюквы может свидетельствовать об усилении атмосферного питания болота за счет снижения уровня грунтовых вод. Появление сфагновых мхов может быть сигналом похолодания. Периодически проходили пожары, наиболее сильные были 1860–1750, 1520–1450 л.н. После сильного пожара и в условиях незначительного обводнения 1450–1320 л.н. начал накапливаться осоковый и древесно-осоковый торф. По берегу водоема рос камыш озерный (10 %) и существовал редкостойный лиственничник. В более сухих условиях стал развиваться древесный ярус (1390 л.н.).

Болото стало сильно зарастать с 1320 л.н. Скорее всего, поверхность торфяника превысила уровень грунтовых вод. Главными древесными торфообразующими породами на начальном этапе (1320–1260 л.н.) в более влажных условиях была ольха (20 %), а после стали береза (до 40 %) и лиственница (до 35 %). В период 1200–1130 л.н. появились сфагновые мхи. Присутствие грубого терригенного материала позволяет говорить о крупных наводнениях 1200–1070 л.н. В этот же период были сильные пожары.

Древесный торф начал накапливаться с 1070 л.н. После сильных пожаров в древостое распространилась береза (до 50 %). В отдельных прослоях торфа преобладают остатки лиственницы (до 50 %). В травяном ярусе доминировали осоки, встречались ирис, очеретник белый, камыш. Пик зольности (80 %) свидетельствует о подаче материала со склона во время сильных ливней. Около 880–770 л.н. в обилии росла клюква (5 %). В более сухих условиях (770–660 л.н.) стал распространен щитовник болотный (5 %).

Период сильных пожаров начался около 660–450 л.н., что привело к угнетению древесного яруса. В более влажных условиях 560–450 л.н. формировался торф с большим количеством остатков ольхи, лобелии и камыша. Довольно большое количество сфагнума гладкого (*Sphagnum teres* – 10 %), развитие которого вызвано, вероятно, снижением разнообразия травяного покрова из-за пожаров, происходило на фоне похолодания. Сильный пожар был 450–350 л.н. Верхняя часть разреза представлена почвой, образовавшейся на месте выгоревшего торфа. Преобладают обгоревшие древесные остатки – корни, хвоя лиственницы, листья и кора березы. Остатки трав представлены осоками, папоротником, побегами хвоща приречного (*Equisetum fluviatile*), тростником, манником. Сильные пожары были 347–240 л.н.

Диатомовый анализ. В отложениях встречено 129 таксонов диатомей, преобладающими являются

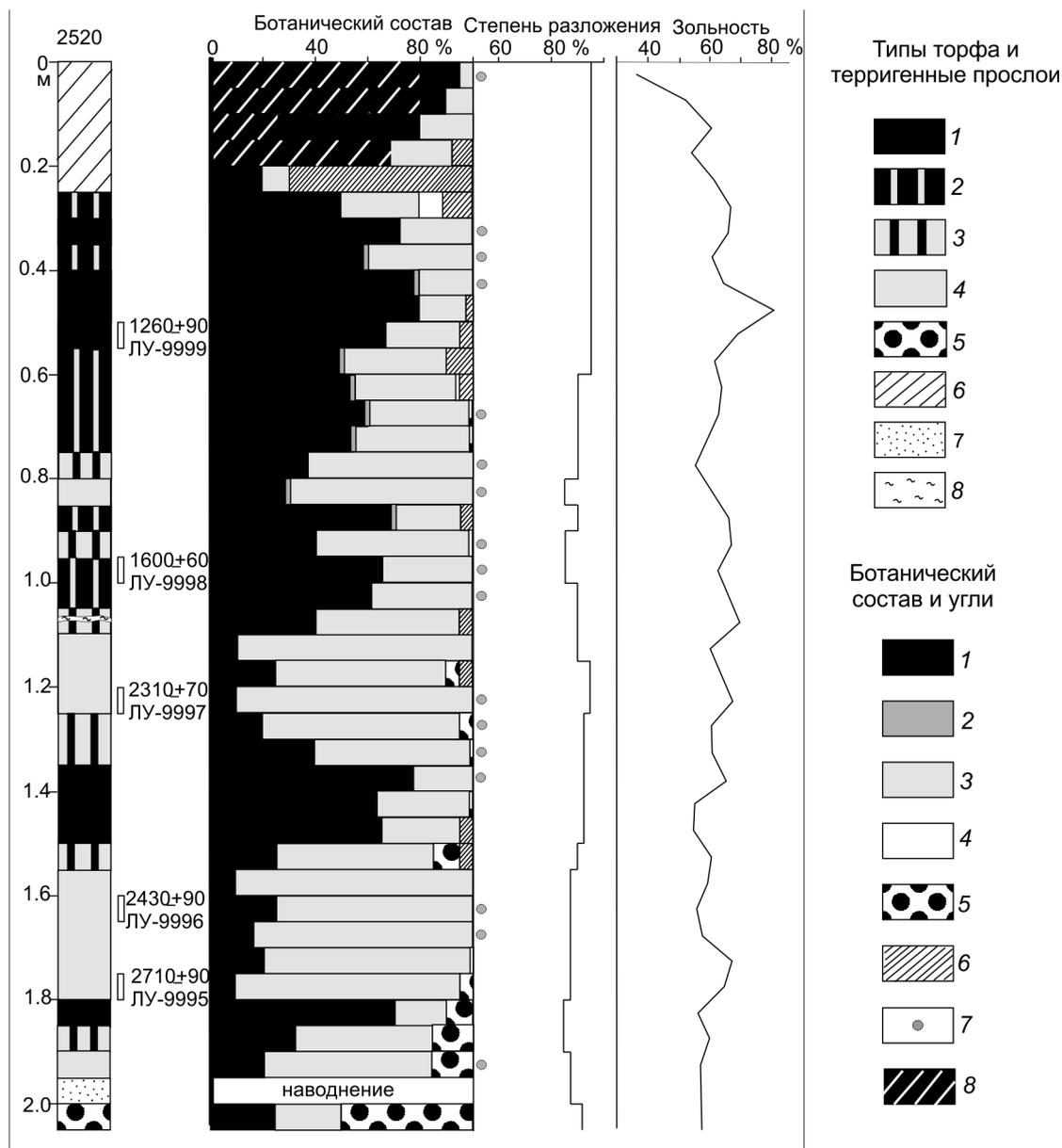


Рис. 3. Ботанический состав и характеристики торфа, разрез 2520, руч. Угольный.

