

Динамика развития болот в карстово-суффозионных депрессиях и накопление химических элементов в торфяных залежах *

Е. М. Волкова, Л. А. Пельгунова, А. В. Кочкина

Аннотация. В статье рассматривается динамика развития болот в депрессиях карстово-суффозионного происхождения, имеющих разные подстилающие породы и гидрологический режим. Показана разная скорость торфонакопления, состав и структура торфяных отложений, а также содержание макро- и микроэлементов, включая тяжелые металлы, на разных этапах развития болотных экосистем.

Ключевые слова: болотные экосистемы, генезис, торфяная залежь, химические элементы.

Введение

Формирование болот в слабозаболоченных лесостепных и степных регионах [17] происходит в депрессиях карстово-суффозионного происхождения. Такие понижения образуются при карстовании карбонатсодержащих пород осадочного чехла, что обычно сопровождается суффозией — механическим выносом частиц грунтовыми водами [8, 10]. Интенсивность образования депрессий зависит от свойств и глубины залегания карстующихся и перекрывающих их пород, характера подстилающих пород, гидрологического режима территории, а также активности тектонических процессов [3, 5, 20]. Возникшие понижения в рельефе могут заболачиваться разными путями в зависимости от объема накапливаемой влаги [3, 4, 5, 12, 16]. Источником воды являются грунтовые, поверхностные (делювиальные) воды, реже — атмосферные осадки.

Важно отметить, что большинство болот образовалось в бореальный период голоцена (7–9 тыс. лет назад), но встречаются и более «молодые» (менее 2,5 тыс. лет) болота [4, 5, 6, 9, 13, 19]. Следовательно, время начала,

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-05-97513-р_центр_а) и Министерства образования и науки РФ (госзадание № 5.241.2014/К).

интенсивность и стадии болотообразовательного процесса в указанных понижениях различны.

Особенности развития болот отражаются в структуре торфяных отложений, поскольку отмирающие растения формируют определенный вид торфа. Разный состав торфов обуславливает их разные химические свойства [2]. Помимо этого, в процессе разложения растений в торф переходят не только растительные остатки, но и аккумулялируемые растениями из воды, воздуха и др. соединения [7, 21, 22, 23]. Следовательно, торфяная залежь представляет собой «летопись» развития не только собственно болота, но и состояния окружающей среды, одним из показателей которой является накопление в торфах различных групп химических соединений и элементов. Изучение их содержания в залежах болот разного возраста позволяет выявить особенности накопления в разные временные отрезки голоцена и оценить роль антропогенного фактора в загрязнении окружающей среды.

Материалы и методы

Исследования проводили на территории Тульской области, характеризующейся низкой заболоченностью (0,07% территории). Объектами исследования являлись карстово-суффозионные болота, расположенные на территории Белевского, Киреевского и Щекинского районов Тульской области. Болота различаются по характеру современной растительности, глубине депрессии, подстилающим породам и гидрологическому режиму.

1. **Болото Клюква** (Белевский район, дд. Кураково и Хутора) образовалось в понижении на склоне водораздела по правому берегу р. Ока. Понижение имеет глубину 2,7 м и подстилается флювиогляциальными песками. Болото занимает площадь 1 га. В растительном покрове сочетаются возвышенные участки (гряды и кочки) и понижения (мочажины). На грядах произрастает сосна (*Pinus sylvestris*) болотной формы f. *uliginosa*, которая имеет высоту 10–12 м. Единично встречается береза (*Betula pubescens*). Сомкнутость древесного полога 0,3–0,5. В травяно-кустарничковом ярусе произрастают клюква (*Oxycoccus palustris*) и пушица (*Eriophorum vaginatum*). Моховой покров формируют *Sphagnum magellanicum* на грядах и кочках, *S. balticum* редко по их склонам, *S. angustifolium* и *S. fallax* – в межкочечных понижениях и мочажинах. По характеру растительного покрова болото является олиготрофным. Это подтверждается свойствами болотных вод: рН=2,8–2,9, минерализация – 42 мг/л. Отбор образцов торфа проводили в центральной части болота, на гряде. Болото окружено участками хвойно-широколиственного леса с участием ели.

2. **Болото Кочки** (Щекинский район, д. Ясная Поляна) сформировано в понижении глубиной 7,5 м на склоне водораздела и занимает площадь менее 1 га. Подстилающими породами являются разновозрастные глины. Следует отметить, что болото является одним объектом из 6 болот, имеющих линейное расположение, что может быть связано с

