

Л.И. ИНИШЕВА\*, М.С. ДОСТОВАЛОВА\*\*

\*Томский государственный педагогический университет,  
634061, Томск, ул. Киевская, 60, Россия, inisheva@mail.ru\*\*Горно-Алтайское отделение филиала  
«Сибирский региональный центр ГМСН» ФГБУ «Гидроспецгеология»,  
649000, Республика Алтай, с. Майма, ул. Заводская, 52, Россия, Aya.toyma@yandex.ru**ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ И СКОРОСТЬ ТОРФОНАКОПЛЕНИЯ  
НА ТЕРРИТОРИИ ГОРНОГО АЛТАЯ**

*Проанализированы литературные, фондовые и собственные данные исследований торфонакопления за период голоцена. Рассмотрена динамика процесса на современном этапе. Показано, что процесс болотообразования на территории Горного Алтая имеет четкую зависимость от расчлененности рельефа. Определено, что в пределах этой территории выделяются две крупные субширотные зоны площадного развития процессов заболачивания, для которых характерны слабая и средняя расчлененность рельефа. В северной части Горного Алтая данная зона площадного развития болот охватывает низкогорные и среднегорные выположенные пространства; в южной части она зафиксирована в пределах высокогорных нагорий, плоскогорий, плато и межгорных котловин. Установлено, что триггерные факторы болотообразовательного процесса на территории исследования представлены метеорологическими, гидрологическими, гидрогеологическими параметрами. Выявлены особенности пространственной (зональной) динамики скорости прироста торфа в целом по голоцену, а также закономерности их изменения по периодам голоцена. Впервые определены скорости торфообразования в каждой зоне Горного Алтая. В низкогорной зоне экстремальные значения скорости торфообразования (0,1–0,7 мм/год) относятся к среднему и позднему голоцену. В среднегорной зоне экстремальные значения скорости торфообразования датируются ранним и средним голоценом (0,03–1,0 мм/год), в высокогорной — поздним голоценом с широким интервалом значений (от 0,05 до 2,3 мм/год). На примере исследования углеродного баланса болот северо-восточной части Горного Алтая получено доказательство прогрессирующего торфообразовательного процесса в современный период.*

**Ключевые слова:** болотообразовательный процесс, торфяная залежь, болото, возраст, скорость торфообразования, баланс углерода.

L.I. INISHEVA\*, M.S. DOSTOVALOVA\*\*

\*Tomsk State Pedagogical University,  
634061, Tomsk, ul. Kievskaya, 60, Russia, inisheva@mail.ru\*\*Gorno-Altai Branch of the Siberian Regional Center for State Monitoring of the Subsoil,  
Federal State Budgetary Institution “Gidrospetsgeologiya”,  
649000, Altai Republic, s. Maima, ul. Zavodskaya, 52, Russia, Aya.toyma@yandex.ru**NATURAL FACTORS AND THE RATE OF PEAT ACCUMULATION  
IN THE TERRITORY OF GORNY ALTAI**

*The article analyzes literary, archive and our own research data on peat accumulation during the Holocene. The dynamics of the process at the present stage is considered. It is shown that the process of paludification in the territory of Gorny Altai has a clear dependence on the relief dissection. It is determined that within this territory there are two large sublatitudinal zones of areal development of swamps, which are characterized by weak and medium relief dissection. In the northern part of Gorny Altai, this zone of areal development of swamps covers low-mountain and mid-mountain flattened spaces; in the southern part, it is recorded within the high-mountain uplands, tablelands, plateaus and intermountain basins. It is established that the trigger factors of paludification in the study area are represented by meteorological, hydrological and hydrogeological parameters. The features of spatial (zonal) dynamics of the peat growth rate in general for the Holocene, as well as the patterns of their change by the Holocene periods have been revealed. Peat formation rates in each zone of Gorny Altai have been determined for the first time. In the low-mountain zone, extreme values of the peat formation rate (0,1–0,7 mm/year) refer to the Middle and Late Holocene. In the mid-mountain zone, extreme values of the peat formation rate date back to the Early and Middle Holocene.*

(0,03–1,0 mm/year), while in the high-mountain zone — to the Late Holocene with a wide range of values (from 0,05 to 2,3 mm/year). The carbon balance study of swamps in the north-eastern part of Gornyy Altai has provided evidence of progressive peat formation process in the modern period.

**Keywords:** swamp formation process, peat deposit, swamp, age, peat formation rate, carbon balance.

## ВВЕДЕНИЕ

Горный Алтай (ГА) — территория с чрезвычайно разнообразным рельефом, представляющая собой сложную систему хребтов, глубоких речных долин и широких межгорных котловин, — занимает юго-восточную часть Западной Сибири, относится к юго-западной части Алтае-Саянской складчатой области и характеризуется сложным складчато-блоковым строением, сформированным в процессе длительного многоэтапного развития. Здесь отчетливо выражено увеличение абсолютных высот с севера, северо-запада на юг, юго-восток, что определяет разделение территории на три высотных пояса — низкогорный (250–800 м), среднегорный (центральный, 800–1800 м) и высокогорный (более 1800 м). Низкогорный рельеф преобладает в северной части ГА. Среднегорье занимает центральную и западную его части. Крупные межгорные впадины в среднегорном поясе расположены в интервале высот от 800 до 1250 м (Уймонская, Канская, Урсульская, Абайская, Улаганская впадины). Высокогорный рельеф занимает более 30 % площади ГА. Днища Чуйской, Курайской, Самахинской, Бертекской, Джулукульской высокогорных впадин находятся в пределах высот от 1500 до 2350 м. Болотообразовательные процессы характерны практически для всех орографических поясов Горного Алтая.

