

БИОСФЕРНЫЕ АСПЕКТЫ БОЛОТНОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Л.И. Инишева*

Каждому периоду эволюционного процесса становления на Земле биосферы соответствовала своя форма почвообразования: гидроземная (подводная), атмоземная (болотная) и литоземная (сухупутная). Древнее болотное почвообразование кроме депонирования биомассы приняло участие в формировании кислородсодержащего состава газовой оболочки планеты и выходе организмов из водной среды на сушу. Болотообразовательный процесс и образующиеся болотные почвы в прошлом и в настоящее время выполняют одинаковые биосферные функции и должны включать в понятие «торфяная почва» весь генетический профиль до подстилающей минеральной породы. На примере центральной части Западной Сибири рассмотрен процесс заболачивания на протяжении периода голоцена как единый, необратимый, поступательный процесс сопряжённых изменений их биотических и абиотических компонентов, что обеспечивает автономность в развитии и сохранении болот как особого типа биогеоценотического покрова Земли. Показано, что различия, проявляющиеся в закономерностях развития болотных комплексов, приуроченных к разным ботанико-географическим зонам и подзонам, выявляют хронологические рубежи трансформации болотных биогеоценозов эвтрофных типов в мезотрофные и олиготрофные.

Ключевые слова: эволюция биосферы, болотное почвообразование, болотные почвы, голоцен, тайга, Западная Сибирь, болотные экосистемы.

Ссылка для цитирования: Инишева Л.И. Биосферные аспекты болотного почвообразования // Жизнь Земли. 2023. Т. 45, № 3. С. 355–362. DOI: 10.29003/m3551.0514-7468.2023_45_3/355-362.

Поступила 08.05.2023 / Принята к публикации 06.09.2023

BIOSPHERIC ASPECTS OF SWAMPY SOIL FORMATION

L.I. Inisheva, Dr. Sci (Agriculture)

Tomsk State Pedagogical University

The article shows that each period of the evolutionary process of the biosphere formation on Earth corresponds to one form of soil formation, namely: underwater (“hydrozemic”), swampy (“atmozemic”), and terrestrial (“lithozemic”). The ancient swamp soil formation is considered, in addition to biomass deposition, to take part in the formation of the oxygen-containing composition of the planet’s gaseous envelope and the release of organisms from the aquatic environment to land. It has been determined that the process of paludification and swamp soils in the past and at present did and do perform the same biospheric functions and should include the entire genetic profile up to the basal rock in the concept of “peat soil”. On the example of the central part of Western Siberia, the process of paludification in the Holocene period is considered. This process is defined as a single, irreversible, progressive process of conjugated changes in their biotic and abiotic components. This ensures autonomy in the development and preservation of mires as a special type of the biogeocenotic cover of Earth. It is shown that the differences in the mire complexes of different botanico-geographical zones and subzones reveal the chronological boundaries of the transformation of swamp biogeocenoses of eutrophic types into mesotrophic and

* Инишева Лидия Ивановна – д.с.-х.н., чл.-корр. РАН, гл.н.с. Томского государственного педагогического университета, inisheva@mail.ru.

oligotrophic ones. It has been determined that the process of paludification in the taiga zone of the West Siberian Plain is of aggressive nature and the expected warming is a temporary warm period in the interval of cyclical climate.

Key words: biosphere evolution, swamp soil formation, peat soils, Holocene, taiga, Western Siberia, swampy ecosystems.

For citation: Inisheva, L.I., «Biospheric aspects of swampy soil formation», *Zhizn Zemli* [Life of the Earth] 45, no 3, 355–362 (2023) (in Russ., abstr. in Engl.). DOI: 10.29003/m3551.0514-7468.2023_45_3/355-362.

