

ТОРФЯНЫЕ БОЛОТА И ИХ БИОСФЕРНАЯ РОЛЬ**Л.И. Инишева^{1*}, Е.В. Порохина¹, М.А. Сергеева¹,
К.И. Кобак²**¹Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия;²Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия* Эл. почта: inisheva@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.12.2019; принята к печати 15.01.2020

Болота занимают в России значительные территории. В статье рассмотрены основные факторы процесса образования торфяных болот и их биосферные функции. На примере сосново-кустарничково-сфагновых биогенотозов Западной Сибири проанализирован баланс углерода в различные по погодным условиям годы. Результаты полевых наблюдений и проведенные расчеты прироста торфа в некоторых типах болот на основе математической модели свидетельствуют о положительном балансе (нетто-накоплении углерода) в разные годы. Можно сделать предположение, что в предстоящие десятилетия в современных климатических условиях (при увеличении количества осадков и повышении температуры) в северных регионах России, в том числе и на территории Западной Сибири, процесс болотообразования и торфонакопления активизируется.

Ключевые слова: Западная Сибирь, торфяные болота, торф, торфонакопление, функции болот.

PEATLANDS AND THEIR ROLE IN THE BIOSPHERE**L.I. Inisheva^{1*}, Ye.V. Porokhina¹, M.A. Sergeeva¹, K.I. Kobak²**¹Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia; ²State Hydrological Institute, Saint Petersburg, Russia* Email: inisheva@mail.ru

Bogs occupy a significant part of territory in Russia. In the present article, the main factors of formation of peat bogs and their functions in the biosphere are discussed as exemplified with pineal-bushy-mossy biocenoses in Western Siberia. Carbon balance during periods differing in climatic conditions are analyzed. Field observations and mathematical models of peat accretion suggest that net carbon accumulation takes place in bogs of several types. In may be expected that in the forthcoming decades the current climatic conditions will, upon increasing temperature and atmospheric precipitates, result in the activation of bog formation and peat accumulation in the north of Russia, including West Siberia.

Keywords: West Siberia, peatland, peat, peat accumulation, bog functions.

Болота – это уникальные образования биосферы, которые занимают 4,4% территории суши на земле. Первое место по их площадям и запасам принадлежит России. Это предполагает важную роль болот как на планете, так и на территории России.

Рассмотрим, какова роль болот. Но прежде всего обратим внимание на определение слова «болото». Болото – это участок земной поверхности, для которого характерны следующие признаки: постоянное застойное увлажнение, дефицит кислорода (гипоксия), формирование специфической растительности гигрофитов с приспособлениями к гипоксии, накопление частично разложившегося органического вещества. Это вещество в дальнейшем превращается в торф слоем не менее 30 см. При глубине торфа менее 30 см участок относят к заболоченным землям. В настоящее время болота, наряду с озерами и реками, справедливо относят к водным объектам. Почти вся вода, в том числе и входящая в состав останков растений, прочно

удерживается в порах молекулярными и капиллярными силами, и только 2–10% в верховом и 8–14% в низинном торфе составляет свободная вода, которая, подчиняясь закону силы тяжести, может вытекать из торфа. То есть водоотдача торфа очень низкая. Торф легко впитывает воду и плохо отдает ее рекам и на испарение.

Надо заметить, что болотная форма почвообразования – одна из древнейших, ее абсолютный возраст составляет около 400 млн лет. Проследим, какое участие болота приняли в формировании кислородсодержащего состава газовой оболочки планеты и выхода организмов из водной среды на сушу. Это происходило на протяжении трех периодов эволюции биосферы. Гидроземный период – это время господства океана, длительность его составила 3 млрд лет. В атмосферный период (продолжительность – 175 млн лет) происходила адаптация организмов к условиям воздушного окружения. Это период древних лесов и болот,

образования каменного угля из древних болот. В этот период болота сыграли роль переходного моста, по которому растения вышли из воды на сушу. Начался литоземный период (продолжительность – 160 млн лет), в течение которого растения и животные осваивали литосферную оболочку суши и отмечалось затухание болотного почвообразования (рис. 1).