Цель данной работы — исследование скорости торфонакопления по периодам голоцена на территории Горного Алтая и определение факторов, на нее влияющих.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В настоящее время на территории Горного Алтая изучено до 200 участков болотообразования. В 2007–2011 гг. нами были проведены экспедиционные работы по всему Горному Алтаю. В его северо-восточной части был организован болотный стационар, на трех представительных болотах которого проводился мониторинг режимов, в том числе газового [1].

Расчет прироста торфа в целом по разрезам за весь период голоцена и за его отдельные отрезки проведен по результатам абсолютных датировок нижних слоев торфяных отложений соответствующей мощности. Датирование выполнено с помощью радиоуглеродной установки QUANTULUS-1220 (бензольно-сцинтилляционный вариант) в лаборатории геологии и палеоклиматологии кайнозоя Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск). В случае отсутствия абсолютных датировок возраст отдельных слоев устанавливался по результатам палинологического анализа. В процессе работы использовались также фондовые данные — геологические карты РФ серии «Горно-Алтайская». Для характеристики природно-климатических зон брали актуальные среднемноголетние показатели по температурному режиму и режиму увлажнения территории (климатические нормы за период 1991–2020 гг.) на основании данных государственных метеостанций и метеопостов, а также сведений из опубликованных материалов по климату Республики Алтай.

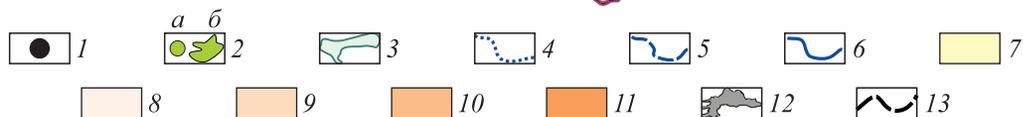
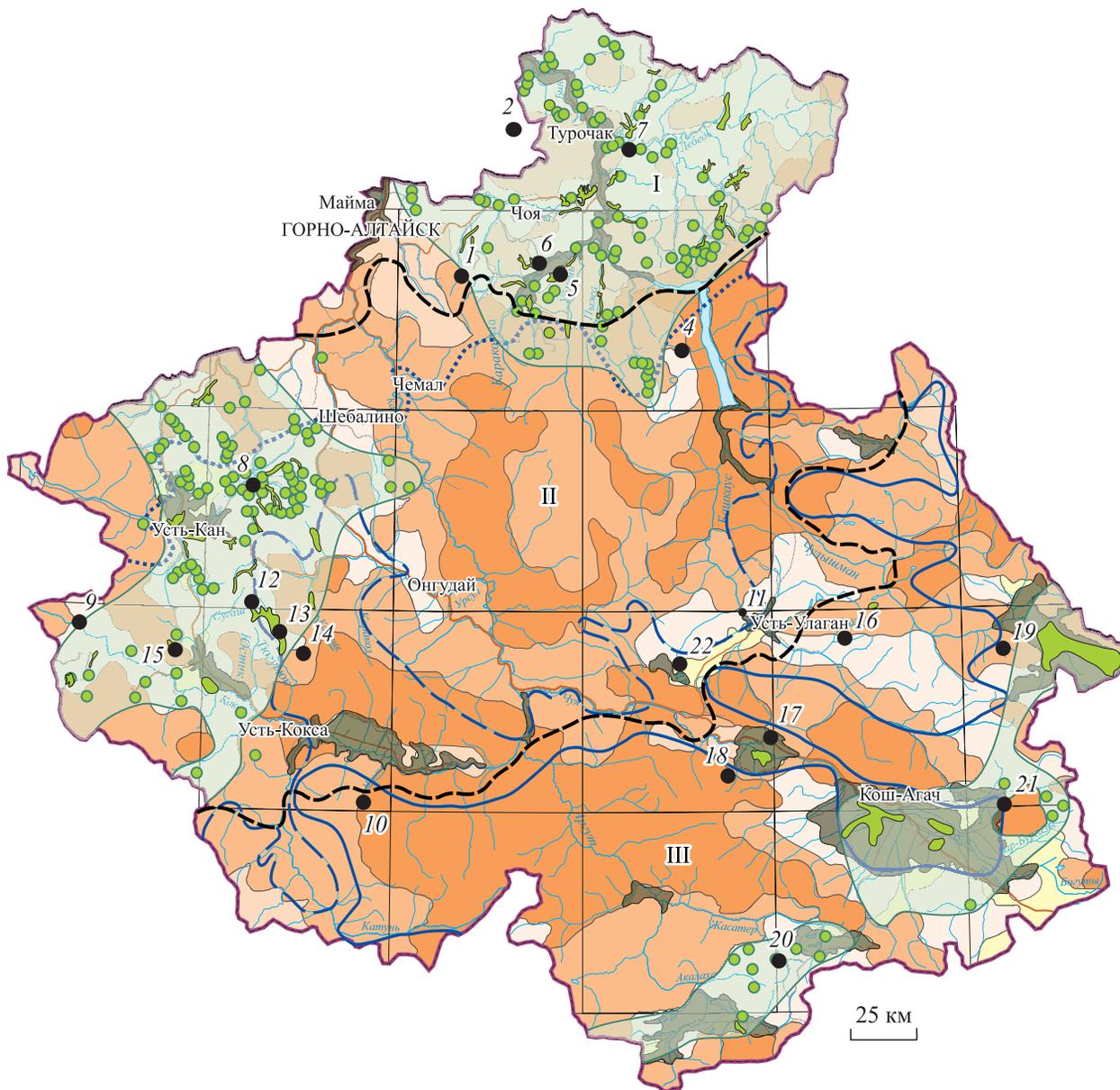
Для изучения элементов углеродного баланса использовали методы, которые подробно изложены в [1, 2]. Все лабораторные исследования проводили в аккредитованной лаборатории Томского государственного педагогического университета (РОСС RU.0001.516054).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основными факторами болотообразовательного процесса на территории Горного Алтая являются метеорологические, гидрологические, гидрогеологические параметры. Так, среднегодовые температуры воздуха снижаются по мере увеличения абсолютных высот, изменяясь от 3,1 °С в низкогорной зоне до –3,7 °С в высокогорной (для водоразделов высокогорных хребтов — до –4,8 °С). Количество осадков уменьшается в направлении с севера на юг по средним значениям от 730 до 123 мм. При этом в средне- и высокогорных районах значения осадков широко варьируют в зависимости от структурно-геоморфологической приуроченности местности.