формированием трещин в осадочном чехле в результате тектонических процессов [6]. Растительный покров болота сформирован разными сообществами в центральной части и на окрайке. Центр болота представлен «ковровой» и «кочкарной» частями. «Ковровая» часть характеризуется очеретниково-осоково-сфагновым сообществом с участием *Rhynchospora alba*, *Carex rostrata*, *Molinia caerulea* и *Sphagnum angustifolium*. «Кочкарная» часть представлена кустарничково-тростниково-сфагновым сообществом с *Salix myrtilloides*, *Chamaedaphne calyculata*, *Oxycoccus palustris*, *Phragmites australis*, *Rhynchospora alba*, *Carex rostrata*, *Sphagnum magellanicum* и *S. angustifolium*. Редко встречается береза (сомкнутость 0,2). Такая растительность относится к мезотрофному типу. На эвтрофных окрайках сформированы ивово-травяные, ивово-осоковые, камышово-осоковые, осоково-травяно-сфагновые и березово-осоково-сфагновые ценозы с участием *Betula pubescens*, *Salix cinerea*, *Comarum palustre*, *Calla palustris*, *Scirpus sylvaticus*, *Carex rostrata*, *C. pseudocyperus*, *C. lasiocarpa*, *Sphagnum teres*, *S. angustifolium* и *S. riparium*. Отбор образцов торфа проводили в кустарничково-тростниково-сфагновом сообществе с березой, где уровень болотных вод залегает близко к поверхности (УБВ = -15 см), минерализация болотных вод низка – 32–40 мг/л. Болото окружено антропогенными ландшафтами (залежи, кладбище, автотрасса).

3. **Болото Быковка** (Киреевский район, д. Быковка) является частью крупного комплекса карстово-суффозионных болот (53 объекта) и располагается на водоразделе. Площадь болота – 0,2 га, глубина – 10 м. Подстилающими породами являются глинистые отложения. Растительность мезоолиготрофного типа и представлена осоково-сфагновым ценозом с участием *Oxycoccus palustris*, *Carex rostrata*, *C. lasiocarpa*, *C. nigra*, *Rhynchospora alba*, реже – *Hammarbya paludosa*, *Carex limosa*, *Typha latifolia*, *Sphagnum fuscum*, *S. magellanicum*, *Polytrichum strictum*. Единично представлены березы высотой 3–5 м. Отбор образцов торфа проводили в центральной части болота, характеризующейся доминированием *Sphagnum fuscum* в моховом покрове. Уровень болотных вод здесь составляет -10-15 см от поверхности болота, минерализация – 48 мг/л. Болото окружено с/х полями и залежами.

На всех указанных болотах проводили отбор образцов торфа в наиболее глубокой части при помощи торфяного бура. Образцы хранили в холодильнике. При проведении анализа определяли степень разложения торфа (%) и состав растительных остатков [1]. Определение абсолютного возраста образцов проводили в Радиоуглеродной лаборатории Института географии РАН (Москва). Полученные результаты калибровали в программе CalPal. Содержание химических элементов определяли в образцах торфа с использованием РФА (Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН). Анализ проводили на спектрометре S2 PICOFOX (производитель Bruker AXS, Германия).

Результаты и обсуждение

Изучение образцов торфа, отобранных по профилям залежей болот Клюква, Кочаки и Быковка показало, что объекты отличаются не только по глубине депрессий, характеру подстилающих пород и растительному покрову, но и времени начала болотообразовательного процесса и его интенсивности. Результаты радиоуглеродного датирования свидетельствуют о том, что наиболее «древним» является болото Клюква, поскольку календарный (калиброванный) возраст придонного слоя торфа (265–270 см) составляет 9332 ± 117 лет. Болота Кочаки и Быковка являются более «молодыми». Так, возраст торфа на глубине 640–650 см в болоте Кочаки составляет 1205 ± 81 лет, на глубине 630–640 см в болоте Быковка – 2235 ± 79 лет.

Интенсивность образования торфа в процессе развития болот также сильно отличается. На начальных этапах развития болота Клюква (9091–9332 лет назад) скорость прироста торфа составляла 0,15–0,8 мм/год. Позже – 7508–7819 л.н. – интенсивность болотообразовательного процесса увеличилась до 1,9 мм/год. В последние 2500 лет торф прирастал со скоростью 0,2 мм/год. В среднем, в процессе развития болота скорость торфообразования составила 0,56 мм/год.

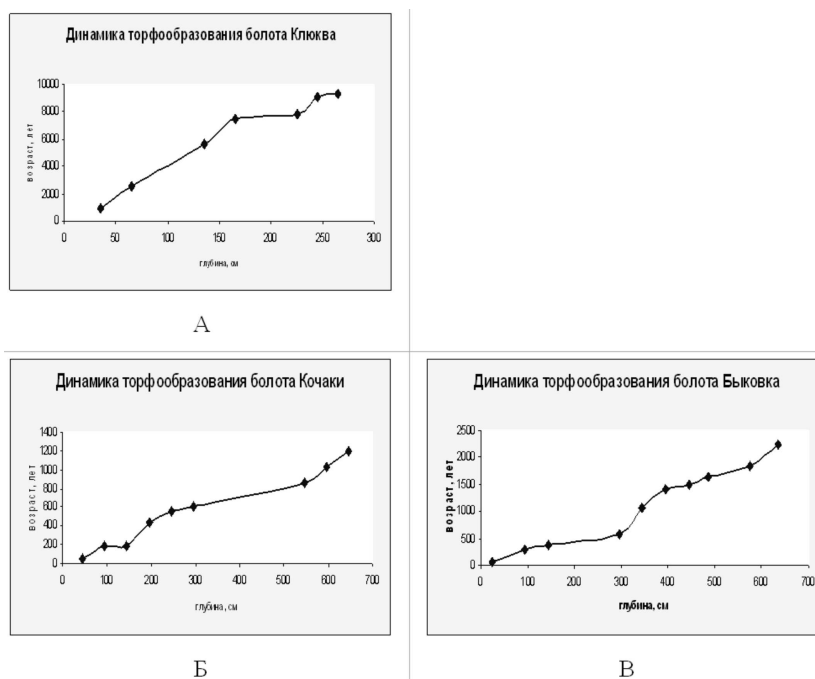


Рис. 1. Динамика торфообразования карстово-суффозионных болот: А – болото Клюква, Б – болото Кочаки, В – болото Быковка