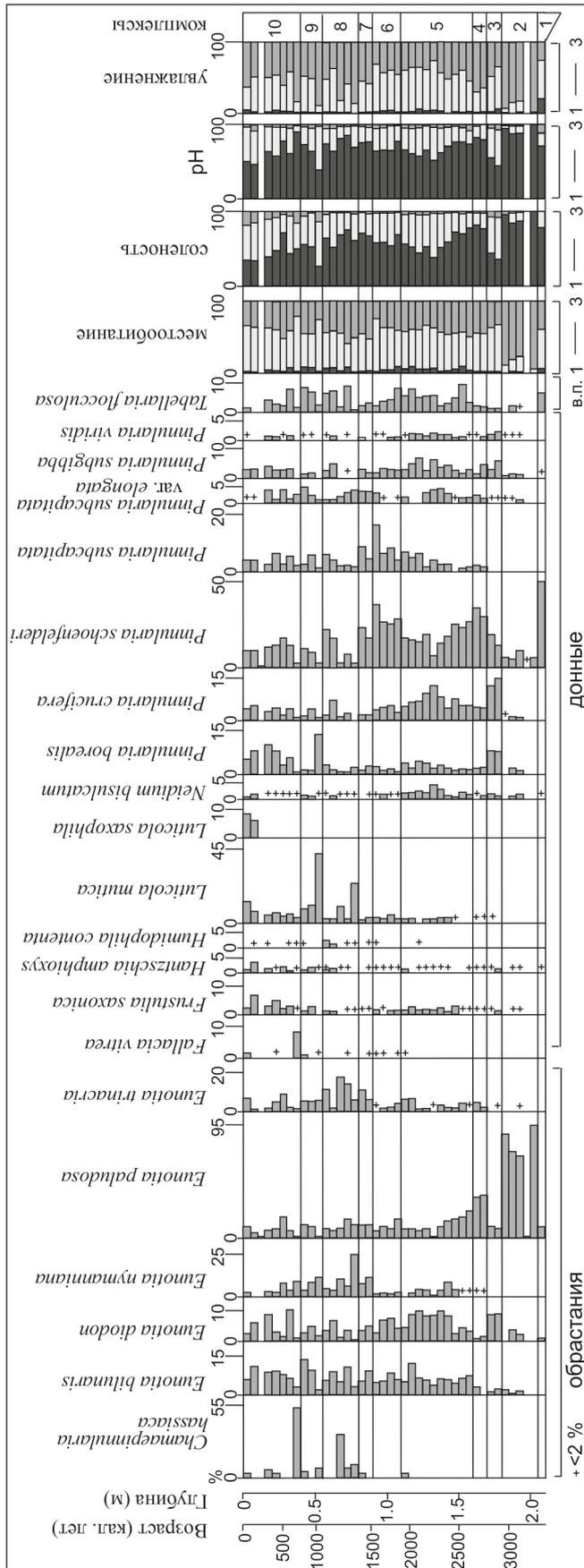
Типы торфа: 1 – древесный; 2 – травяно-древесный; 3 – древесно-травяной; 4 – травяной; 5 – гипновый; 6 – торфо-минеральный горизонт; 7 – песок; 8 – суглинок. Ботанический состав: 1 – древесные; 2 – кустарнички; 3 – травы; 4 – сфагновые мхи; 5 – зеленые мхи; 6–7 – угли; 8 – обгоревшие древесные остатки.

ся обрастатели (64) и донные виды (57), найдено 8 планктонных и временно планктонных форм. Для разреза выделено 10 диатомовых комплексов (рис. 4).

Комплекс 1 (>3420 л.н.) характеризуется преобладанием донных видов (54 %), доля планктонных и временно планктонных – 6.4 %. Доминирует космополит *Pinnularia schoenfelderi*, предпочитающий олиготрофные воды с pH 6.7–7.5 [39, 52]. Субдоминантами являются характерные для олиго-дистрофных вод, временно планктонный *Tabellaria flocculosa*, раз-

вивающийся в диапазоне pH 4.5–8.3 [3, 37] и обрастатель *Eunotia paludosa*. Встречены диатомеи (13.4 %), которые поступали с текучими водами (*Odontidium anceps* – 4.8 %, *O. mesodon* – 1.1 %, *Meridion constrictum* – 1.6 %, *Cymbella tumida* – 0.5 %, *Cymbopleura naviculiformis* – 1.1 %, *Fragilaria gracilis* – 3.2 % и др.). Концентрация створок достигает 11 млн/г. Песок накапливался на пойме.

Комплекс 2 (3420–2920 л.н.) включает в основном виды обрастаний (до 94.3 %). Доминирует *Eu-*



notia paludosa, характерный для болот и способный развиваться при слабом увлажнении [35, 42] и оптимальном $pH < 5.5$ [54]. В подошве торфяника концентрация диатомей составляет 4.6 млн/г. В прослое песка, оставленном в сильное наводнение, обнаружены единичные диатомей, характерные для текущих вод (*Ulnaria ulna*, *Odontidium anceps*, *Fragilaria gracilis* и др.), концентрация створок снижается до 0.3 млн/г. Выше концентрация растет до 5.3 млн/г. В торфе над песком присутствуют *Aulacoseira italica*, *Epithemia porcellus*, *Ulnaria ulna* и др., указывающие на речное влияние. Увеличение числа видов, населяющих мелководные водоемы и регулярно увлажняемые места (*Tabellaria flocculosa*, *Pinnularia viridis*, *P. subgibba* и др.), указывает на повышение обводненности болота около 3210–3010 л.н. В слое древесного торфа концентрация створок увеличивается до 12.2 млн створок/г., 3010–2920 л.н. вспышку дает *Eunotia paludosa*, стало суше.

Комплекс 3 (2920–2840 л.н.). Доля обрастаний снижается до 33.7 %. Существенно повышается содержание (до 48.4 %) диатомей, обитающих в водоемах и регулярно увлажняемых местах. Появляются арктобореальные диатомей. Доминирует *Pinnularia crucifera*, характерный для мелководных водоемов с нейтральной pH воды и торфяников северных и альпийских регионов [39]. Существенную долю имеют обрастатель *Eunotia diodon*, развивающийся в олиготрофно-дистрофных водах низинных болот и моховых подушках [42] при оптимуме $pH < 7$ [54], и *Pinnularia schoenfelderi*. Присутствуют почвенные *Pinnularia borealis*, *Luticola mutica*, *Hantzschia amphioxys* (до 11.3 % в сумме). Речное влияние наиболее заметно в подошве слоя, здесь найдены *Aulacoseira granulata*, *A. subarctica*, *Encyonema silesiacum*, *Frustulia amphipleuroides* др. Концентрация диатомей здесь составляет 0.4 млн/г, а в перекрывающем торфе достигает 1.4 млн/г. Комплекс диатомей отвечает условиям умеренно обводненного болота около водоема, временами пересыхавшего.