Минимальное промерзание грунтов характерно для низкогорного Алтая (28–37 см), максимальное промерзание в виде сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов — для высокогорных впадин Юго-Восточного Алтая (>300 см). Прерывистая мерзлота распространена в среднегорной зоне.

Мерзлота не только служит водупором и обуславливает развитие болот, но и определяет микрорельеф и структуру болотных ландшафтов. Анализ распространения болот на территории Горного Алтая показывает четкую зависимость процессов заболачивания и от расчлененности рельефа (см. рисунок). Выделяются две крупные субширотные зоны площадного развития процессов заболачивания, для



Развитие процессов болотообразования на территории Горного Алтая.

1 — пункты отбора проб (см. табл. 1); 2 — участки заболачивания по материалам специализированных и геологических работ: *a* — внесштабный знак, *b* — площадное заболачивание; 3 — зоны распространения процессов болотообразования. Геокриологические факторы. Мерзлота: 4 — островная (площадь ММП до 10 %), 5 — прерывистая (10–50 %), 6 — сплошная (50–100 %). Орографические условия. Расчленение рельефа, м: 7 — крайне слабое (менее 100), 8 — слабое (100–300), 9 — среднее (300–600), 10 — сильное (600–1000), 11 — очень сильное (более 1000). 12 — межгорные новейшие впадины. 13 — границы орографических зон: I — низкогорье, II — среднегорье, III — высокогорье.

которых характерны слабая и средняя расчлененность рельефа. В северной части Горного Алтая зона площадного развития охватывает низкогорные и среднегорные выположенные пространства; в южной части она зафиксирована в пределах высокогорных нагорий, плоскогорий, плато и межгорных котловин. Наибольшее количество болот приурочено к низкогорной зоне.

На территории Горного Алтая возраст болот насчитывает не более 8–10 тыс. лет, что соответствует современному этапу осадконакопления — голоцену. Накопление торфа в осадках голоцена свидетельствует об активных процессах болотообразования, которые подтверждаются и геологическими фактами. Динамику прироста торфа можно рассматривать как показатель, который отражает изменение природных условий на протяжении периода торфонакопления. Именно внутривековые и сверхвековые изменения температуры и увлажненности определяют ее вариацию в течение голоцена. Поскольку таких исследований по Горному Алтаю очень немного, будем оперировать средними величинами скорости торфонакопления (табл. 1).

В низкогорном Северном Алтае процессы болотообразования в голоцене получили наибольшее развитие практически во всех долинах рек, на месте зарастающих проток, стариц, замкнутых озерных понижений в рельефе поймы, в котловинообразных расширениях речных долин и их пологосклонных верховьях, на плоских водоразделах. Согласно работе Г.Г. Русанова [3], в низкогорной зоне Северного Алтая в позднем неоплейстоцене и голоцене в интервале высот 250–1000 м были многочисленные озера, которые в последующем превратились в болота низинного и переходного типа. Болотообразовательный процесс получил широкое развитие и в долинах рек. Радиоуглеродные датировки линз, прослоев торфа и растительного детрита в поймах и старицах рек Чапша, Иша и Малая Иша —  $2390 \pm 30$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (СОАН-3500),  $1605 \pm 50$  лет (СОАН-3501),  $440 \pm 35$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (СОАН-3505) соответственно — показывают, что процесс активизировался в позднеголоценовый период. В голоценовых отложениях поймы р. Иши вскрыты торфяники мощностью 0,6 м, возраст которых датирован  $6880 \pm 35$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (средний голоцен), скорость торфообразования составляет 0,1 мм/год. Наиболее крупные болотные массивы располагаются в долине р. Бии и по ее притокам и имеют мощность торфяной залежи до 3 м. Например, торфяная залежь мощностью 1,5 м в верховье р. Малые Чили имеет радиоуглеродный возраст  $5610 \pm 160$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (RGI-208, средний голоцен) и скорость торфообразования 0,3 мм/год.