Результаты изучения строения торфяной залежи болота Клюква показали, что заболачивание началось с формирования травянистых сообществ с участием сосны на дне понижения. В моховом покрове редко были представлены зеленые (гипновые) и сфагновые мхи (не более 20 %). Этому типу палеорастительности соответствует слой торфа на глубине 240–250 см, образованный более 9 тыс. лет назад. Такой слой травяного низинного торфа имеет степень разложения (R) 35–40%. В этот период скорость прироста торфа составила 0,8 мм/год.

Травяное сообщество с участием сфагновых мхов в обводненных условиях сформировалось около 7,8 тыс. лет назад. Сосна в таком сообществе отсутствовала, однако появилась ива и начала активно разрастаться пушица. Отмершие остатки растений образовали травяно-сфагновый торф на глубине 220–230 см, который характеризуется более низкой степенью разложения (R=25%). В дальнейшем, влажность биотопа увеличивалась, что повлияло на снижение степени разложения образовавшихся торфов до 15–20%. При этом, в растительном покрове постепенно возрастало участие гипновых мхов. В результате сформировались вахтово- и травяно-зеленомошные сообщества с участием *Calliergonella cuspidata*, *Calliergon cordifolium*.

На глубине 175–200 см доля пушицы увеличивается, появляется береза, снижается представленность эвтрофных видов трав и гипновых мхов, что приводит к образованию травяно-сфагнового переходного торфа. Это означает, что 7,5 тыс. лет назад происходит обеднение питающих вод, снижается их минерализация в результате частичного использования атмосферных осадков, что приводит к формированию мезотрофной растительности и увеличению скорости торфонакопления (до 1,9 мм/год). На протяжении последующего периода (5–6 тыс. лет назад) структура растительного покрова менялась незначительно: увлажнение оставалось прежним (степень разложения торфов сохраняется 15–20%), в видовом составе изменений не отмечено, варьировало только обилие видов. Это отражает состав торфов на глубине 130–175 см, представленный пушицево-, осоково- и травяно-сфагновым переходными видами.

В дальнейшем, на болото вселяются береза и ива, снижается доля сфагновых мхов, что свидетельствует об уменьшении влажности субстрата, улучшении аэрации и коррелирует с увеличением степени разложения (25–35%). Другой причиной облесения болота могло явиться увеличение минерализации болотных вод, связанное с эрозией в результате вырубki лесов на прилегающих территориях [14]. В любом случае, максимальное расселения древесных пород на болото произошло 2,5 тыс. лет назад, чему соответствует древесно-травяной торф на глубине 60–70 см. В таких условиях скорость разложения растительных остатков увеличивается, а скорость прироста торфа снижается до 0,2 мм/год. На глубине 50–60 см участие сфагновых мхов повышается до 30%, а также отмечено появление кустарничков (*Oxycoccus palustris*). В таком древесно-сфагновом переходном торфе (R=20%) постепенно снижается доля березы, появляется сосна.

Появление верхового торфа отмечено на глубине 40–50 см. В его составе высоко участие *Eriophorum vaginatum* (45%) и *S. magellanicum* (40%). Такой пушицево-сфагновый верховой торф характеризуется бедным видовым составом и низкой степенью разложения ($R=10-20\%$). В торфе встречаются остатки сосны и березы (не более 15%). Сопоставление с данными радиоуглеродного датирования свидетельствует о том, что переход в олиготрофную стадию развития произошел менее тысячи лет назад. Непосредственно корнеобитаемый горизонт болота образован сфагновым верховым торфом ($R=5-15\%$). Доля олиготрофных сфагновых мхов (*S. magellanicum*, *S. angustifolium*) достигает 65–80%. Скорость прироста торфа при изменении характера растительного покрова не изменилась – 0,2 мм/год.

Таким образом, развитие болота началось в бореальном периоде голоцена и сопровождалось формированием эвтрофных сообществ. В атлантический и суббореальный периоды наблюдается частичный переход к атмосферному питанию, что сопровождается мезофитизацией растительности. Появление олиготрофной растительности произошло в субатлантике. На всех этапах развития болота, за исключением кратковременного увеличения увлажнения и активного торфонакопления в атлантический период, скорость прироста торфа оставалась невысокой.

Более «молодые» болота Кочаки и Быковка образовались в субатлантический период голоцена и характеризовались интенсивным приростом торфа. Например, болото Кочаки на протяжении фактически всего периода развития характеризовалось скоростью торфообразования от 2,7 до 9,0 мм/год. Наиболее активный прирост отмечен 550 лет назад. Болото Быковка «прирастало» со скоростью от 0,9 до 7,8 мм/год, максимальный прирост показан для периода 370–560 лет назад. В последние 200 лет вертикальный рост болота составил 3,0 мм/год. В среднем, интенсивность торфообразовательного процесса на исследуемых болотах составляет: Быковка – 3,6 мм/год, Кочаки – 4,6 мм/год. Изучение ботанического состава торфа позволило проследить последовательность смен растительных сообществ в ходе столь быстрого развития болот.