Становление современных растительных формаций природных зон завершилось, преимущественно, примерно 70 млн лет назад. Образно говоря, современный мир вышел из древнего океана и древних болот.

Что касается современных болот, наиболее интересным является отрезок четвертичного периода кайнозойской эры – голоцен, продолжительность которого составила 10–12 тыс. лет. В образовании болот основное значение имеет климат. А климат в голоцене менялся неоднократно от оледенений и до потепления. Геологический период голоцена по показателям климата подразделяется на четыре периода: древний голоцен (9800–12000 BP (Before Present = до настоящего времени)), ранний (7700–9800 BP), средний (2500–7700 BP), поздний (0–2500 BP). В древнем голоцене климат на Земле стал теплым, ледник отступил, началось формирование условий для последующего процесса торфообразования. В ранний голоцен климат оценивается как умеренно теплый, а к концу – как холодный и сухой. В средний голоцен образовалась преобладающая часть современных болот с мощным торфяным профилем. Некоторое похолодание и увеличение влажности климата в поздний голоцен благоприятствовали дальнейшему росту сфагновых болот и «расползанию» их в разные стороны. Таким образом, например, образовалась болотная страна – Западносибирская равнина [11].

Функции, выполняемые болотными экосистемами, занимающими огромные территории в России, Канаде, в скандинавских и других странах, иллюстрирует рис. 2.

Например, болота играют важную роль в поддержании состава атмосферного воздуха: их растительность обогащает атмосферу кислородом, поглощает диоксид углерода, изымая из планетарного цикла углерод и консервируя его в торфяниках на тысячи лет. Но в результате разложения растительных остатков в анаэробных условиях в атмосферу поступает метан. Соотношение между потоками диоксида углерода и метана определяет «вклад» болот в возможное потепление глобального климата. Важна роль болот и в водном балансе территорий. Известно, например, что за летние месяцы с болот Западносибирской равнины выносится в среднем более 300 км³ испарившейся влаги на территорию Восточной Сибири и Казахстана. А запасы пресной воды в болотах этого региона достигают 1000 км³!

Болота обеспечивают сохранение генофонда редких, в том числе нигде не встречающихся видов животных, птиц и растений. На торфяных болотах произрастают лекарственные растения (багульник болотный, вахта трехлистная, сабельник болотный, таволга), растения, используемые в пищу (клюква болотная, морозника, брусника обыкновенная и др.). Например, при учете адаптации «болотных» бактерий к условиям кислой среды, низким температурам, частичному анаэробизису и т. д. можно прогнозировать длительное сохранение специфических форм бактерий в болотах, поддерживающих разнообразие бактерий на планете Земля.

Эра	Геологический период	Начало периодов, млн. лет	Периоды эволюции биосферы	Отложения твердых каустобиолитов
Кайнозойская	Антропоген	2		Бурый торф
	Неоген	25		
	Палеоген	67		
Мезозойская	Мел	137	Литоземный	Каменный уголь
	Юра	195		
	Триас	230		
Палеозойская	Перм	285	Атмосемный	Каменный уголь
	Карбон	350		
	Девон	406	Гидроземный	
	Силур	440		
	Ордовик	500		
Докембрий	570			

Рис. 1. Геохронология эволюции биосферы и отложений твердых углеводородов-каустобиолитов (по [2])



Рис. 2. Функции болот в биосфере

Торфяные болота служат гигантскими естественными фильтрами, которые поглощают токсичные элементы. В местах особо сильного техногенного загрязнения накопление токсичных веществ на болотах на порядок выше, чем на окружающих суходольных территориях. По мнению М.А. Глазовской [4], болота являются восстановительными ландшафтно-геохимическими барьерами. Они – своеобразные «ловушки», где могут аккумулироваться токсичные техногенные органические вещества и некоторые металлы.