Более подробно остановимся на характеристике Ыныргинского торфяного месторождения, площадь которого составляет 8,50 км<sup>2</sup>. Повсеместное распространение на месторождении лесных и лесотопяных видов торфа в основании торфяной залежи свидетельствует о первоначальном заболачивании лесов. В настоящее время отмечается распространение мезотрофной и олиготрофной растительности, формирующей торф мезотрофного типа, что свидетельствует о том, что торфяник перешел в мезотрофную стадию развития, а преобладающее наличие глубин в пределах 0,2–0,5 м свидетельствует о плоскостном его росте. Зондирование в центре торфяной залежи мощностью 1,5 м позволило определить возраст торфяника  $2215 \pm 140$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (СОАН-8037) и скорость торфообразования в позднем голоцене — 0,7 мм/год.

Низинное Турочакское болото имеет площадь 1,19 км<sup>2</sup>. Это болото является наиболее древним, его возраст равен  $7060 \pm 90$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (СОАН-8034). Мощность торфяной залежи достигает 35 м, включая лимногенные органоминеральные отложения мощностью до 2,5 м в нижней части залежи. Подстилающие породы — суглинки и глины. Болото образовалось в средний голоцен, скорость торфообразования — 0,6 мм/год.

Болота в среднегорной зоне Центрального Алтая представляют собой многочисленные разрозненные, иногда довольно крупные массивы в Канской, Ябоганской, Абайской, Теньгинской, Тюгюрской, Улаганской межгорных впадинах, а также в верховьях многих речных долин. Есть они и на плоских водоразделах, и в частности на Семинском, Теректинском хребтах. Особенно крупные болотные массивы находятся в районе Теректинского хребта в долинах рек Каракол, Каирлык, Маргала, Тюгюрюк, Юстик, Делд-Сугаш. Болота среднегорья чаще относятся к низинному типу и располагаются на абс. высоте более 1500 м, в них с глубины 0,6–0,8 м наблюдается многолетняя мерзлота. Для поверхности этих болот характерны многочисленные торфяные бугры пучения высотой до 3 м и диаметром до 10 м.

В верхнем течении р. Чакыр (правый приток р. Ябоган) возраст болотных отложений с мелкими раковинами моллюсков на глубине 0,5 м определен в  $1530 \pm 0$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (СОАН-8243, поздний голоцен), скорость торфонакопления — 0,03 мм/год. В бассейне верхнего течения р. Коксы возраст торфяников, залегающих поверх озерных отложений в интервале глубин 0,25–1,7 м, датируется от  $240 \pm 30$  (СОАН-8223) до  $4095 \pm 85$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (СОАН-8221) вниз по залежи. Верхняя часть торфяной