Болото Кочаки образовалось в депрессии глубиной 7,5 м. В составе образца торфа ($R=55-60\%$) на глубине 685–750 см гипновые мхи составляют 85%, присутствуют сфагновые мхи и остатки листьев древесных растений (дуб). Это означает, что на первых этапах образования болота на дне депрессии образовалась небольшая «лужа», которую заселили гипновые мхи. Кроме того, на поверхности болота накапливался лиственный опад с деревьев окружающих территорий (наличие листьев дуба в торфе означает, что болото было окружено широколиственным лесом). В последующем, обводнение депрессии сохранилось, стекающие и выклинивающиеся воды накапливались, что обеспечило доминирование *Drepanocladus* sp. и *Calliergon cordifolium*. Такой гипновый торф имеет степень разложения 15–25% и залегает со дна понижения до глубины 6 м. В его составе отмечены остатки

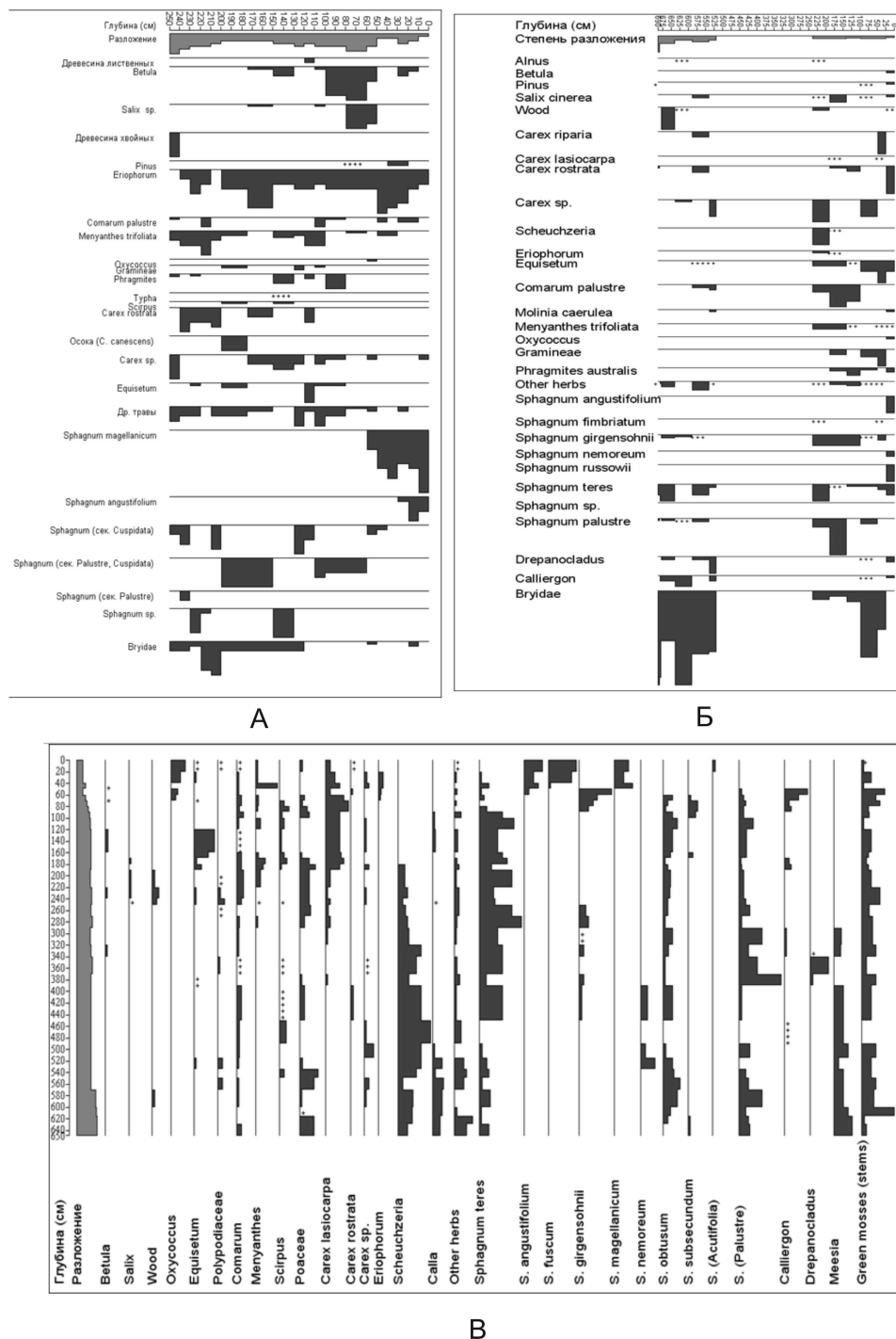


РИС. 2. Ботанический состав торфяных залежей болот: А – Клюкva, Б – Кочаки, В – Быковка

Sphagnum teres, *S. girgensohnii*, *Sphagnum* секции *Palustre*, *Carex rostrata*, *Scirpus*, древесина лиственных. Торф образовался примерно 1200 лет назад.