Комплекс 4 (2760–2560 л.н.). Преобладают виды, населяющие слабо увлажненные места (до 78 %), доминируют *Pinnularia schoenfelderi* и *Eunotia paludosa*. Повышается содержание *Eunotia trinacria*, развивающегося при $pH 3.5-4$ [40] и харак-

Рис. 4. Распределение диатомей в разрезе торфяника в долине руч. Угольного.

Местообитание: 1 – планктонные и временно-планктонные (в.п.); 2 – донные; 3 – обрастания; соленость: 1 – галофобы; 2 – индифференты; 3 – галофилы; pH: 1 – ацидофилы; 2 – циркумнейтральные; 3 – алкалофилы.

терного для болотных вод, богатых гуминовыми кислотами [37]. Концентрация створок – 1.0–1.3 млн/г. Комплекс характеризует снижение увлажнения и повышение кислотности.

Комплекс 5 (2560–1860 л.н.). Доля диатомей, обитающих в водоемах и регулярно увлажняемых местах, меняется от 37.5 до 69.9 %, что показывает неустойчивость увлажнения. Колеблется и концентрация створок (1.3–4.1 млн/г). Заметное участие приобретают циркумнейтральные *Pinnularia crucifera*, *P. microstauron*, *P. subgibba* и ацидофилы *Tabellaria flocculosa*, *Eunotia diodon*, *E. bilunaris*. Заметно возрастает число диатомей, которые могли приноситься наводнениями: *Symbopleura naviculiformis*, *Gomphonema parvulum*, *Meridion constrictum*, *Odontidium anceps*, *Surirella linearis*, *S. splendida*, планктонные *Aulacoseira italica*, *Cyclostephanos dubius* и др. Наиболее сильное влияние речных вод фиксируется в интервале 1.50–1.55 м (2560–2500 л.н.) и в инт. 1.3–1.35 м (2310–2250 л.н.), где отмечается наибольшее содержание диатомей, обитающих в водоемах, снижаются доля почвенных видов и концентрация створок.

Комплекс 6 (1860–1520 л.н.). Преобладают виды, населяющие слабо увлажненные места (до 59.8 %). В кровле повышается содержание *Pinnularia subcapitata*, что связано с колебаниями увлажнения. Концентрация диатомей достигает 7.5 млн/г. В прослое алеврита, оставленного в крупное наводнение (1820–1800 л.н.), концентрация створок снижается до 2.5 млн/г, найдены *Encyonema silesiacum*, *Meridion circulare*, *Epithemia adnata*, *Caloneis silicula*, *Ulnaria ulna* и др., характерные для текучих вод. Прохождение наводнения фиксируется и около 1580–1520 л.н., где отмечается увеличение числа диатомей, показывающих влияние речных вод, включая планктонный *Aulacoseira granulata*, а концентрация створок снижается до 2.8 млн/г.

Комплекс 7 (1520–1390 л.н.). Повышается доля диатомей, населяющих слабо увлажненные места и терпимых к иссушению (до 62.8 %). Увеличивается содержание *Eunotia nymanniana*, населяющего олиготрофно-дистрофные болотные воды, и *E. trinacria*. Концентрация створок составляет 2.5–3.6 млн/г. Комплекс показывает дальнейшее снижение увлажнения и усиление кислотности.

Комплекс 8 (1390–1070 л.н.) отражает частые смены доминирующих видов, связанные с изменениями степени увлажнения и кислотно-щелочного баланса болота. Концентрация створок снижается вверх по разрезу от 13.3 до 3.1 млн/г. В инт. 75–80 см (1390–1320 л.н.) преобладают (84.6 %) виды, толерантные к иссушению: доминируют *E. nymanniana* и *Luticola*

mutica. В инт. 70–75 см (1320–1260 л.н.) увеличивается содержание диатомей, населяющих водоемы и регулярно увлажняемые места (до 32.2 %): *Tabellaria flocculosa*, *Eunotia bilunaris*, *Pinnularia subcapitata* и др. В инт. 65–70 см (1260–1200 л.н.) ведущее положение снова приобретают виды, населяющие слабо увлажненные места (84 %): доминируют аэрофитный *Chamaepinnularia hassiaca*, а также *Eunotia trinacria* и *E. nymanniana*. Доля почвенных повышается до 10.6 %. В инт. 60–65 см (1200–1130 л.н.) повышается доля диатомей, населяющих водоемы и регулярно увлажняемые места (до 54.2 %): *Tabellaria flocculosa*, *Eunotia bilunaris*, *E. diodon*, *Pinnularia crucifera*. Появление *Aulacoseira italica* является свидетельством наводнений. Доля почвенных видов снижается до 7.7 %. В кровле слоя снижение доли (38.1 %) диатомей, населяющих водоемы и регулярно увлажняемые места, и повышение участия *Eunotia trinacria* указывает на снижение увлажнения и увеличение кислотности около 1130–1070 л.н.

Комплекс 9 (1070–770 л.н.) характеризуется высоким содержанием почвенных видов (до 55.9 %), что является показателем развития сухих обстановок. К кровле рост содержания *Tabellaria flocculosa*, *Pinnularia schoenfelderi*, *Eunotia bilunaris*, *E. diodon* индицирует увеличение увлажнения 880–770 л.н. Концентрация створок – 4–4.8 млн/г.

Комплекс 10 (последние 770 лет). В подошве слоя доминируют *Chamaepinnularia hassiaca* и *Fallicia vitrea*, населяющие болота с низкими pH [36], что отвечает слабо увлажненным условиям. Выше (660 л.н.) существенно повышается участие *Pinnularia schoenfelderi*, *P. crucifera*, *Eunotia diodon*, *E. bilunaris*, *Tabellaria flocculosa* и др., указывающих на усиление увлажненности. Повышение содержания (от 14.3 до 29 %) вверх по разрезу почвенных *Pinnularia borealis*, *Luticola mutica*, *Humidophila contenta* свидетельствует о тенденции к иссушению. Концентрация диатомей низкая – 0.4–0.7 млн/г., особенно в инт. 10–15 см (0.27 млн/г.) – возможно, около 240–140 л.н. болото сильно пересыхало. В кровле повышается содержание *Luticola saxophila*, что говорит о существовании осушек на болоте [36]. Появление планктонных диатомей в инт. 20–25 см и в кровле торфяника свидетельствует о прохождении наводнений 450–350 л.н. и с конца XIX века.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изменение увлажнения в Сихотэ-Алине восстановлено на основе изучения ряда разрезов, расположенных в разных геоморфологических условиях: горные плато, уплощенный участок главного водораздела, заболоченные речные террасы и высокие поймы,

а также низкие морские террасы вблизи устьев рек. В качестве природных архивов выбраны озерно-болотные отложения как одни из наиболее информативных для высокоразрешающих реконструкций. Ближайшие к бассейну р. Милоградовки изученные участки включают Сергеевское плато, урочище Мута (водораздел бассейна рек Милоградовка и Уссури) и побережье бух. Кит [23, 46, 47]. Именно с этими разрезами озерно-болотных отложений проведено сравнение полученных результатов.