Болота аккумулируют тепло и являются источниками местных тепловых потоков. В связи с этим на заболоченной территории в меньшей степени проявляются кратковременные засухи, весенние и осенние заморозки. Известны случаи, когда на осушенных торфяниках длительные (до нескольких ночей) заморозки вызывали гибель сельскохозяйственных культур, в то время как на территории, которая прилегает к болотам, заморозки не отмечались. В холодные и жаркие периоды года естественные болота противостоят перегревам и переохлаждениям воздуха, а также засухам, смягчая микроклимат не только над площадью болота, но и на прилегающих территориях.

Болота выполняют культурно-рекреационную функцию. Так, болота с давних пор являлись местами активного отдыха людей – сбора ягод, грибов, лекарственных растений, охоты, а также объектами туризма, экологического образования и науки. В последние десятилетия активно развивается болотный туризм, как на естественных, так и на восстановленных болотах. Для экологического туризма болота не менее

интересны, чем океаны, горы, леса, реки и другие объекты природы. Болота являются и объектами науки. Усилиями многих поколений ученых создана наука о болотах – болотоведение, с которой тесно связана смежная область – торфоведение. Информационно-историческая функция болот заключается в том, что торфяные залежи являются хранилищами информации об истории развития растительного покрова, динамике климата в прошлые эпохи голоцена, об особенностях генезиса болот, а также о жизни людей.

Остановимся на роли болот в климате биосферы и рассмотрим результаты определения современной скорости аккумуляции углерода на примере северо-запада европейской территории России и Западной Сибири как наиболее заболоченных территориях. Вместе с тем, анализ скорости торфонакопления Северной Евразии в зональном аспекте за голоцен свидетельствует о том, что, несмотря на различия, в историях болотообразовательного процесса северо-запада европейской части России и Западной Сибири прослеживается ряд общих черт. Прежде всего, для северных болот Европы и Западной Сибири начало голоцена (предбореальное и бореальное время) характеризуется высокой скоростью торфонакопления (до 1,4–1,6 мм/год в Западной Сибири и 0,8 мм/год – на европейском севере). В Западной Сибири процессом заболачивания в этот период была охвачена в основном северная часть, в то время как на юге существовали лишь немногочисленные торфяники [11]. Однако Новосанчуговское похолодание и последовавший ряд новых похолоданий привели к тому, что в период

7000–6000 лет BP на севере наблюдался локальный минимум торфонакопления. В это же время в южных районах (южно-таежной подзоне и лесостепи) отмечены локальные максимумы торфообразования как в Европе, так и в Западной Сибири. Накопленные данные позволяют сделать вывод, что в течение голоцена скорость торфообразования в южных районах Сибири и Европы возростала.

На примере сосново-кустарничково-сфагновых биогеоценозов (Западносибирская равнина) проследим баланс углерода в разные годы, представительные для многолетнего ряда. Результаты исследований ранее были опубликованы в ряде работ [7, 17]. В верховых болотах чистая первичная продукция (далее по тексту – NPP, Net Primary Production) изменялась в пределах от 206 до 337 гС/(м²·год) (табл. 1). Средние значения потоков углерода в виде CO₂ и CH₄ за годы исследования составили 69, 72, 47,7 гС/(м²·год). Большая часть потерь углерода была обусловлена эмиссией CO₂ (в среднем 61,3 г С/(м²·год), или 23,5% NPP). Доля CH₄ значительно меньше (1,6 гС/(м²·год) или 0,6% NPP). В сумме доля выноса была равна 24,1% NPP. Вынос углерода с болотными водами с водосборной площади болотного массива был определен величиной 7,9 гС/(м²·год) или 3,0% NPP. На основании полученных результатов исследований можно сделать вывод о преобладании, в современный период, аккумуляции углерода в торфяном профиле (189,8 гС/(м²·год)) и, соответственно, о прогрессирующем торфообразовательном процессе на территории таежной зоны Западносибирской равнины.