На глубине 520–590 см торф остается гипновым, но в его составе появляются *Salix cinerea*, *Carex rostrata*, *Equisetum* sp., *Comarum palustre* и *Molinia caerulea*. Это свидетельствует о том, что накопившиеся остатки мхов (скорость прироста – 2,7–3,1 мм/год) стали субстратом для произрастания указанных растений. Возраст торфа на этой глубине – 850–1000 лет.

Далее в структуре залежи имеется разрыв, что следует объяснять резким и сильным обводнением этого понижения, затопившим уже сформировавшиеся торфяные отложения. Повторно болотообразовательный процесс начался 600 лет назад – именно этот возраст имеет торф на глубине 290–300 см. Субстратом вторичного заболачивания мог быть оторвавшийся и всплывший торф. В его составе содержание зеленых мхов составляет 8%, увеличивается доля сфагновых мхов (*Sphagnum girgensohnii*, *S. teres*, *S. fimbriatum*), имеются остатки *Salix cinerea*, *Alnus*, *Menyanthes trifoliata*, *Equisetum* sp., *Comarum palustre*, *Eriophorum* sp., *Scheuchzeria palustris*. Такой травяно-сфагновый низинный торф свидетельствует о богатом водно-минеральном питании в указанный период. При высоком обводнении разложение растительных остатков происходит медленно ($R=10\%$), поэтому скорость прироста торфа достигает 9 мм/год.

В дальнейшем, в образцах увеличивается доля сфагновых мхов, которые образуют сфагновый низинный торф (*Sphagnum girgensohnii* – 10%, *S.* секции *Palustre* – 33%). Этот торф характеризуется активным вертикальным приростом (3,8–4,5 мм/год) и формирует сфагновую сплавину. Он образовался менее 200 лет назад.

На глубине 25–75 см сфагновые мхи сменились зелеными мхами (*Paludella*, *Drepanocladus*, *Plagiomnium*, *Calliergon*), которые образовали гипновый торф. Это свидетельствует о временном обводнении и формировании озера-лужи на поверхности болота, которое заселили зеленые мхи. Такая смена торфов свидетельствует о том, что в питании болота увеличилась доля вод, богатых минеральными солями.

Самый верхний образец, расположенный на глубине 0–25 см, представлен осоково-сфагновым переходным торфом, степень разложения которого менее 5%. В данном образце торфа обнаружены остатки *Betula*, *Salix cinerea*, *Oxycoccus palustris*, *Carex rostrata*, *Equisetum*, *Phragmites australis*, *Molinia caerulea*, *Menyanthes trifoliata*, *Calliergon cordifolium*, *Drepanocladus* sp., *Sphagnum russowii*, *S. nemoreum*, *S. angustifolium*, *S. teres*. На этом этапе болото характеризуется частичным переходом на атмосферное питание и появлением в растительном покрове сфагнума узколистного – индикатора обедненных условий. Сочетание в составе торфов остатков эвтрофных и олиготрофных видов растений позволяет рассматривать этот этап как мезотрофный в развитии болота. Незначительная толщина торфа и его залегание в верхних горизонтах залежи свидетельствуют о недавнем переходе болота в эту стадию развития.

Начальные этапы формирования болота Быковка сопровождались поселением древесных пород (ива) на дне карстово-суффозионного провала, что подтверждается обнаружением остатков древесины в придонном (8–9 м) слое торфа. В дальнейшем, обводнение понижения увеличилось. Это способствовало выпадению древесных пород и разрастанию влаголюбивых трав. Такой травяной низинный торф образовался на глубине 640–650 см примерно 2,2 тыс. лет назад. Степень разложения торфа – 35%, что свидетельствует о периодическом снижении обводнения в депрессии и улучшении воздушного режима. В составе торфа обнаружены остатки *Calamagrostis* sp., *Scheuchzeria palustris*, *Comarum palustre*, *Calla palustre* и др. Помимо трав, найдены остатки сфагновых мхов (секции Palustre), *Sphagnum teres*, *S. subsecundum*, а также *Meesia*.

По мере накопления торфяных отложений увеличивается обилие гипновых мхов (до 45%), состав трав остается прежним, среди сфагновых мхов появляется *S. obtusum*. Образовавшийся травяно-гипновый низинный торф залегает до глубины 6 м.

На глубине 580–600 см в составе торфа наблюдается явное доминирование сфагновых мхов, включая представителей секции Palustre, *Sphagnum teres*, *S. obtusum*. В таких условиях скорость прироста торфа снижается до 1,5 мм/год. В дальнейшем, на глубине 535–570 см отмечено появление травяного низинного торфа (R=25%). Такое изменение характера растительности произошло 1800 лет назад и сопровождалось приростом торфа до 3–4,3 мм/год.

Использование минерализованных вод (как грунтовых, так и делювиальных) обеспечило разрастание *Scheuchzeria*, а также *Equisetum*, *Scirpus*, *Carex cespitosa*, *Calamagrostis*, *Calla*, *Comarum*, *Sphagnum teres*, *S. obtusum*, *S. nemoreum*, *S. girgensohnii*. Накопление остатков этих растений сформировало шейхцериевый или шейхцериево-сфагновый торфа, которые залегают в залежи с 535 до 400 см.