Таблица 1

Обзор разрезов болотных отложений с определениями абсолютного возраста

Номер объекта	Объект, координаты	Литология	Генезис / рельеф	Возраст, <sup>14</sup> C лет BP	Источник данных
Низкогорная зона, Северный Алтай					
1	р. Малая Иша	Линзы и прослой торфа в аллювиальных отложениях	Аллювий / пойма	440 ± 35	ф
2	р. Чапша	Илы с растительным детритом и тонкими прослойками торфа	Озерные осадки / долина реки	2390 ± 30	[3]
3	р. Иша	Суглинки с прослоями торфа в пойменно-старичных озерах	Аллювий / пойма	1605 ± 50	[3]
4	Верховья р. Малые Чили, левый борт Телецкого озера	Торф мощностью 1,5 м в болотных отложениях	Аллювий / расширения долин	5610 ± 160	ф
5	Долина р. Саракокши	Глины, суглинки, супеси с прослоями детрита	Озерные осадки / долина реки	2000 ± 20	ф
6	Ыныргинское болото, (52°18' с. ш., 87°15' в. д.)	Болото, торф мощностью 1,5 м	— / долина	2215 ± 140	[4]
7	Турочакское болото, (52°13' с. ш., 87°06' в. д.)	Болото, торф мощностью 3,5 м	Озерно-болотные отложения / присклоновое понижение	7060 ± 90	[4]
Среднегорная зона, Центральный Алтай					
8	Верховья р. Чакыр, правый приток р. Ябоган	Суглинки с прослоями торфа на глубине 0,5 м	Аллювий / пойма	1530 ± 0	ф
9	Верховья р. Коксы	Торфяники поверх озерных отложений в интервале 0,25–1,7 м	Озерные осадки / озерная равнина	240 ± 30 – 4095 ± 85	ф
10	Долина р. Мульты, Катунский хребет, 1700 м	Торф мощностью 1,4 м на озерных отложениях	Озерные осадки / озерная равнина	4160 ± 150 – 3890 ± 90	ф
11	р. Каракудюр, окраина Улаганской впадины	Суглинки озерные с линзами ископаемой гиттии и торфа	Озерно-болотные / озерная равнина	10 820 ± 100	ф
12	Верховья р. Тюгюрюк, Тюгюрюкское болото	Торф до глубины 0,6–0,9 м, ниже озерные глины с гравием	Озерно-болотные / озерная равнина	950 ± 60	ф
13	Тюгюрюкское болото (50°38' с. ш., 85°19' в. д.)	Торф до глубины 0,4 м	Озерно-болотные / озерная равнина	520 ± 45	[4]
14	В 4 км выше устья р. Маргалы, 1496 м	Торф с глубины 0,8 м многолетнемерзлый	Аллювий / пойма	5385 ± 95	ф
15	Болото Соузар (50°38' с. ш., 85°18' в. д.)	Заболоченность, торф мощностью 0,2 м	— / котловина	520 ± 45	[4]
16	Долина р. Онулу (50°38' с. ш., 88°03' в. д.)	Торф до глубины 0,3 м	— / долина	905 ± 45	[4]
Высокогорная зона, Южный, Юго-Восточный Алтай					
17	Курайская впадина, конус выноса р. Курайки	Линзы торфа в суглинисто-галечных осадках аллювия	Аллювий / пойма	4590 ± 30	[5]
18	оз. Джангызколь в урочище Ештыкколь	Глины и суглинки с горизонтами гиттий, песка, торфяников	Озерные осадки / озерная равнина	3730 ± 35 – 1880 ± 60	[5]
19	Джулукульская впадина, р. Богояш	Линзы торфа в верхней части аллювиального комплекса	Аллювий / пойма	2700	[5]
20	Верховья р. Жасатер	Торфяники мощностью 0,3–1,0 м, ниже сапропели, глины, суглинки с линзами песков, торфа	Аллювиальные отложения / пойма	435 ± 35	ф
21	оз. Киндыктыкуль	Алевритистые пески с включениями плоских галек и гравия, с прослоем (0,1 м) торфа на глубине 0,3 м	Озерные осадки / озерная равнина	2115 ± 70	ф
22	Заболоченность Сас	Торф мощностью 0,3 м	Озерные осадки / долина	1100 ± 65	[4]

Примечание. Прочерк — нет данных; ф — фондовая литература.

залежи относятся к позднему голоцену, скорость торфообразования равна 1,0 мм/год. В нижней части торфообразование проходило в средний голоцен со скоростью 0,4 мм/год. На Катунском хребте, в долине р. Мульты, на высоте 1700 м торфяная залежь мощностью 1,4 м, перекрывающая озерные отложения, имеет возраст  $3890 \pm 90$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (СОАН-7826, средний голоцен) и скорость торфонакопления 0,34 мм/год. Болотные отложения отмечены в Абайской котловине и в котловинообразных понижениях, в верховьях рек Коксочка, Булукту, Сузар, где они залегают на озерно-ледниковых отложениях, а также небольшими фрагментами на поверхностях высоких пойма в долинах крупных рек.

В долине р. Каракудюор (на окраине Улаганской межгорной впадины) были описаны отложения, представленные озерными тяжелыми карбонатными суглинками с раковинами моллюсков и линзами ископаемой гиттии (радиоуглеродная датировка  $10820 \pm 100$   $^{14}\text{C}$  лет ВР, средний голоцен). Выше по разрезу они сменялись ископаемыми болотными торфяниками — гиттиями бурого-черного цвета мощностью 0,5 м. Можно предположить, что данная торфяная залежь образовалась в раннем голоцене и ее скорость торфонакопления — 0,05 мм/год. К этой же зоне относится заболоченность Сузар, мощность торфяного (дернового) слоя — 0,2 м, а зольность изменяется в широком интервале — от 12,2 до 51,8 %. Слой относится к позднему голоцену, его возраст —  $520 \pm 45$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (СОАН-8034), скорость образования торфа — 0,38 мм/год. Аналогичная заболоченность в долине р. Онулу с мощностью торфа 0,3 м характеризуется возрастом  $905 \pm 45$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (СОАН-8039), скорость торфообразования в позднем голоцене — 0,33 мм/год.

В котловинообразной долине верхнего течения р. Тюгюрюк длиной 21 км и шириной от 2 до 6 км на высоте 1520 м над ур. моря находится самое крупное в Горном Алтае болото — Тюгюрюкское (площадь 87,5 км<sup>2</sup>). Болото, образуя плоскую кочкарную и бугристую поверхность, залегают на неоплейстоценовых образованиях разного возраста и генезиса. Отложения представлены торфом, серыми, зеленоватыми и голубоватыми-серыми илами, суглинками и супесями с прослоями черных торфянистых илов. По периферии Тюгюрюкского болота на абс. высотах 1520–1540 м до глубины 0,6–0,9 м вскрыт плотный, хорошо разложившийся торф с примесью илистого материала. С глубины 0,6 м торф находится в многолетнемерзлом состоянии, его радиоуглеродный возраст на глубине 0,7 м составляет  $950 \pm 60$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (СОАН-9141).