По мнению некоторых авторов [10, 13], на севере европейской части России возникновение новых очагов устойчивого заболачивания в настоящее время в естественных условиях маловероятно. Но в лесах могут появляться новые очаги заболачивания при строительстве дорог (в отсутствие водосливных соору-

жений), в зонах создания новых водохранилищ, при запруживании и захлавлении небольших речек, ручьев и т. д. Так, аэровизуальные наблюдения в Карелии в Калевальском и Кемском районах свидетельствуют об активном наступлении болот на леса. В результате не заболоченной лесной площади осталось в этих районах не более 20–30%.

За последние 30 лет увеличение заболоченности отмечается во всех административных районах России (кроме некоторых южных). Очевидно, что современное заболачивание в большой степени определено разрушением созданных ранее лесосушительных систем. Как известно, с 1991 г. гидроресомелиоративные работы резко сократились. К настоящему времени вторичному заболачиванию подверглось не менее 1 млн га [9]. Активизация процесса торфонакопления в последние годы может быть объяснена и климатическими причинами, и, прежде всего, увеличением количества осадков [10]. Действительно, анализ метеорологических данных северо-западного региона России свидетельствует об увеличении среднегодовой (и зимне-весенней) температуры и росте осадков за последние десятилетия [6, 8].

На основании моделей процессов аккумуляции торфа и углерода, которые базируются на исторических сведениях о функционировании болотной экосистемы (вместе с данными о плотности торфяного профиля, его возрасте и т. д.) [16], были проведены расчеты прироста торфа в некоторых типах болот рассматриваемых территорий. В расчетах частично использованы значения нетто-продуктивности, толщины поверхностного слоя, плотности абсолютно сухого вещества в поверхностных слоях торфяных профилей по литературным данным [1, 3, 5, 10, 14, 15] (табл. 2).

Согласно проведенным расчетам по модели, современная скорость линейного прироста торфа колеблется от 0,10 до 1,10 мм/год. Максимальный вклад (46,8%)

Табл. 1

Элементы углеродного баланса в сосново-кустарничково-сфагновых биогеоценозах, гС/(м²·год)

Годы по гидротермическому коэффициенту	Поступление	Выделение CO ₂ и CH ₄	Депонирование
0,8	<u>206–337</u> 264,6 ± 38,43	<u>61–80</u> 69,0 ± 6,96	<u>140–276</u> 195,6 ± 50,40
1,3	<u>277–301</u> 290,3 ± 7,06	<u>45–111</u> 72,0 ± 24,46	<u>166–248</u> 218,3 ± 32,14
1,8	<u>214–245</u> 227,0 ± 11,37	<u>31–79</u> 47,7 ± 19,20	<u>166–189</u> 179,3 ± 8,44
Среднее	260,6 ± 15,69	62,9 ± 8,94	197,7 ± 16,24

Примечание. В числителе – экстремальные, в знаменателе – средние значения, «±» – доверительный интервал.

Поток органического вещества из поверхностных слоев в нижнюю часть торфяного профиля и максимально возможный линейный прирост торфа в некоторых типах болот России в современную эпоху

Тип болот	Продуктивность фитомассы, кгАСВ/м ² ·год	Плотность торфа в акротелме, кгАСВ/м ³	Толщина акротелма, м	Константа разложения, A _a ***	Поток органического вещества в катотелме, кгАСВ/м ² ·год	Линейный прирост торфа, мм/год
Аапа	0,14–0,54	65–90	0,1–0,3	0,02–0,06	0,058	0,46–0,53
Грядово-мочажинные верховые	0,43–0,52	30–50	0,38–0,44* 0,42–0,49**	0,01–0,05	0,070	0,88–0,93
Верховые облесенные: европейская часть России, Западная Сибирь	0,30–0,63 0,21–0,63	30–50	0,49–0,54* 0,47–0,58**	0,01–0,04	0,063–0,079	0,79–0,84 1,00–1,10
Низинные (лесные)	0,78	140	0,85	0,06	0,02	0,10–0,20
Низинные травяно-лесные	0,72	100–110	0,49	0,01	0,10	0,70–0,90

Примечания. АСВ – абсолютно сухое органическое вещество; * – данные полевых наблюдений, ** – расчетные данные, *** – параметр модели вертикального роста болот [16].