Продолжающееся увеличение обилия сфагновых мхов способствовало смене шейхцериево-сфагнового торфа сфагновым низинным на глубине 370–390 см (возраст торфа 1069–1395 лет). Чередование сфагнового и шейхцериево-сфагнового торфов в залеже наблюдается до глубины 250 см (R=25–30%).

На глубине 100–250 см представлен травяно-сфагновый низинный торф, который характеризуется наличием *Carex lasiocarpa*, *Carex riparia*, *Poaceae*, *Comarum*, *Scheuchzeria*, *Scirpus*, *Typha*, *Menyanthes*, *Equisetum*, сфагновые мхи секции Palustre, *Sphagnum teres*, *S. subsecundum* и *S. obtusum*. Такой видовой состав торфа свидетельствует о стабильных гидрологических условиях на болоте 300–500 лет назад.

Примерно 280 лет назад (глубина 90 см) в растительном покрове болота увеличивается покрытие *Carex lasiocarpa*, но при этом сохраняется видовой состав сфагнового яруса, поэтому торф на этой глубине – осоково-сфагновый низинный. Позже (глубина 60–70 см) в сообществах появляются *Oxycoccus*

palustris, *Eriophorum* sp., *Sphagnum angustifolium*, *S. fallax* – виды, менее требовательные к трофности питающих вод. Это свидетельствует о частичном использовании атмосферного питания. Однако выявленная тенденция нарушается выклиниванием минерализованных вод, что приводит к резкому увеличению обилия *Calliergon cordifolium* (до 25% в составе торфа) на глубине 50–60 см. Тем не менее, переход к мезотрофной стадии сохраняется и постепенно на болото внедряется *Sphagnum magellanicum*.

Верхние горизонты торфяной залежи (0–40 см) представлены сфагновым верховым торфом со степенью разложения 5–10%. В составе торфа, помимо уже указанных видов, обильно встречается *S. fuscum*. Как видно, в олиготрофную стадию развития, характеризующуюся переходом на атмосферное питание, болото перешло недавно, т.е. этот тип растительности является для болота «молодым». Продолжительное время болото находилось в эвтрофной стадии благодаря богатому водно-минеральному питанию.

Проведенные исследования позволили выявить отличия в возникновении и развитии карстово-суффозионных болот в разных геолого-гидрологических условиях. Так, при перекрытии карбонатсодержащих горных пород задровыми песками и в условиях умеренного увлажнения (преимущественно делювиальными водами) образование торфа происходит с низкой скоростью. Бедность питающих вод способствует постепенной смене эвтрофной растительности мезо- и олиготрофной.

Активные неотектонические процессы обеспечивают формирование глубоких карстовых депрессий. Их заболачивание началось при высоком обводнении, что обусловило интенсивный прирост торфа. Важно отметить, что в ходе развития болот режим увлажнения и трофность питающих вод практически не менялись. Это явилось причиной длительного сохранения эвтрофного характера растительности. Переход к мезо- и олиготрофной стадиям произошел недавно (менее 200 лет назад).

Известно, что в ходе развития болотные экосистемы используют стекающие в понижения воды и содержащиеся в водах элементы аккумулируются в растениях, а затем накапливаются в торфе. При этом, содержание элементов в низинных торфах отражает минерализацию питающих грунтовых и делювиальных вод, а в верховых – состав атмосферных осадков [11]. Последнее можно использовать в качестве индикации состояния атмосферы и уровня антропогенного загрязнения [21]. Предыдущими исследованиями [7] показана возможность использования торфов для оценки состояния окружающей среды. Изучение содержания элементов на разных глубинах торфяных залежей позволит оценить интенсивность их накопления в разные периоды развития болот.

Для оценки состояния атмосферы и питающих болота вод в торфяных залежах определяли содержание следующих элементов: K, Ca, Fe, Mg, Al, Mn, Zn, Cr, Co, Pb, Ni, Cu, Cd, Rb. Полученные результаты отражены в таблицах 1–3.

Таблица 1

Содержание химических элементов по профилю торфяной залежи болота
Клюква (мг/кг воздушно-сухой массы)

глубина (см)	K	Ca	Fe	Mg	Al	Mn	Zn	Cr	Co	Pb	Ni	Cu	Cd	Rb	Sb
30–40	1370	1958	4099	0,7	0,2	41	925	0,02	0,06	14	0,7	32		0.0008	0.0008
60–70	326	2109	3612	0,3	0,2	37	29	0,16	0,46	5	0,3	9	0.0002	0.0005	
130–140	508	3056	2813	0,4	1,3	25	47	0,01	0,65	2	0,02	2		0.0006	
160–170	746	1672	3076	0,5	2,4	25	36		0,48	0,5		2		0.0007	
220–230	198	1621	3873	0,7	1,9	9	30		0,12	0,1		1		0.0001	

Из табл. 1 видно, что воды, питающие болото Клюква, на всех этапах своего развития характеризовались низким содержанием изученных элементов – по всем элементам показатели ниже на профиле залежи по сравнению с болотами Кочаки и Быковка. Исключения составляют цинк и медь – их содержание выше в поверхностном горизонте залежи. В целом, увеличение концентрации от придонных образцов к поверхностным показано, помимо Zn и Cu, для калия, марганца, свинца и никеля. Снижение показателей в этом торфе выявлено для кальция, алюминия и кобальта. Для этих элементов граница изменчивости проходит на глубине 30–40, реже – 60–70 см, что соответствует переходу болота в мезо- и олиготрофную стадии развития, сопровождающиеся частичным или полным переходом на атмосферное питание (1–2,5 тыс. лет назад). Нет четкой тенденции изменчивости по профилю залежи для железа, магния, хрома, кадмия, рубидия и сурьмы.