Введение. Владимир Иванович Вернадский отмечал, что «Жизнь, живое вещество как бы само создаёт себе область жизни. Это характерная организованность нашей планеты» [2, с. 241]. Болотные почвы (лесные болота, болота, торфяные месторождения, болотные экосистемы, торфяные ресурсы) на 50–95 % состоят из органических веществ и чрезвычайно переувлажнены. Это и определяет их полифункциональность. Ботаники и геоботаники изучают в болотах индивидуальность болотной растительности, по стратиграфии торфяной залежи – климатические характеристики периода торфонакопления и определяют их как болота; геологи определяют запасы торфов и границы промышленных залежей и называют их торфяными месторождениями; лесники изучают болото с позиций улучшения бонитета древостоя и называют их лесными болотами, а почвоведы – с позиций сельскохозяйственных угодий, называя их торфяными почвами, но до глубины 1 м. В каждой специальности – свои цели и методы изучения, а объект – один. На необходимость дифференциации человеческого знания не по наукам, а по объектам исследования указывал ещё В.И. Вернадский. За годы исследований накоплен большой фактический материал по торфяным болотам, доказана их важная биосферная роль [3, 8], отчасти определены направления их рационального природопользования [7], однако сущность болотного почвообразования, его место в становлении современной биосферы, да и само понятие болотной (торфяной) почвы так и остаётся неопределённым [1, 14].

Три периода эволюции биосферы и болотное почвообразование. Обратимся к тем далёким временам, когда начался эволюционный биологический процесс, приводивший к появлению всё новых организмов и их усложнению (4 млрд лет назад). Происходило это на протяжении трёх периодов эволюции биосферы: гидроземного, атмосферного и литоземного. Каждому периоду соответствовала определённая форма почвообразования: гидроземная (подводная), атмосферная (болотная) и литоземная. Начнём с докембрия (табл. 1), который относится к гидроземному периоду, в котором продуцентами органического вещества были простейшие растительные организмы Земли. В начале этого периода атмосфера Земли состояла в основном из аммиака и углекислого газа.

Гидроземный период был самым продолжительным – более 3 млрд лет. Возникновение жизни и эволюция первого органического мира протекали в океане. Древнейшие примитивные организмы, в частности, цианобактерии (которые были одновременно фотосинтетиками, продуцирующими органическое вещество, и азотофиксаторами, утилизирующими азот, который также является жизнеобеспечивающим элементом), а также водоросли и другие растения способствовали накоплению под водой богатых органических почв.

Приближённое представление об их продуктивности в древнем океане дают результаты определения их биомассы в современных водоёмах: 2,5–10 г органического углерода на квадратный метр в сутки [9]. В атмосфере Земли появляется кислород.

Атмосферный период – это время адаптации организмов, прежде всего растений, к условиям воздушного окружения. Его продолжительность составила около 175 млн лет,

Таблица 1. Геохронология эволюции биосферы и отложений твёрдых каустобиолитов [1]
Table 1. Geochronology of evolution of the biosphere and deposits of solid caustobiolites [1]

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

и в этот период господствует болотное почвообразование. Появляются и достигают господства папоротникообразные и голосеменные, продуцирующие огромную надземную фитомассу в древних лесах и болотах, которая подверглась впоследствии углефикации под действием температуры и давления, погребения и уплотнения толщами минеральных осадков. Болотное почвообразование, кроме утилизации органических остатков, выполнило ещё одну важную функцию в истории биосферы. Болотные почвы оказались наиболее благоприятной экологической средой в процессе выхода растений из воды и освоения ими воздушного окружения, а затем и литосферной оболочки суши. Процесс выхода растений из водной среды был длительным и позволял преодолеть отсутствие водного окружения и связанную с ним опасность гибели вследствие иссушения [13]. Поэтому болотное почвообразование в истории биосферы исполнило роль переходного моста, по которому растения вышли из воды на сушу, окружённую кислородсодержащей атмосферой Земли.

Литоземный период – время освоения растениями и животными литосферной оболочки суши – охватывает все геологические периоды мезозойской эры: триас, юра, мел. Его продолжительность – около 160 млн лет. На голых породах литосферы постепенно формируется почвенный покров. Усилилась сухость климата и одновременно снизился продукционный процесс, а с ним и темпы накопления биомассы. Это привело к уменьшению мощности торфяного слоя и затуханию болотного почвообразования. Свидетельством резкого ослабления на планете болотного процесса служат ничтожные запасы каменного угля триасового времени [11].