Разница в геоморфологической позиции предопределяет разную реакцию обстановок осадконакопления на климатические изменения, в том числе изменение увлажнения. Количество атмосферных осадков зависит от гипсометрического положения: региональный вертикальный градиент составляет около 60 мм на каждые 100 м [15]. Согласно этим оценкам, разница в выпадении атмосферных осадков в верховьях р. Милоградовки и главном водоразделе (высота 550–620 м) составляет 60–100 мм, а с Сергеевским плато (высота около 900 м) – 250–300 мм. Сток воды на разных поверхностях также сильно отличается: в бессточных котловинах на горных плато вода дольше застаивается, она «консервируется» в болотах в холодный сезон, поскольку заморозки здесь наступают уже в октябре [18]. Таким образом, сухой сезон на таких болотах менее контрастный.

Заболоченный главный водораздел, имеющий наклон в западном направлении, имеет подповерхностный дождевой сток. Вода в этих условиях быстро стекает, и болота мало обводнены вплоть до развития «сухих марей». На большей части урочища Мута торфяники маломощные, торф хорошо разложившийся. Здесь развит кустарниковый ярус и разреженный лиственничник [47].

В верховьях долин вода быстро «скатывается», болотные массивы хорошо дренируются. Изученное болото в долине руч. Угольного на начальном этапе, когда существовал барьер, могло быть обводнено, поскольку барьер мог играть роль своеобразной плотины и задерживать воду. В этом заключаются локальные особенности развития этого торфяника. В нижних частях долин сток идет со всего бассейна, во время наводнений береговые низменности затапливаются на непродолжительное время. В сухой сезон дополнительное увлажнение поступает с моря за счет частых продолжительных туманов и мороси. Особенно это характерно для побережья Восточного Приморья, рядом с которым проходит холодное Приморское течение. Поэтому здесь нет такой контрастности сезонных характеристик по сравнению с континентальными районами. Сделанные реконструкции отличаются и временным разрешением. За счет этого

отдельные короткопериодные события не фиксируются в разрезах, и в ряде случаев это может объяснять диахронность границ фаз увлажнения и иссушения.

Мелководное озеро образовалось в долине руч. Угольного, вероятно, за счет схода оползня, сформировавшего плотину, во время продолжительных ливней около 3420 л.н. На начальном этапе по берегам озера в условиях сильно колеблющегося уровня воды формировался гипновый торф (рис. 5). Прослой песка в торфе фиксирует крупное наводнение около 3320–3210 л.н. Частые паводки продолжались до 3110 л.н. На Южном Сихотэ-Алине влажный период зафиксирован в развитии мари урочища Мута, палеозер Сергеевского и Шкотовского плато. Около 3310 л.н. произошло обводнение болота и образование мелководного озера Изюбрины Солонцы в Центральном Сихотэ-Алине [26].

В долине руч. Угольного условия стали более засушливыми около 3110–3010 л.н., резко увеличилась роль древесного яруса (рис. 5). Такие же изменения увлажнения зафиксированы в развитии болот на главном водоразделе и горных плато Южного Сихотэ-Алиня на абс. высотах 500–900 м. На Центральном Сихотэ-Алине на этом рубеже (2960 л.н.) стало активно заболачиваться оз. Изюбрины Солонцы. В это же время (около 3050 л.н.) начался период длительных засух в Восточно-Маньчжурских горах на крайнем юге Приморья, зафиксированный в развитии озерно-болотных обстановок Шуфанского плато [48]. Эта тенденция к иссушению наблюдалась на фоне похолодания. По данным для северо-восточного Китая ~3740–1920 л.н. был ослаблен летний муссон [32, 41]. Сухая фаза на Сихотэ-Алине началась позже, чем на юге Приморья и в северо-восточном Китае.

В долине руч. Угольного с 2920 л.н. на фоне низкого увлажнения стали часто проходить наводнения, гидрологический режим болота стал неустойчивым, уровень болотных вод сильно колебался. В условиях периодического избыточного увлажнения образовался осоковый кочкарник, что указывает на периодическое затопление болота полыми водами при относительно сухом климате. Восточноазиатский зимний муссон в это время был более интенсивным [55], количество зимних осадков, по-видимому, сокращалось. Наводнения были вызваны тайфунами и внетропическими циклонами, проходящими в теплый сезон. Около 2760–2560 л.н. обводнение болота снизилось, что привело к развитию древесной растительности. Болотные воды стали более кислыми и насыщенными гуминовыми веществами. Экстремально сухие условия были на марях главного водораздела 2740–2040 л.н. По данным изучения хирономид в разрезе палеозера бух. Лангоу I 2900–2600 л.н. на побере-