Для болота Кочаки, торфяная залежь которого развивалась в течение последних 1200 лет, характер распределения элементов по профилю не столь выражен (табл. 2). Это связано с тем, что болото на протяжении своего развития находилось под влиянием минерализованных грунтовых и поверхностных вод, т.е. гидрологический режим относительно стабилен. Тем не менее, тенденция к увеличению содержания элементов в верхних горизонтах залежи (0–40 см) отмечена для магния, марганца, хрома, свинца, меди, рубидия и сурьмы. Возраст торфа (менее 100 лет) объясняет накопление этих элементов антропогенным загрязнением. Некоторое снижение концентрации от придонных горизонтов к поверхностным показано для калия и железа, что коррелирует с «отрывом» от богатого грунтового питания. Распределение алюминия показало резкое увеличение содержания в слое 50–90 см (менее 180 лет назад) и снижение в поверхностных образцах. Для цинка, кобальта, никеля и кадмия динамика изменчивости не определена.

ТАБЛИЦА 2
Содержание химических элементов по профилю торфяной залежи болота
Кочаки (мг/кг воздушно-сухой массы)

глубина (см)	K	Ca	Fe	Mg	Al	Mn	Zn	Cr	Co	Pb	Ni	Cu	Cd	Rb	Sb
0–10	1779	3733	7713	22,1	60	649	69	42	117	20	7,1	18	2,1	0,02	0,01
10–20	1506	3843	5884	1,4	93	396	61	19	83	16	2,2	13	1,8	0,01	0,02
20–30	2487	2246	8832	13,4	285	227	129	69	141	57	12	23	3,5	0,02	0,01
30–40	1687	1300	6466	52,7	284	103	101	42	109	25	5,7	16	2,3	0,02	0,006
40–50	1573	3699	4778	1,3	146	112	61	29	66	24	4,8	17	2,0	0,01	0,002
50–60	1292	4839	4887	1,4	607	232	76	25	62	10	3,4	15	1,2	0,01	0,002
60–70	1683	4335	5219	1,5	752	207	43	21	79	10	2,3	9	2,0	0,01	0,002
70–80	1875	2789	5663	2,2	687	205	29	20	81	11	2,1	10	2,4	0,01	0,001
80–90	2286	3296	5823	1,3	692	275	68	15	76	10	2,5	12	2,7	0,02	0,001
90–100	3772	3692	6296	2,8	389	178	25	13	102	11	2,4	9	0,5	0,005	0,0002
140–150	3291	5993	2448	1,1	231	228	16	5	37	5	2,3	4		0,005	0,0003
190–200	2467	5741	2476	2,2	140	189	25	3	35	4	0,6	7		0,003	
240–250	2836	4105	2206	6,1	198	225	21	4	28	5	1,5	5		0,006	
290–300	2811	5122	2870	2,5	144	279	23	2	37	6	1,7	6		0,006	
540–550	1683	5034	12126	2,5	104	178	105	5	205	12	8,7	14		0,02	
590–600	1419	5234	10969	10,1	100	148	175	5	170	11	15	15		0,01	
640–650	9690	2217	18264	5,7	160	147	54	6	169	16	9,5	14		0,008	

Болото Быковка (табл. 3), как и предыдущий объект, на протяжении более 2 тыс. лет находилось под преимущественным влиянием минерализованных вод и только верхние горизонты залежи перешли на «атмосферное питание». По этой причине для этих горизонтов переходного и верхового торфов показано снижение содержания кальция, магния и алюминия. Наиболее высокое содержание указанных элементов выявлено на глубине 65–500 (до 640) см. Для калия, железа, марганца, хрома, никеля, кобальта, свинца и меди показано увеличение концентрации элементов к

Таблица 3

Содержание химических элементов по профилю торфяной залежи болота
Быковка (мг/кг воздушно-сухой массы)

глубина (см)	K	Ca	Fe	Mg	Al	Mn	Zn	Cr	Co	Pb	Ni	Cu	Cd	Rb	Sb
0–15	2024	2595	11250	0,3	11	164	82	66	183	27	7,4	18	0,3		0,014
15–35	1667	2993	5863	1,8	9	100	55	35	80	16	6,9	10	0,2		0,016
35–50	3114	5309	8923	2,4	16	154	51	118	37	18	2,9	12	0,01		0,017
50–65	1198	5540	4325	1,5	69	96	40	46	55	9	14,5	9	1,4		0,25
65–80	654	6112	2333	3,2	141	56	22	27	35	4	7,4	5	1,4		0,31
80–95	437	6767	1897	4,8	133	45	17	9	29	3	3,5	6	0,4		0,28
140–150	537	10610	1456	7,3	330	61	72	13	20	2	3,1	7	0,4	0,038	0,38
190–200	429	9296	1210	9,7	227	56	13	7	16	2	2,7	6	0,01	0,027	0,003
290–300	303	7768	1372	6,1	333	51	102	4	12	2	1,3	7		0,023	
390–400	796	3734	4002	1,2	587	67	37	4	13	2	1,5	7		0,008	
490–500	762	10595	1446	1,1	355	78	43	4	20	2	1,3	7		0,004	
570–580	429	7488	1511	1,1	96	67	27	36	20	2	7,1	6		0,003	
630–640	393	9530	1605	1,2	73	66	52	38	24	2	8,1	6		0,003	
690–700	289	7602	1138	1,8	64	56	24	4	16	1,5	2,0	7		0,002	
790–800	323	5651	1198	1,7	20	39	28	3	15	1	1,6	5		0,002	
890–900	355	7131	2502	1,1	9	36	64	3	13	1,5	1,2	6			