На данном этапе происходило становление современной флоры и фауны. В конце литоземного периода наблюдается коренное преобразование органического мира. Во флоре происходит постепенная смена мезозойской растительности растительностью современного облика. На литосферной оболочке суши образуется почвенный покров.

На рубеже мезозойской и кайнозойской эр, примерно 70 млн лет назад, в основном завершилось становление современных растительных формаций природных зон.

Таким образом, в процессе эволюции биосферы большая роль принадлежит болотному почвообразованию. И болота приняли огромное участие в глобальной биосферной функции – формировании кислородсодержащего состава газовой оболочки планеты и выходе организмов из водной среды на сушу. Образно говоря, современный мир вышел из древнего океана и древних болот, одновременно участвуя в формировании газового состава атмосферы.

Современные болота и болотообразовательный процесс. В настоящее время торфяные профили болот представляют собой молодые образования, возникшие уже после ледниковой эпохи, в голоцене. Нижняя граница голоцена определяется в 12 тыс. лет назад. Геологический период голоцена по показателям климата принято подразделять на климатические периоды: от древнего до позднего (современного) (табл. 2). В начале голоцена, в субарктический период, климат на Земле резко изменился, стал более тёплым. Потепление климата вызвало таяние ледников, покрывавших большую часть современной России.

Таблица 2. Схема разделения голоцена на климатические периоды
Table 2. Scheme of Holocene division into climatic periods

| Подразделения голоцена | Период времени, лет назад | Климатический период |
|------------------------|---------------------------|---|
| Поздний | 0–2500 (до 3000) | субатлантический |
| Средний | 2500–7700 (до 8000) | суббореальный и атлантический |
| Ранний | 7700–9800 (до 10 000) | бореальный и начало улучшения климата |
| Древний | 9800–12 000 | субарктический и арктический, вторая половина |

На территории Западно-Сибирской равнины в силу геологического строения и природных условий в этот период шли интенсивные процессы заболачивания и торфообразования. Следует отметить, что эта территория представляет собой крупнейший торфяной регион мира с 39 % мировых запасов торфа. Площадь торфяных болот Западной Сибири составляет 42 % всей заболоченной территории России, а содержание углерода в них – 42,3 млрд т (36 % всего депонированного углерода России). Рассмотрим процесс заболачивания в период голоцена на примере центральной части Западной Сибири (рис. 1).

В позднеледниковое время в условиях сурового климата значительную часть территории Западной Сибири занимали безлесные пространства, занятые перигляциальными степями и тундровыми сообществами. Для этого времени известны лишь единичные очаги заболачивания. Начало активного проявления процесса болотного почвообразования в Западной Сибири связано с бореальным периодом (9500–8000 лет назад) (рис. 1а). Различия в особенностях водно-минерального режима, обусловленного разной литологией грунтовых толщ (песчаных к северу от широтного течения Оби, глинистых и суглинистых преимущественно в пределах южной тайги), отразились на разной стадии болотного почвообразования. В северной тайге эвтрофная стадия была кратковременным явлением. С продвижением в более южные широты продолжительность пребывания в эвтрофной стадии развития постепенно возрастала. В течение бореального времени



Рис. 1. Размещение болот в центральной части Западной Сибири: а) в бореальном, б) атлантическом, в) суббореальном, г) субатлантическом периодах; 1 – эвтрофные болота, 2 – олиготрофные болота [6].

Fig. 1. Location of bogs in the central part of Western Siberia: a) in the boreal period, b) in the Atlantic period, c) in the subboreal period, d) in the subatlantic period; 1 – eutrophic bogs, 2 – oligotrophic bogs [6].

заболачивались мелководные предледниковые водоёмы, формировались изолированные эвтрофные древесно-травяно-моховые и травяно-моховые болота в ложбинах стока, термокарстовых и суффозионных котловинах и в других депрессиях рельефа. В бореальном периоде отсутствовала зональная дифференциация болот, что было обусловлено незначительным торфонакоплением и пребыванием болотных комплексов в стадии грунтового питания. Заторфованность в среднем не превышала 5 % с мощностью торфяного профиля 0,2–0,3 м.