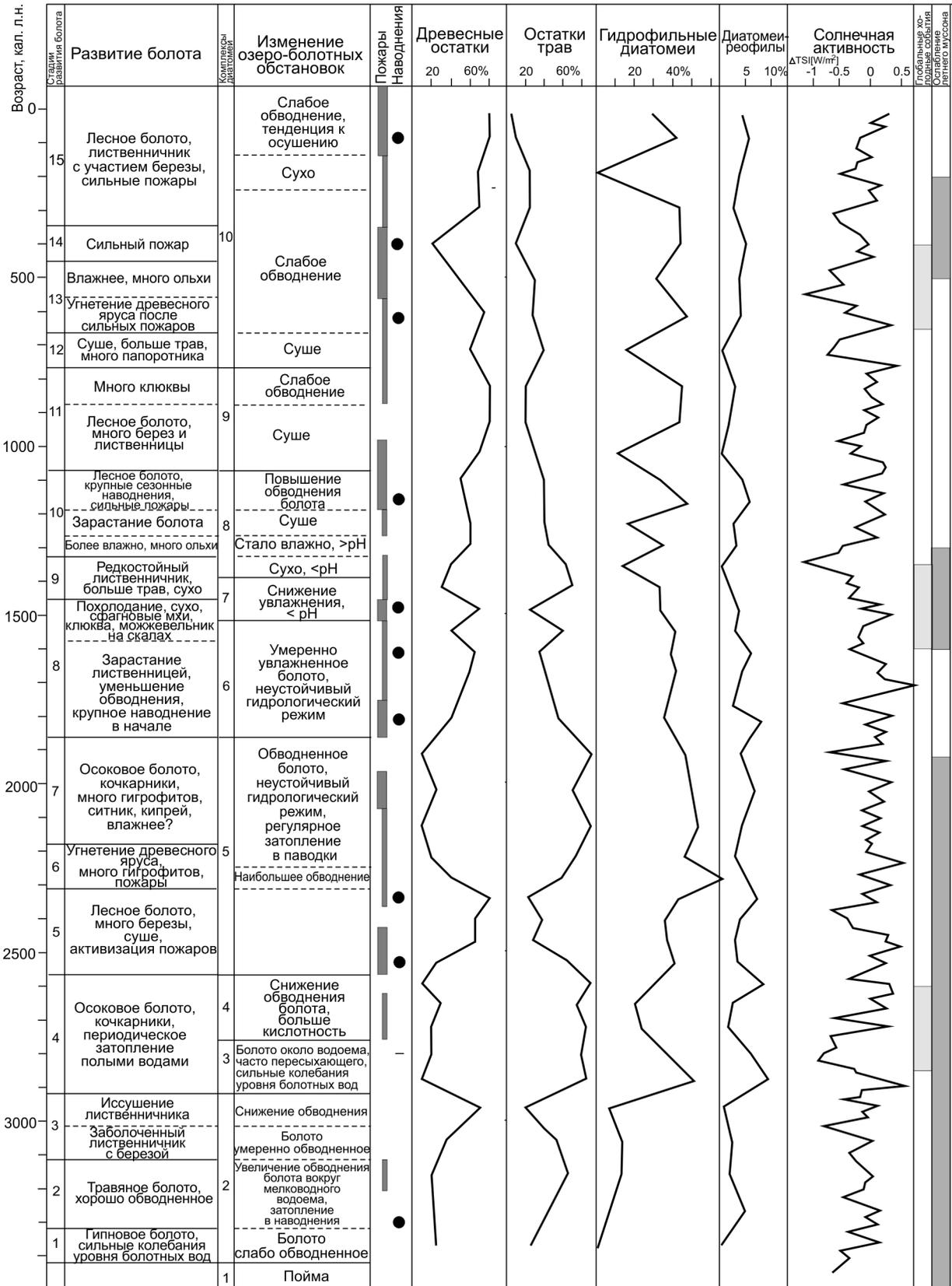


Рис. 5. Развитие озерно-болотных обстановок в долине руч. Угольного в позднем голоцене; гидрофильные диатомеи включают виды, обитающие в водоемах и регулярно-увлажняемых местах [54]; изменение солнечной активности, по [53]; глобальные холодные события, по [56]; ослабление интенсивности летнего муссона, по [41].

жье фиксируется пик летних температур, что может быть подтверждением проникновения теплых масс с юга; признаки сокращения речного стока и снижения температур здесь установлены с 2600 л.н. [17]. Около 2800–2600 л.н. выделяется глобальное холодное событие, связанное со снижением солнечной активности [53], на севере муссонных областей Азии были сухие условия [56].

Регулярные паводки на руч. Угольном стали проходить 2560–1860 л.н. Наиболее обводненным болото с озерком было 2310–2250 л.н., более угнетенным стал древесный ярус. Высокое увлажнение не препятствовало прохождению сильных пожаров (2310–2180 л.н.) в сухие сезоны. Возможно, в это время увеличилась циклоническая активность, о чем свидетельствует присутствие аллохтонной пыльцы граба (*Carpinus*), занесенной с юга, в разрезе торфяника на главном водоразделе [47]. На этом участке увеличение увлажнения марей произошло около 2040 л.н. Болота Сергеевского плато были обводнены 2380–1820 л.н. [23].

Снижение обводнения болота в долине руч. Угольного около 1860–1520 л.н. происходило в условиях похолодания, особенно сухо было 1520–1390 л.н. – болото заросло лесом. Снизились величины рН. Сухая фаза 1820–1290 л.н. выделена и в развитии болот Сергеевского плато. Сокращение количества атмосферных осадков на пике похолодания (1500–1440 л.н.) вызвало уменьшение глубины и зарастание Солонцовских озер [26]. Широкое развитие кустарникового яруса из багульника и березки (1570–1260 л.н.) отмечено на марях Нижнего Бикина [24]. Снижение количества атмосферных осадков отмечено и для других районов Дальнего Востока [1]. Холодное событие 1750–1350 л.н., связанное со снижением инсоляции, было глобальным и сопровождалось аридизацией в континентальной части Восточной Азии [43, 53, 56]. Около 1600–1300 л.н. зафиксировано ослабление летнего муссона [41].

В это время на Японских островах [51] и Сахалине наблюдалась иная картина – было влажно, на юге о. Сахалин увеличилась повторяемость экстремальных наводнений 1860–1380 л.н. [25]. Активизация палеотайфунов фиксируется и в донных осадках Восточно-Китайского моря 1800–1500 л.н. [57]. В бассейне р. Милоградовки также происходили сильные наводнения (1820–1800, 1580–1520 л.н.), но события эти были редкими. На побережье бух. Кит датированы два прослая суглинков, оставленных в экстремальные паводки около 1720 ± 60 л.н., 1640 ± 70 кал. л.н., ЛУ-7279 и 1520 ± 60 л.н., 1430 ± 70 кал. л.н., ЛУ-7232 [46]. На побережье бух. Опричник из торфа под слоем суглинка, оставленного наводнением, получена

близкая ^{14}C -дата 1610 ± 90 л.н., 1510 ± 100 кал. л.н., ЛУ-6958 [22]. Наводнения происходили и в верхнем течении р. Усури [47].

Период с 1390 до 770 л.н. характеризовался сложной климатической ритмикой. Выделяются более влажные (1320–1260, 1200–1130, 880–770 л.н.) и более сухие (1390–1320, 1260–1200, 1130–880 л.н.) фазы продолжительностью 60–250 лет. Сравнение этих фаз с палеотемпературной кривой [43] показывает, что более увлажненными были два теплых периода, а 1200–1130 л.н. в составе торфообразующих растений появились сфагновые мхи, что является холодным сигналом. Появление аллохтонных планктонных диатомей фиксирует следы наводнения в это время. Более сухие фазы отвечают короткопериодным как теплым, так и холодным событиям. Наиболее длительная сухая фаза отвечает малому оптимуму голоцена и, вероятно, связана с более высоким эффективным испарением в условиях повышения температур. Свидетельством сильных ливней может быть активизация плоскостного смыва в период 980–880 л.н., но сильных наводнений в это время не зафиксировано. На побережье Восточного Приморья летняя температура была на 1.5°C выше современной [17]. В это время болото в долине руч. Угольного заросло березой и лиственницей. Сложная ритмика увлажнения отмечена и для Сергеевского плато, где болота локализованы в небольших котловинах на месте палеозер. Марь на главном водоразделе Сихотэ-Алиня была более инертной, покровное сфагновое болото к этому времени вышло выше уровня грунтовых вод и развивалось стабильно. Сложная ритмика увлажнения установлена и для Солонцовских озер [26].