В 4 км выше устья р. Маргалы на абс. высоте 1496 м до глубины 0,8 м вскрыто торфяное отложение, его радиоуглеродный возраст на глубине определен в  $5385 \pm 95$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (СОАН-9360). Также проведением замеров на окраине Тюгюрюкского болота в конкретной точке ( $50^{\circ}38'$  с. ш.,  $85^{\circ}19'$  в. д.) было установлено, что мощность торфа составляет 0,4 м, ее возраст —  $430 \pm 55$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (СОАН-8036), скорость торфообразования — 0,9 мм/год.

В высокогорной зоне Юго-Восточного Алтая торфяные отложения развиты как в днищах, так и в горном обрамлении высокогорных впадин. Торфяные отложения представлены также фрагментами на речных поймах и на осушенных днищах морено-подпрудных озер. Они распространены в крупных и широких пологонаклонных логах и в замкнутых понижениях на ледниковых и солифлюкционных склонах. Площадь болот варьирует от тысяч квадратных метров до нескольких квадратных километров. Поверхности болот плоские, покрыты крупными кочками, на высоте более 2200 м встречаются торфяные бугры пучения высотой до 1,5–2 м и диаметром до 5 м, термокарстовые воронки, зачастую заполненные водой. Болота в центральной части впадин нередко осложнены гидроморфными солончакками, развивающимися по периферии болот, соленых озер, в днищах высохших озер.

Процессы заболачивания, кроме межгорных впадин, широко распространены на плоскогорье Укок, в долинах рек Караалаха, Шиндагатуй, в верховье р. Акколь, в междуречье Аргамджи и Калгуты, в верховьях долин рек Уландрык, Бар-Бургазы и Куруозек, в районе Каракульских озер. Так, в Курайской межгорной впадине в галечно-русловом и пойменно-суглинистом аллювиально-пролювиальном комплексе В.В. Бутвиловским [5] выделены линзы торфа, датированные  $4590 \pm 30$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (средний голоцен, СОАН-2375). Им же констатируется, что в котловине оз. Джангызколь, в урочище Ештыкколь, отмечаются горизонты торфяников, иногда криотурбированных, которые датируются  $3730 \pm 35$  –  $1880 \pm 60$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (средний и поздний голоцен). В районе оз. Джулукуль определены заболоченности с мощностью торфяной залежи 0,4 м, в подстилающих породах которых фиксируются ленточные глины, синхронные последнему оледенению [6]. В нижней части залежи отмечается резкое преобладание (81 %) преимущественно холодостойких ксерофитов. Выше по залежи увеличивается содержание и разнообразие пыльцы древесных пород — сокращение пыльцы кустарниковой березы и увеличение пыльцы сосны и кедра. Подобные голоценовые торфяники характерны и для долин горных рек Кара-Кудюр, Кара-Озек, Юткун-Куль.

В верховьях р. Жасатер болотные отложения представлены торфяниками мощностью 0,3–1,0 м. Радиоуглеродный возраст торфа с глубины 1 м —  $435 \pm 35$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (СОАН-7410, поздний голоцен),

скорость торфообразования — 2,3 мм/год. На восточном берегу оз. Киндыктыкуль отмечены озерные отложения с прослоем (10 см) погребенного торфа на глубине 0,3 м, возраст которого  $2115 \pm 70$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (СОАН-7411, поздний голоцен), скорость торфообразования — 0,05 мм/год. Болото Сас имеет небольшую мощность торфяного слоя — 0,3 м, с глубины 25 см начинается мерзлота и далее подстилается галькой с глинистым включением. Залежь относится к позднему голоцену, ее возраст  $1100 \pm 65$   $^{14}\text{C}$  лет ВР (СОАН-8040), скорость торфообразования — 0,3 мм/год.

Проведем сравнение полученных результатов для Горного Алтая со скоростью торфообразования в лесостепной зоне Западной Сибири [7]. В позднем голоцене скорость торфонакопления в лесостепной зоне была в пределах 0,7–1,55 мм/год, на территории Горного Алтая — 0,05–2,3 мм/год.

В среднем голоцене в Западной Сибири — 0,5–1,6 мм/год, на территории исследования — 0,03–1,0 мм/год, в раннем голоцене 0,7 и 0,05 мм/год соответственно. Если не принимать во внимание скорость торфонакопления 2,3 мм/год в позднем голоцене в торфянике в верховьях р. Жасатер, то можно сделать вывод о более низких скоростях торфонакопления на этой территории, особенно в раннем голоцене.

Параметры возраста болотных образований, скорости торфонакопления совместно с анализом динамики долинных ледников, литологической ритмичностью осадков (аллювиальных, озерных, склоновых и ледниковых) позволяют говорить о чередовании климатических колебаний, а также о соотношении во времени фаз похолоданий/потеплений и увлажнений/аридизации на территории Горного Алтая в голоцене, что, в свою очередь, приводило к вертикальным миграциям ландшафтных зон (табл. 2).

Таким образом, ранний голоцен (бореальный период) представлял собой эпоху теплого и относительно сухого климата с термическим максимумом на рубеже бореала и атлантика. В бореальный период зона максимального увлажнения смещалась в высокогорья, среднегорья, а низкогорья иссушались. Значительно уменьшалась водность рек, происходило осолонение озерных бассейнов в низкогорье, замедлялись процессы склоновой денудации, озерного и речного осадконакопления, исчезали ледники. Резко сокращалась площадь зоны многолетнемерзлых пород. Так, повышение средних летних температур в термический максимум оценивается В.В. Бутвиловским на 4–6 °С выше современных, граница ландшафтных поясов поднималась на 400–500 м [5].