Во второй половине атлантического периода (8000–4500 лет) климатические условия изменились в сторону потепления и увеличения увлажнённости. Процесс болотного почвообразования в подзонах северной, средней и южной тайги из локального превратился в локально-региональный. Центры заболачивания, первоначально изолированные, но сравнительно близко расположенные, постепенно сливались между собой и превращались в обширные болотные системы. Средняя заторфованность территории возросла до 15–20 %, средняя мощность торфяного профиля – до 2,0 м (рис. 16). На большей части современной таёжной зоны болотные комплексы эвтрофного травяно-мохового и

древесно-травяно-мохового типа трансформировались в мезотрофные и олиготрофные. В атлантическом периоде болотное почвообразование охватило и современную территорию подтайги. Засоление подстилающих пород и высокая минерализация грунтовых вод в подтайге обусловили длительное пребывание болот в эвтрофной стадии. Средняя заторфованность подтайги в атлантическом периоде не превышала 10 %.

В суббореальном периоде болотное почвообразование, в силу саморазвития болотных систем, стало общерегиональным явлением. В средней тайге заторфованность возросла с 30 до 40 %, в южной – с 20 до 30 %, в подтайге – с 10 до 20 %, мощность торфяного профиля в средних значениях увеличилась до 2,6, 3,0 и 2,0 м соответственно (рис. 1в). В северной тайге широкое распространение получили болотные комплексы озерково-грядово-мочажинного типа, в средней тайге – грядово-мочажинного типа. В южной тайге значительные площади ещё занимали болотные комплексы мезотрофного и эвтрофного древесно-травяно-мохового типа. На болотах подтайги значительно расширились площади, занятые комплексами эвтрофного осоково-гипнового типа, постепенно вытеснивших болотные комплексы травяных типов.

Субатлантический период (2500 лет – по настоящее время) наиболее неоднороден по изменению климатических показателей. В северной и средней тайге болотное почвообразование сохраняет направленность в сторону увеличения площадей, занимаемых комплексами более гидрофильных типов. В южной тайге продолжается процесс трансформации комплексов эвтрофного и мезотрофного типов в комплексы олиготрофного типа. Одновременно болотные комплексы более дренированного сосново-кустарничково-сфагнового типа вытесняются более обводнёнными комплексами грядово-мочажинного типа. Максимальная мощность торфяного профиля достигает 10–12 м. В подтайге перелом в развитии болот намечился в середине субатлантического периода. К этому времени мощность торфяного профиля достигла в среднем 2,5 м (максимальная 6–9 м) и создались условия для перехода болот в стадию атмосферного питания. Современная тенденция в развитии подтаёжных болот – дальнейшая олиготрофизация. На протяжении второй половины голоцена средняя заторфованность в этой подзоне возросла с 17 % до 25 %, мощность торфяного профиля составила 3,0 м (рис. 1г). В лесостепной зоне сохраняется тенденция трансформации эвтрофных травяных болот в олиготрофные сосново-кустарничково-сфагновые. В таёжной зоне дальнейшее развитие господствующих здесь болот олиготрофного типа направлено в сторону увеличения их обводнённости. В подтайге и лесостепи болотное почвообразование, вероятно, пойдёт по пути усиления мезотрофности и дальнейшей олиготрофизации ныне господствующих в этих регионах болот эвтрофного типа.

Таким образом, преобразования, которые в целом претерпевают болотные системы в течение голоцена в Западной Сибири, представляют собой единый, необратимый, наступательный процесс, направленный на усиление гомеостатического механизма, что обеспечивает устойчивое развитие и сохранение болотных систем как особого типа биогеоценотического покрова Земли.