В бассейне р. Милоградовки переход от малого оптимума к малому ледниковому периоду (770–660 л.н.) характеризовался иссушением. Такая же ситуация наблюдалась и на западном макросклоне Сихотэ-Алиня, где в бассейне р. Бикин похолодание и снижение увлажнения установлено ~ 725 – 645 л.н., сильных паводков не было [24]. С 660 л.н. увлажнение усилилось, что характерно для других районов Приморья. На побережье бух. Кит датировано экстремальное наводнение около 670 ± 70 л.н., 630 ± 70 кал. л.н., ЛУ-7336 [22]. Полученные данные подтверждают, что малый ледниковый период в Приморье был влажным. Около 660–250 л.н. наблюдалось обводнение Солонцовских озер [26]. По оценкам для побережья Восточного Приморья, летние температуры были на 1.5 – 2°C ниже современных [17]. В долине руч. Угольного более сухими условия стали 240–140 л.н., на главном водоразделе снижение обводнения мари началось раньше (270 л.н.) [47], что совпало с минимумом Маунде-

ра, самым ярким похолоданием малого ледникового периода [34]. Уменьшение обводнения около 250 л.н. отмечено и в развитии Солонцовских озер [26].

Наводнения в бассейне р. Милоградовки стали происходить чаще около 450–350 л.н. Условия в это время были относительно теплыми [34]. Регулярная встречаемость створок планктонных диатомей из рода *Aulacoseira* (*A. italica*, *A. granulata*, *A. subarctica*) в кровле торфяника говорит об активизации наводнений после завершения малого ледникового периода. С конца XX века стала более обводненной марь на водоразделе.

Находки углей в торфянике свидетельствуют, что в долине часто проходили пожары. Регулярно они стали проходить, начиная с 2560 л.н. Наиболее сильные пожары были 2560–2440, 2080–1970, 1860–1750, 1520–1450, 1200–980, 560–350 л.н., последние 140 лет (рис. 5). Часть этих пожароопасных периодов приурочены к сухим фазам, когда на болоте был развит древесный ярус. Часть происходила в сухие сезоны даже в периоды увеличения увлажнения. Большое количество пожаров, вероятно, имели антропогенную природу. В верховьях р. Милоградовки известны археологические стоянки позднего железного века [18]. В это время внутренние районы Приморья осваивались представителями кроуновской культуры, занимавшимися земледелием [5]. В разрезе торфяника на главном водоразделе найдена пыльца амброзии (1690–1350 л.н.), которая является признаком влияния древнего человека на растительность [47]. Последние сильные пожары были связаны с освоением бассейна в XX веке, здесь выполнялись геолого-разведочные работы и велись вырубки леса.

Следует отметить, что долинный торфяник является более чувствительным природным архивом по сравнению с марями главного водораздела и горных плато. В пределах длительных сухих фаз, выделенных в развитии марей водораздела и плато, здесь установлены короткопериодные изменения, когда гидрологический режим болота становится переменным и более контрастным в разные сезоны. Наряду с достаточно сухими условиями, существовавшими в холодный сезон, в теплый начинали более часто происходить наводнения. Можно предположить, что в разрезе долинного торфяника более детально фиксировалось изменение характера циклонической деятельности. Сравнение записей фаз обводнений и фаз с переменным гидрологическим режимом, которые можно интерпретировать как свидетельства усиления циклогенеза на материке и записей увеличения повторяемости экстремальных наводнений на юге о. Сахалин [25], показывает, что их временные границы не всегда

синхронны. Возможно, в голоцене менялись траектории глубоких циклонов, а, следовательно, и повторяемость экстремальных паводков в разных частях юга Дальнего Востока. Вопрос этот требует дальнейших исследований.

ВЫВОДЫ

Изучение развития озерно-болотных обстановок осадконакопления на разных элементах рельефа показало, что увлажнение в среднегорье восточного макросклона Сихотэ-Алиня за последние 3400 лет существенно менялось. Длительные сухие периоды совпадают с глобальными холодными событиями и уменьшением интенсивности восточноазиатского муссона. По сравнению с марями главного водораздела Сихотэ-Алиня и горных плато в разрезе долинного торфяника более детально фиксируются гидрологические изменения на болоте, обусловленные особенностями циклогенеза. Здесь в пределах сухих фаз, наиболее ярко проявленных на уплощенном водоразделе и плато, установлены фазы неустойчивого гидрологического режима, когда чередовались контрастные сухие и влажные сезоны. Выделены биоиндикаторы таких изменений в обстановках осадконакопления. Отдельные крупные наводнения происходили и в сухие периоды, вероятно, в летне-осенний сезон и были вызваны прохождением тайфунов и глубоких циклонов. В условиях более частых паводков и регулярных затоплений болото в долине становилось более увлажненным. Фазы активизации циклогенеза на материковой части юга Дальнего Востока не всегда синхронны с периодами усиления экстремальных наводнений на юге о. Сахалин, что свидетельствует об изменении траекторий глубоких циклонов и палеотайфунов при климатических изменениях в позднем голоцене. Наиболее короткопериодная ритмика климатических изменений установлена для малого оптимума голоцена и малого ледникового периода. Одним из факторов иссушения мари в потепления было увеличение эффективного испарения. Наиболее сильные пожары происходили в сухие сезоны, большая часть их имела антропогенную природу. Частота наводнений увеличилась с конца XIX века.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект 22-27-00222 (<https://rscf.ru/project/22-27-00222>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базарова В.Б., Климин М.А., Копотева Т.А. Голоценовая динамика восточноазиатского муссона в Нижнем Приамурье (юг Дальнего Востока) // География и природ. ресурсы. 2018. № 3. С. 124–133.
2. Базарова В.Б., Лящевская М.С., Макарова Т.Р., Орлова Л.А.