в эту аккумуляцию вносят грядово-мочажинные болота, занимающие более 40% площади современных болот [15].

Если сравнить линейный прирост верховых облесенных болот Западной Сибири и Европейской части России, то процесс заболачивания на первой территории в экстремальных значениях выше в 1,2–1,3 раза.

Суммарная аккумуляция углерода болотами России в настоящее время по нашим исследованиям составляет 37,6 млн т/год. Для расчетов использованы результаты определения площадей болот России С.М. Новикова и Л.И. Усовой [12] и данные по распределению площадей этих болот по их типам [15, 18]. Полученные результаты свидетельствуют о положительном балансе – о нетто-накоплении углерода, однако их явно недостаточно для окончательных выводов.

Таким образом, на основании вышесказанного можно предположить, что процесс болотообразования в

современных климатических условиях интенсифицируется в предстоящие десятилетия в северных регионах России, а интенсивность торфонакопления достигнет бореально-позднеатлантического уровня. Возможно, современная северная граница между полигональными и бугристыми болотами в Западной Сибири сместится к северу примерно на 100 км при глобальном потеплении на 1,4 °С и более чем на 400 км при увеличении температуры на 2,2 °С. Граница между бугристыми и олиготрофными болотами также передвинется к северу на 400 км (при потеплении на 1,4 °С) и более чем на 500 км (или примерно на 5 градусов широты) при повышении средней глобальной температуры на 2,2 °С.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (Госзадание ТГПУ 5.7004.2017/БЧ).

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Базилевич НИ. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука; 1993.
2. Бахнов ВК. Почвообразование: взгляд в прошлое и настоящее (биосферные аспекты). Новосибирск: Изд-во СО РАН; 2002.