На современном этапе заболачивание происходит в основном за счёт захвата новых территорий. Высокая величина линейной скорости торфонакопления выявлена для болот южной тайги, составляя 0,72 мм/год. В северном направлении линейная скорость торфонакопления постепенно снижается: в средней тайге – 0,57 мм/год, в северной – 0,37 мм/год, в лесотундре – 0,35 мм/год, в тундре – 0,3 мм/год. Интенсивный линейный прирост торфяных отложений отмечается в подтайге, где средняя его величина составляет 1,1 мм/год. В лесостепи процесс торфонакопления несколько замедлен – 0,64 мм/год.

Как долго может продолжаться процесс захвата территории болотами? Ответ на этот вопрос, прежде всего, определяется климатом биосферы. В.М. Жуковым [4] были рассчитаны изменения климатических параметров для периода 1890–2040 гг. Из этих расчётов следует, что в таёжной зоне сохраняются условия избыточного увлажнения территории на общем фоне чередования сухих и переувлажнённых периодов. Выявлена цикличность изменения в 44 года. Полученные результаты указывают на незначительные колебания и достаточно плавный переход от холодных и влажных периодов к тёплым и засушливым, до 2040 г. включительно. Такие же колебания были отмечены и в палеоклимате со своим интервалом цикличности. Таким образом, согласно этим расчётам, в климате Западной Сибири на протяжении современного периода отмечаются незначительные колебания как в сторону похолодания, так и в сторону потепления, и связано это с интервалом цикличности.

Заключение. Эволюционный процесс становления на Земле биосферы связан с освоением организмами последовательно гидросферы, атмосферы и литосферы. Каждому периоду соответствовала форма почвообразования: гидроземная (подводная), атмосферная (болотная) и литоземная (сухупутная). Все эти формы продолжают существовать и сейчас. Древнее болотное почвообразование в процессе эволюции биосферы сыграло важную экологическую роль в поддержании функционирования фитоценозов и формировании состава атмосферы Земли.

На примере центральной части Западной Сибири рассмотрено болотное почвообразование на протяжении периода голоцена как единый, необратимый, поступательный процесс сопряжённых изменений их биотических и абиотических компонентов. Он направлен на усиление работы гомеостатических механизмов, что обеспечивает устойчивость эндогенных и экзогенных взаимосвязей, автономность в развитии и сохранении болот как особого типа биогеоценотического покрова Земли. Различия, проявляющиеся в закономерностях развития болотных комплексов, приуроченных к разным ботанико-географическим зонам и подзонам, являются отражением зональности болотных ландшафтов и выявляют пространственно-временную дифференциацию эколого-фитоценологических оптимумов различных типов болотных биогеоценозов, а также хронологические рубежи трансформации болотных биогеоценозов эвтрофных типов в мезотрофные и олиготрофные.

Выше приведён анализ постепенного наращивания в течение голоцена мощности торфяного профиля от минеральной материнской породы до 9–12 м. Это свидетельствует, что органическая и минеральная части болотных почв – субстантивно-функциональная система, представляющая собой генетически единый почвенный профиль с фиксированной в нём историей развития.

Есть основания считать [5], что процесс болотообразования в таёжной зоне Западно-Сибирской равнины носит прогрессирующий характер и ожидаемое потепление представляет собой временный тёплый период в интервале цикличности климата, что констатируют и другие авторы [10, 12].

Благодарности и источники финансирования. Автор благодарит Н.Б. Хитрова и М.И. Герасимову за полезное обсуждение проблем, затронутых в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахнов В.К. Почвообразование (взгляд в прошлое и настоящее). Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2002. 114 с.
2. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и её окружения. М.: Наука, 1965. 377 с.