- Обстановки осадконакопления на поймах рек Приханкайской равнины в среднем-позднем голоцене (юг Дальнего Востока) // Тихоокеан. геология. 2018. Т. 37, № 1. С. 94–105.
3. Баринаева С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Био-разнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.
 4. Величко А.А. Эволюционная география: проблемы и решения. М.: ГЕОС, 2012. 563 с.
 5. Вострецов Ю.Е. Первые земледельцы на побережье залива Петра Великого // Вестн. НГУ. Серия история, филология. 2009. Т. 8, № 3. С. 113–120.
 6. Ганешин Г.С. О причинах речных перехватов в хребте Сихотэ-Алинь // Изв. ВГО. 1958. Т. 90, Вып. 4. С. 363–366.
 7. Гарцман Б.И., Мезенцева Л.И., Меновщикова Т.С., Попова Н.Ю., Соколов О.В. Условия формирования экстремально высокой водности рек Приморья в осенне-зимний период 2012 г. // Метеорология и гидрология. 2014. № 4. С. 77–92.
 8. Глебова С.Ю. Циклоны над Тихим океаном и дальневосточными морями в холодные и теплые сезоны и их влияние на ветровой и термический режим в последний двадцатилетний период // Изв. ТИНРО. 2018. Т. 193. С. 153–166.
 9. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.
 10. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. Л.: Наука, 1974. Т. 1. 403 с.
 11. Копотева Т.А., Купцова В.А. Пирогенный фактор на маревых болотах Приамурья // Вестн. Северо-Восточного науч. центра ДВО РАН. 2011. № 3. С. 37–41.
 12. Короткий А.М., Гребенникова Т.А., Пушкарь В.С., Разжигаета Н.Г., Волков В.Г., Ганзей Л.А., Мохова Л.М., Базарова В.Б., Макарова Т.Р. Климатические смены на территории юга Дальнего Востока в позднем плейстоцене-голоцене // Вестн. ДВО РАН. 1997. № 3. С. 121–143.
 13. Короткий А.М. Перестройки речной сети в Приморье: причины, механизмы и влияние на геоморфологические процессы // Геоморфология. 2010. № 2. С. 78–91.
 14. Лаврушин Ю.А. Актуальные направления исследований квартала в ближайшей перспективе (по материалам XX всероссийского совещания по изучению четвертичного периода, Москва, 25–29 сентября 2017 г.) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2018. Т. 26, № 4. С. 144–148.
 15. Марченко Н.А. Вертикальные градиенты метеоэлементов в Приморском крае и возможности экстраполяции данных метеостанций // География и природ. ресурсы. 1991. № 3. С. 138–143.
 16. Мезенцева Л.И., Гришина М.А., Кондратьев И.И. Траектории и глубина циклонов, выходящих на территорию Приморского края // Вестн. ДВО РАН. 2019. № 4. С. 29–38.
 17. Назарова Л.Б., Разжигаета Н.Г., Головатюк Л.В., Бискаборн Б.К., Гребенникова Т.А., Ганзей Л.А., Мохова Л.М., Дикман Б. Развитие экологических условий позднего голоцена в Восточном Приморье (Дальний Восток, Россия) // Сиб. экол. журн. 2021. № 3. С. 274–290.
 18. Национальный парк «Зов тигра». Владивосток: Дальнаука, 2014. 148 с.
 19. Панин А.В. Палеогидрологические ритмы в умеренном поясе Северной Евразии в рамках последних межледниково-ледниковых климатических циклов // Пути эволюционной географии. М.: ИГ РАН, 2016. С. 227–231.
 20. Пономарев В.И., Дмитриева Е.В., Шкорба С.П., Карнаухов А.А. Изменение планетарного климатического режима на рубеже XX-XXI веков // Вестн. МГТУ. 2018. Т. 21, № 1. С. 160–169.
 21. Прозоров Ю.С., Попов А.А. Основные типы болот и заболоченных лесов Приморского края // Вопросы лесоводства и лесоведения. 1961. Вып. 1. С. 146–162.
 22. Разжигаета Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Арсланов Х.А., Копотева Т.А., Климин М.А., Паничев А.М., Кудрявцева Е.П. Изменения интенсивности наводнений в Приморье в позднем голоцене: палеоаналоги современной ситуации // Геосистемы в Северо-Восточной Азии. Типы, современное состояние и перспективы развития. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2018. С. 232–236.
 23. Разжигаета Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М., Копотева Т.А., Кудрявцева Е.П., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю., Климин М.А. Развитие природной среды среднегорья Южного Сихотэ-Алиня, запечатленное в разрезах торфяников Сергеевского плато // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 1. С. 13–31.
 24. Разжигаета 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. Летопись речных паводков в предгорьях Сихотэ-Алиня за последние 2.2 тысячи лет // Изв. РАН. Серия географическая. 2019. № 2. С. 85–99.
 25. Разжигаета 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. 46–70.
 26. Разжигаета Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Копотева Т.А., Климин М.А., Лящевская М.С., Паничев А.М., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю. Развитие Солонцовских озер как показатель динамики увлажнения в Центральном Сихотэ-Алине в позднем голоцене // Геосистемы переходных зон. 2021. Т. 5. № 3. С. 287–304.
 27. Середин В.В., Чекрыжов И.Ю. Рудоносность Ванчинского грабена (Приморье, Россия) // Геология руд. месторождения. 2011. Т. 53. № 3. С. 230–249.
 28. Тунеголовец В.П. Интенсивность циклогенеза во второй половине XX столетия // Труд. ДВНИГМИ. 2009. Вып. 151. С. 140–153.
 29. Харитонов В.Г. Конспект флоры диатомовых водорослей (Bacillariophyceae) Северного Охотоморья. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2010. 189 с.
 30. Чекрыжов И.Ю., Попов В.К., Паничев А.М., Середин В.В., Смирнова Е.В. Новые данные по стратиграфии, вулканизму и цеолитовой минерализации кайнозойской Ванчинской впадины, Приморский край // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 29, № 4. С. 45–63.
 31. Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an 601 autoregressive gamma process // Bayesian Analysis. 2011. V. 6. P. 457–474.
 32. Chen R., Shen J., Li C., Zhang E., Sun W., Ji M. Mid- to