В атлантический период среднего голоцена наблюдался климатический оптимум. В этот промежуток времени граница леса поднималась на 300–400 м выше современной линии, а среднегодовые температуры превышали современные на 4 °С. В низкогорье в этот период были распространены сухие степи с колками березы и сосны, в среднегорье — березово-сосновые и лиственничные леса, сухие степи и луга, в высокогорье — хвойная тайга. Конец оптимальной эпохи голоцена на Алтае совпадает с рубежом атлантика — суббореала и датируется примерно 4,5 тыс. л. н. Потепление в юго-восточной части Алтая в период атлантика намного превышало современное потепление по температуре и продолжительности [8].

В суббореальный период среднего голоцена отмечалась аккемская стадия похолодания, чему сопутствовало увеличение увлажнения и рост ледников. За кратковременным похолоданием, длившимся с 3700 по 3300 л. н., наступил период межстадиального потепления. В высокогорной юго-восточной части Горного Алтая межстадиальное потепление сопровождалось повышением увлажненности, активизацией каменных глетчеров, обусловленной таянием многолетнемерзлых пород, формированием озерных и торфяных отложений.

Для позднего голоцена характерны неоднократные периоды похолодания и увлажнения климата длительностью 400–700 лет, разделенные значительными потеплениями. Отмечалось резкое усиление неравномерности развития окружающей среды: учащение экстремальных явлений, усиление мощных паводков на реках, сели, расширение пояса вечной мерзлоты, наступление ледников, изменение уровней озерных бассейнов, активизация обвально-осыпных процессов. Понижение зимних и летних температур в историческую стадию оледенения оценивалось в 1–3 °С для летнего и 5–10 °С для зимнего периода [5]. Граница леса опускалась периодически ниже современной линии на 100–300 м, и формировалось следующее распределение растительности по высотным поясам: березово-хвойные лесостепи получали развитие в нижних поясах, заболоченная тайга — в среднегорье, горная тундра и тундрово-степная растительность — в высокогорье. Пики межстадиальных потеплений в позднем голоцене были несколько теплее современного климата.

Процессы болотообразования той или иной степени активности характерны для всего периода голоцена, но в периоды межстадиальных потеплений при иссушении озерных котловин преобладало торфообразование, а в периоды похолоданий — накапливались озерные и озеро-болотные осадки с растительным детритом.

## Палеогеографические особенности болотообразования на Горном Алтае в голоцене

Датировка	Стадия осадконакопления на Алтае	Отклонения от современного состояния (Т/О/Л)	Климатические условия осадконакопления
Климатическая стадия: субатлантик, поздний голоцен			
2500 л. н. — настоящее время	Межстадиальное потепление — с XIX в.	0/0/0	Потепление: деградация ледников и многолетней мерзлоты, активизация склоновых процессов
	Стадия актру (малая ледниковая эпоха) — XIII–XIX вв.	-1/+100/-60-90	Похолодание: рост ледников, увеличение речного стока, образование пойменно-старичных озер
	Средневековый оптимум	+1/0/+50-100	Межстадиальное потепление и иссушение климата: деградация многолетней мерзлоты, иссушение озер, накопление торфа со скоростью до 0,29 мм/год
	Историческая стадия оледенения — 2400-1700 л. н.	-2,5/+100/-100-300	Похолодание, рост увлажненности: активизация склоновых процессов, агградация в средне- и высокогорье многолетнемерзлых пород, снижение границы многолетней мерзлоты до 1080 м
Климатическая стадия: суббореал, средний голоцен			
4500-2500 л. н.	Межстадиальное потепление	до +3/н. д./+500	Потепление и иссушение климата: смена заболоченных горно-таежных ландшафтов на лесостепные, потом горностепные; подъем ландшафтных поясов на 400-500 м, формирование торфа
	Аккемская стадия оледенения: 3700-3300 л. н. [8]	-2,5/+75-100/-500	Похолодание, рост увлажненности: рост ледников, увеличение речного стока, заболачивание впадин
Климатическая стадия: атлантик, средний голоцен			
7700-4500 л. н.	Климатический оптимум	+4,2/-300/+300-400	Устойчивое сильное потепление и иссушение климата: агградация долин в условиях засушливого и более теплого климата, резкое сокращение площади многолетнемерзлых пород, подъем границы леса на 300-400 м, накопление торфа
Климатическая стадия: бореал, ранний голоцен			
10 700-7700 л. н.	Климатический максимум	+4-6 (летние Т)/н. д./+400-500	Начало потепления и иссушения климата: уменьшение водности рек, осолонение озерных бассейнов, деградация ледников и многолетней мерзлоты, подъем ландшафтных поясов на 400-500 м
	Межстадиальное оледенение: 9400-9200 л. н.	-1,5/+100/н. д.	Похолодание, рост увлажненности: накопление озерных илов

Примечание. Т — температура воздуха, °С; О — осадки, мм; Л — границы ландшафтов, м; н. д. — нет данных.