3. Вомперский С.Э. Биосферное значение болот в углеродном цикле // Природа. 1994. № 7. С. 44–50.
4. Жуков В.М. Климат и процесс болотообразования // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. М.: Наука, 1977. С. 13–30.
5. Инишева Л.И. Закономерности функционирования болотных экосистем в условиях воздействия природных и антропогенных факторов. Томск: Изд-во ТГПУ, 2020. 482 с.
6. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.В., Инишева Л.И., Курнишкова Т.В., Слукa З.А., Толпышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. Болотные системы и их природоохранное значение. Тула: Гриф, 2001. 584 с.
7. Лиштван И.И., Курзо Б.В., Гайдукевич О.М., Навоша Ю.Ю. Ресурсы и качественный состав торфяного сырья на месторождениях, зарезервированных для термобioхимической переработки // Природопользование. 2019. № 1. С. 188–204.
8. Наумов А.В. Углеродный статус России и динамическое равновесие биосферы // Почва и окружающая среда. 2022. Т. 5, № 2. <https://doi.org/10.31251/pos.v5i2.166>.
9. Розанов А.Ю., Заварзин Г.А. Бактериальная палеонтология // Вестник РАН. 1997. Т. 67, № 3. С. 241–245.
10. Снакин В.В. Неустойчивость природных процессов: глобальный климат // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2022. № 3. С. 3–11.
11. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1962. Т. 2. 574 с.
12. Сысо А.И., Перегон А.М. Специфика болотообразования в южной части Большого Васюганского болота // Сибирский экологический журнал. № 2. 2009. С. 245–250.
13. Уранов А.А. Растения и среда // Жизнь растений. М.: Просвещение, 1974. Т. 1. С. 58–86.
14. Inisheva L.I. Proposals for the Classification of Peat Soils // Eurasian Soil Science, 2022. V. 55, No. 2. P. 147–153.

REFERENCES

1. Bakhnov, V.K., *Soil formation (a look into the past and the present)* (Novosibirsk: Nauka, 2002) (in Russian).
2. Vernadsky, V.I., *Chemical structure of the Earth's biosphere and its environment* (Moscow: Nauka, 1965) (in Russian).
3. Vompersky, S.E., “Biospheric significance of swamps in the carbon cycle”, *Priroda* 7, 44–50 (1994) (in Russian).
4. Zhukov, V.M., “Climate and the process of swamp formation”, *Scientific prerequisites for the development of the marshes of Western Siberia* (Moscow: Nauka, 1977) (in Russian).
5. Inisheva, L.I., *Special features of mire ecosystems functioning under the influence of natural and anthropogenic factors* (Tomsk: Publishing house TGPU, 2020) (in Russian).
6. Liss, O.L., Abramova, L.I., Avetov, N.A., Berezina, N.V., Inisheva, L.I., Kurnishkova, T.V., Sluka, Z.A., Tolpysheva, T.Yu., and Shvedchikova, N.K., *Mire systems and their environmental significance* (Tula: Grif, 2001) (in Russian).
7. Lishtvan, I.I., Kurzo, B.V., Gaydukevich, O.M., Navosha, Yu.Yu., “Resources and qualitative composition of peat raw materials in deposits reserved for thermobiochemical processing”, *Prirodopol'zovaniye* 1, 188–204 (2019) (in Russian).
8. Naumov, A.V., “Carbon status of Russia and dynamic equilibrium of the biosphere”, *Soil and environment* 5 (2), (2022). <https://doi.org/10.31251/pos.v5i2.166> (in Russian).
9. Rozanov, A.Yu., Zavarzin, G.A., “Bacterial paleontology”, *Vestnik RAN* 67 (3), 241–245 (1997) (in Russian).
10. Snakin, V.V., “Instability of natural processes: global climate”, *Use and protection of natural resources in Russia* 3, 3–11 (2022) (in Russian).
11. Strakhov, N.M., *Fundamentals of the theory of lithogenesis* 2 (Moscow: Publishing house AN SSSR, 1962) (in Russian).
12. Syso, A.I., Peregon, A.M., “Swamp formation specificity in the southern part of the Great Vasyugan swamp”, *Siberian Ecological J.* 2, 245–250 (2009) (in Russian).
13. Uranov, A.A., “Plants and environment”, *Zhizn' rasteniy* 1, 58–86 (1974) (in Russian).
14. Inisheva, L.I., “Proposals for the Classification of Peat Soils”, *Eurasian Soil Science* 55 (2), 147–153 (2022). DOI: 10.1134/s1064229322020077.