- late-Holocene East Asian summer monsoon variability recorded in lacustrine sediments from Jingpo Lake, Northeastern China // *The Holocene*. 2015. V. 25. P. 454–468.
33. Chen X.-Y., Blockley S.P.E., Tarasov P.E., Xu Y.-G., McLean D., Tomlinson E.L., Albert P.G., Liu J.-Q., Müller S., Wagner M., Menzies M.A. Clarifying the distal to proximal tephrochronology of the Millennium (B-Tm) eruption, Changbaishan Volcano, northeast China // *Quaternary Geochronology*. 2016. V. 33. P. 61–75.
 34. Fagan B. *The Little Ice Age. How climate made history 1300–1850*. New-York: Basic Books, 2000. 246 p.
 35. Hargan, K.E., Rühland K.M., Paterson A.M., Finkelstein S.A., Holmquist J.R., MacDonald G., Keller W., Smol J.P. The influence of water-table depth and pH on the spatial distribution of diatom species in peatlands of the Boreal Shield and Hudson Plains, Canada // *Botany*. 2015. V. 93. P. 57–74.
 36. Krammer K., Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae*, in *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1986. 876 p.
 37. Krammer K., Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1991. 576 p.
 38. Krammer K., Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae. Teil 4: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1991. 437 p.
 39. Krammer K. The genus *Pinnularia* // *Diatoms of Europe. Diatoms of the European inland waters and comparable habitats*. Ruggel: A.R.G. Canther Verlag K.G., 2000. V. 1. 703 p.
 40. Kwandrans J. Diatom communities of acidic mountain streams in Poland // *Hydrobiologia*. 1993. V. 269/270. P. 335–342.
 41. Li C., Wu Ya., Hou X. Holocene vegetation and climate in Northeast China revealed from Jingbo Lake sediment // *Quaternary Internat*. 2011. V. 229. P. 67–73.
 42. Liu Y, Wang Q., Fu C. 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*. 2011. V. 92. N 1–2. P. 205–232.
 43. Ljungqvist F.C. A new reconstruction of temperature variability in the extratropical Northern Hemisphere during the last two millennia // *Geografiska Annaler*. 2010. V. 92A. P. 339–351.
 44. Oppenheimer C., Wacker L., Xu J., Galván J.D., Stoffel M., Guillet S., Corona C., Sigl M., Cosmo N.D., Hajdas I., Pan B., Breuker R., Schneider L., Esper J., Fei J. Hammond J.O.S., Büntgen U. Multi-proxy dating the «Millennium Eruption» of Changbaishan to late 946 CE // *Quaternary Sci. Rev.* 2017. V. 158. P. 164–171.
 45. Panichev A.M., Baranovskaya N.V., Seryodkin I.V., Chekryzhov I.Yu., Vakh E.A., Soktoev B.R., Belyanovskaya A.I., Makarevich R.A., Lutsenko T.N., Popov N.Yu., Ruslan A.V., Ostapenko D.S., Vetoshkina A.V., Aramilev V.V., Kholodov A.S., Golokhvast K.S. Landscape REE anomalies and the cause of geophagy in wild animals at kudurs (mineral salt licks) in the Sikhote-Alin (Primorsky Krai, Russia) // *Environ Geochem Health*. V. 44, N 3. P. 1–24.
 46. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Mokhova L.M., Kudryavtseva E.P., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Starikova A.A. Landscape and environmental changes of Eastern Primorye coast at middle–late Holocene: climatic changes and human impact effects // *J. Asian Earth Sci.* 2018. V. 158. P. 160–172.
 47. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Mokhova L.M., Makarova T.R., Kudryavtseva E.P., Panichev A.M., Arslanov Kh.A. Climate and human impact on vegetation in the upper part of the Ussuri River basin in late Holocene, Russian Far East // *Geography, Environment, Sustainability*. 2019. N 2(12). P. 162–172.
 48. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Mokhova L.M., Kopoteva T.A., Kudryavtseva E.P., Belyanin P.S., Panichev A.M., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Petrov A.Yu., Sudin V.V., Klimin M.A., Korniyushenko T.V. Holocene mountain landscape development and monsoon variation in the southernmost Russian Far East // *Boreas*. 2021. V. 50, N 4. P. 1043–1058.
 49. R Core Team, R: A Language and environment for statistical computing. R Vienna: Foundation for Statistical Computing, 2012.
 50. Reimer P. Letter from the Guest Editor // *Radiocarbon*. 2020. V. 62, N 40. P. V–VII.
 51. Sakaguchi Y. Some pollen records from Hokkaido and Sakhalin // *Bull. Dep. of Geogr. Univ. of Tokyo*. 1983. V. 21. P. 1–17.
 52. Stanek-Tarkowska J, Noga T., Kochman-Kędziora N., Peszek L., Pajęczek A., Kozak E. The diversity of diatom assemblages developed on fallow soil in Pogórska Wola near Tarnów (southern Poland) // *Acta Agrobot.* 2015. V. 68, N 1. P. 33–42.
 53. Steinhilber F., Beer J., Fröhlich C. Total solar irradiance during the Holocene // *Geophys. Res. Lett.* 2009. V. 36. P. L19704.
 54. Van Dam, H., Mertens, A., Sinkeldam, J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherland // *Netherlands J. Aquatic Ecology*. 1994. V. 28. P. 117–133.
 55. Wang L., Lu H., Liu J., Gu Z., Mingram J., Chu G., Li J., Rioual P., Negendank J.F.W., Han J., Liu T. Diatom-based inference of variation in the strength of Asian winter monsoon winds between 17,500 and 6000 calendar D.P. // *J. Geophys. Res.* 2008. V. 113. P. D21101.
 56. Wanner H., Solomina O., Grosjean M., Ritz S.P., Jetel M. Structure and origin of Holocene cold events // *Quat. Sci. Rev.* 2011. V. 30. P. 3109–3123.
 57. Zhou X., Liu Z., Yan Q., Zhang X., Yi L., Yang W., Xian R., He Y., Hu B., Liu Yi, Shen Y. Enhanced tropical cyclones intensity in the Western North Pacific during Warm Period over the Last Two Millennia // *Geophys. Res. Lett.* 2019. V. 46. P. 11959–11966.

Рекомендована к печати Ирой Б. Цой

после доработки 20.07.2022 г.

принята к печати 27.09.2022 г.

*N.G. Razjigaeva, L.A. Ganzey, T.A. Grebennikova, T.A. Kopoteva, M.A. Klimin, Kh.A. Arslanov,
F.E. Maksimov, A.Yu. Petrov, I.Yu. Chekryzhov, N.Yu. Popov, A.M. Panichev*

Bioindicators of atmospheric anomalies in peat sections on the eastern macroslope of the Sikhote-Alin in the Late Holocene

Studies of peat stratigraphy in the upper reaches of the Milogradovka River made it possible to restore changes in humidity as a source of moisture in the middle Sikhote-Alin over the last 3400 years. High-resolution reconstructions were based on the data from biostratigraphic analyses (botanical and diatom); the ash content of peat was also studied. Radiocarbon dating of the events was performed using an age-depth model. In the upper part of the section, the B-Tm cryptotephra of the Baitoushan caldera-forming volcano was found, which was identified by the volcanic glass chemical composition. Prolonged rains are assumed to cause a massive landslide with the formation of a dam and a shallow reservoir turning the river valley into a swamp. Bioindicators of changes in humidity in the river valley and the occurrence of floods were identified. Events were correlated with the data for the main watershed of the Sikhote-Alin, mountainous plateaus, lakes on the slopes of the ancient Solontsovsky volcano and the eastern Primorye coast. The peat section in the valley is shown to record in more detail the hydrological changes associated with the nature of cyclogenesis. A relationship was revealed between paleoevents and anomalies of large-scale atmospheric circulation. Long dry phases occurred during global cooling and were accompanied by aridization in East Asia, caused by a decrease in the intensity of the East Asian summer monsoon. Studies show that floods occurred in the summer to autumn season even in dry phases. The phases of flooding were associated with the activation of the summer monsoon, as well as more intense cyclogenesis. The most complex climate rhythm was established for the last 1340 years.

Key words: high-resolution reconstruction, radiocarbon dating, climatic changes, Eastern Asian monsoon, cyclogenesis.