Интересно проанализировать активность процесса торфообразования в современный период. В 2010–2013 гг. на стационаре в северо-восточной части Горного Алтая на болотах переходного (Кутюшское) и низинного (Турочакское) типов нами была проведена оценка углеродного баланса болот. В разные по погодным условиям годы наблюдалась невысокая эмиссия газов CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> по сравнению, например, с данными газового режима болот Европейской России [9] и Сибири [1]. Потери углерода за летний период в виде суммы эмиссии CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> составили на низинном болоте от 32,7 до 73,9 г С/(м<sup>2</sup>·год), на переходном — от 42,1 до 76,6 г С/(м<sup>2</sup>·год). При сравнении величины чистой первичной продукции на этой территории [10] со значениями потери углерода в виде парниковых газов можно заключить, что потери углерода на исследуемых болотах меньше в десятки раз. Более подробно газовый режим и углеродный баланс рассмотрены в работе [1]. Отсюда можно сделать вывод о прогрессирующем торфообразовательном процессе в болотах северо-восточной части Горного Алтая в настоящее время.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ распространения участков болотообразования на территории Горного Алтая показывает четкую зависимость процессов заболачивания от орографических, геолого-геоморфологических особенностей, литологического состава пород и наличия многолетнемерзлых грунтов. Запускающим режимобразующим фактором является климат. В среднегорных и высокогорных районах значения осадков широко варьируют в зависимости от структурно-геоморфологической приуроченности местности.

Приведены скорости торфообразования в каждой зоне Горного Алтая. В низкогорной зоне экстремальные значения скорости торфообразования относятся к среднему и позднему голоцену — 0,1–0,7 мм/год; в среднегорной — датируются ранним и средним голоценом — 0,03–1,0 мм/год, в высокогорной — поздним голоценом с широким интервалом значений — от 0,05 до 2,3 мм/год.

Определение скорости прироста торфа на отдельных территориях позволило пока предварительно выявить особенности пространственной (зональной) динамики этих показателей в целом по голоцену, а также закономерности их изменения по периодам голоцена. Сравнение скорости торфообразования в пределах Горного Алтая и в лесостепной зоне Западной Сибири свидетельствует о более низких их значениях на территории исследования, в особенности в раннем голоцене.

Анализ углеродного баланса, проведенный на болотах Северо-Восточного Алтая низинного и переходного типов, показал, что, в сравнении с аналогичными результатами в лесостепной зоне Западной Сибири, потери на болоте низинного типа меньше в 17 раз, на болоте переходного типа — меньше в 16 раз, что свидетельствует о прогрессирующем в настоящее время торфообразовательном процессе, по крайней мере на болотах в северо-восточной части Горного Алтая.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 24–26–00161.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Inisheva L.I., Golovchenko A.V., Smirnov O.N. Monitoring Greenhouse Gases in the Peat Deposits of Swamps in Gornyi Altai // Geography and Natural Resources. — 2023. — Vol. 44, N 1. — P. 23–31. — DOI: 10.1134/S187537282301002X
2. Naumov A.V., Smolentseva E.N. Estimation of carbon dioxide exchange of cascade geochemically conjugated steppe ecosystems in salinity condition // Steppe Ecosystems: Biological Diversity, Management and Restoration. — New York: Nova Science, 2013. — P. 153–163.
3. Русанов Г.Г. Позднеплейстоценовые и голоценовые озера Северного Алтая: происхождение, динамика, физико-географическое значение: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Барнаул, 2004. — 22 с.
4. Ларина Г.В., Инишева Л.И., Порохина Е.В. Болота Республики Алтай: распространение, особенности торфообразования, свойства залежей, использование // Труды Карел. науч. центра РАН. — 2017. — № 6. — С. 3–14. — DOI: 10.17076/bg536
5. Бутвиловский В.В. Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 1993. — 253 с.
6. Девяткин Е.В. Кайнозойские отложения и неотектоника Юго-Восточного Алтая. — М.: Наука, 1965. — 285 с.
7. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.В., Инишева Л.И., Курнишкова Т.В., Слукса З.А., Толпышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. — Тула: Гриф и Ко, 2001. — 584 с.
8. Агатова А.Р., Назаров А.Н., Непоп Р.К., Орлова Л.А. Радиоуглеродная хронология гляциальных и климатических событий голоцена Юго-Восточного Алтая (Центральная Азия) // Геология и геофизика. — 2012. — Т. 53, № 6. — С. 712–737.
9. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С. Метан в почвах Европейской России // Изв. РАН. Сер. геогр. — 2018. — № 3. — С. 47–55. — DOI: 10.7868/S2587556618030068
10. Волкова И.И., Волков И.В., Косых Н.П., Мирныхева-Токарева Н.П., Кирпотина Л.В., Земцов В.А., Колмакова М.В., Кураев А.В., Захарова Е.А., Кирпотин С.Н. Горная озерно-болотная система урочища Ештыкёл (Горный Алтай) // Вестн. Том. ун-та. Биология. — 2010. — № 1 (9). — С. 118–137.

*Поступила в редакцию 08.07.2024*

*После доработки 19.12.2024*

*Принята к публикации 21.05.2025*