3. Болота Западной Сибири. Иванова КЕ, Новикова СМ (ред.). Л.: Гидрометеиздат; 1976.
4. Глазовская МА. Способность окружающей среды к самоочищению. Природа. 1973;(3):71-9.
5. Елина ГА, Кузнецов ОЛ, Максимов АИ. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. Л.: Наука; 1984.
6. Ефимова НА, Жильцова ЕЛ, Лемешко НА, Строкина ЛА. О сопоставлении изменений климата в 1981–2000 гг. с палеоаналогами глобального потепления. Метеорология и гидрология. 2004;(8):18-23.
7. Инишева ЛИ, Березина НА. Возникновение и развитие процесса заболачивания на Западно-Сибирской равнине. Вестник Томского государственного университета. 2013;(366):172-9.
8. Кобак КИ, Кондрасева НЮ, Лугина КМ, Торопова АА, Турчинovich ИЕ. Анализ многолетних метеорологических наблюдений в Северо-Западном регионе России. Метеорология и гидрология. 1999;(1):20-38.
9. Константинов ВК. Гидролесомелиоративная энциклопедия. СПб.: Гидрометеиздат; 2000.
10. Кузьмин ГФ. Болота и их использование. СПб.: НИИ торфяной промышленности; 1993.
11. Лисс ОЛ, Абрамова ЛИ, Аветов НА, Березина НА, Инишева ЛИ, Курнишкова ТВ, Слука ЗА, Толпышева ТЮ, Шведчикова НК. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула: Гриф и К°; 2001.
12. Новиков СМ, Усова ЛИ. Новые данные о площади болот и запасах торфа на территории России. В кн.: Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. с. 49-52.
13. Пьявченко НИ. Торфяные болота, их природа и хозяйственное значение. М.: Наука; 1985.
14. Титлянова АА, Базилевич НИ, Снытков ВА. Биологическая продуктивность травянистых экосистем. Новосибирск: Наука; 1988.
15. Bolotnykh Ekosistem Karelii. Leningrad: Nauka; 1984. (In Russ.)
16. Yefimova NA, Zhiltsova EL, Lemeshko NA, Strokina LA. [A comparison of climatic changes in 1981–2000 with the paleontological analogues of global warming]. Meteorologiya i Gidrologiya. 2004;(8):18-23. (In Russ.)
17. Inisheva LI, Berezina NA. [The emergence and development of swamping on the West Siberian Plane]. Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. 2013;(366):172-9. (In Russ.)
18. Kobak KI, Kondrasheva NYu, Lugina KM, Tоропова AA, Turchinovich IE. [An analysis of long-term meteorological monitoring of the Northwest of Russia]. Meteorologiya i Gidrologiya. 1999;(1):20-38. (In Russ.)
19. Konstantinov VK. Gidrolesomeliorativnaya Entsiklopediya. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat; 2000. (In Russ.)
20. Kuzmin GF. Bolota i Ikh Ispolzovaniye. Saint Petersburg: NII Torfyanoy Promyshlennosti; 1993. (In Russ.)
21. Liss OL, Abramova LI, Avetov NA, Berezina NA, Inisheva LI, Kurnishkova TV, Sluka ZA, Tolpysheva TYu, Shvedchikova NK. Bolotnye Sistemy Zapadnoy Sibiri i Ikh Prirodookhrannoye Znacheneye. Tula: Grif i K°; 2001. (In Russ.)
22. Novikov SM, Usova LI. [Novel data about bog area and peat reserves in Russia]. In: Dinamika Bolotnykh Ekosistem Severnoy Yevrazii v Golotsene. Petrozavodsk: Karelskiy Nauchnyi Tsentр RAN; 2000. p. 49-52.
23. Pyavchenko NI. Torfyaneye Bolota, Ikh Priroda i Khozyaystvennoye Znacheneye. Moscow: Nauka; 1985.
24. Titlyanova AA, Bazilevich NI, Snytkov VA. Biologicheskaya Produktivnost Travianistykh Ekosistem. Novosibirsk: Nauka; 1988.
25. Botch MS, Kobak KI, Vinson TS, Kolchugina TP. Carbon pools and accumulation in peatlands of the former Soviet Union. Global Biogeochem Cycles. 1995;9(1):37-46.
26. Clymo RS. Assessing the Accumulation of Carbon in Peatlands. Northern Peatlands in Global Climate Change. Helsinki: Publ. Academy of Finland; 1996:207-12.
27. Inisheva LI, Kobak KI, Turchinovich IE. Evolution of the paludification process, and carbon accumulation rate in bog ecosystems of Russia. Geography Nat Resources. 2013;34(3):246-53. DOI:10.1134/S1875372813030086.
28. Kobak KI, Kondrasheva NYu, Turchinovich IYe. Changes in carbon pools of peatland and forests in northwestern Russia during the Holocene. Glob Planet Change. 1998;(16-17):75-84.

Общий список литературы/Reference List

1. Bazilevich NI. Biologicheskaya Produktivnost Ekosistem Severnoy Yevrazii. Moscow: Nauka; 1993. (In Russ.)
2. Bahnov VK. Pochvoobrazovaniye: Vzgl'yad v Proshloye i Nastoyashcheye (Biosfernnyye Aspekty). Novosibirsk: SO RAN; 2002. (In Russ.)
3. Bolota Zapadnoy Sibiri. Ivanova KE, Novikova SM (Eds.). Leningrad: Gidrometeoizdat; 1976. (In Russ.)
4. Glazovskaya MA. [The ability of the environment to clean itself]. Priroda. 1973;(3):71-9. (In Russ.)
5. Yelina GA, Kuznetsov OL, Maksimov AI. Strukturno-funktsionalnaya Organizatsiya i Dinamika