поверхностным горизонтам. Важно отметить, что для K, Fe, Mn, Cr, Pb и Cu резкое увеличение содержания отмечено с глубины 50 см, а для Co – с 15 см, что соответствует современному (менее 100 лет) этапу, который характеризуется развитием промышленности. Накопление в торфяной залежи цинка, кадмия, рубидия и сурьмы не имеет выраженной динамики.

Проведенный анализ накопления и распределения химических элементов по профилям торфяных залежей болот Клюква, Кочаки и Быковка подтверждает их отличия по водно-минеральному питанию, что обеспечило формирование разных растительных сообществ и, соответственно, разных видов и типов торфа. Наиболее существенные отличия показаны по

содержанию кальция. Полученные результаты коррелируют с характером современной растительности. В целом, концентрация элементов в болоте Клюква наиболее низкая (исключения описаны выше), что свидетельствует о бедном водно-минеральном питании в ходе развития болота.

Анализ содержания элементов в торфах болот Кочаки и Быковка подтверждает их более «минерализованное» питание. Однако, разнонаправленность динамики многих элементов по профилям залежей свидетельствует о разном составе и, возможно, происхождении этих вод. Поскольку в питании принимают участие не только грунтовые, но и поверхностные (делювиальные) воды, то на состав последних оказывает влияние и состояние окружающих ландшафтов.

Верхние горизонты залежей, представленные переходным или верховым торфами, частично или полностью перешедшие на использование атмосферных осадков, могут быть использованы для оценки экологического состояния атмосферы. Сравнение концентраций элементов в торфах с ПДК позволило охарактеризовать уровень атмосферного загрязнения [15, 18]. Так, территории Киреевского и Щекинского районов характеризуются интенсивным промышленным загрязнением и превышением ПДК по цинку, хрому, кобальту, свинцу, никелю, меди и кадмию (только Щекинский р-н). В Белевском районе экологическая обстановка более благоприятная, поскольку превышение норм загрязнения отмечено только для цинка и меди. Содержание свинца находится на верхней границе ПДК.

Проведенные исследования свидетельствуют о разном генезисе карстово-суффозионных болот. На этот процесс оказывают влияние геологическое строение территории, происхождение и свойства питающих вод. От сочетания этих факторов зависит интенсивность обводнения понижений, характер формирующейся растительности, скорость разложения отмерших растительных остатков и прирост торфа. Торфяные отложения могут быть использованы в качестве индикаторов водно-минерального питания на разных этапах развития болота, а верховые торфа также являются «маркером» промышленного загрязнения региона.

Список литературы

1. Атлас растительных остатков, встречаемых в торфе / С.Н. Тюремнова [и др.]. М.: Калининский торфяной институт. Л.: Госэнергоиздат, 1959. 230 с.
2. Бойкова О.И., Волкова Е.М. Химические и биологические свойства торфов Тульской области // Изв. ТулГУ. Естественные науки. 2013. Вып. 3. С. 253–264.
3. Волкова Е.М. Редкие болота северо-востока Среднерусской возвышенности: растительность и генезис // Ботан. журнал. 2012. Т. 96. № 12. С. 1575–1590.
4. Волкова Е.М. Заболачивание карсовых и карстово-суффозионных депрессий на территории Тульской области // Направления исследований в современном болотоведении России. Санкт-Петербург–Тула, 2010. С. 146–163.
5. Волкова Е.М. Особенности болотообразовательного процесса на северо-востоке Среднерусской возвышенности // Фундаментальные проблемы ботаники в

- начале XXI века: матер. XII съезда Русского ботанического общества и Всероссийской конференции. Петрозаводск, 2008. С. 49–51.
6. Волкова Е.М., Бурдыкина Е.С. Возникновение, развитие и современное состояние карстовых болот у д. Кочаки (Щекинский район, Тульская область) // Природа Тульской области: сб. науч. трудов. Тула, 2006. Вып. 1. С. 88–105.
 7. Волкова Е.М., Горелова С.В., Музафаров Е.Н. Биомониторинг антропогенного загрязнения Тульской области на основе анализа накопления тяжелых металлов в торфяных залежах болот // Изв. ТулГУ. Естественные науки. 2012. Вып. 2. С. 253–263.
 8. Гвоздецкий Н.А. Карст. М.: Мысль, 1981. 216 с.
 9. Гребенщикова А.А. К вопросу о развитии болот в карстовых воронках Ивановской области // Советская ботаника. 1939. № 1. С. 117–120.
 10. Недра Тульской области / В.С. Дымов [и др.]. Тула: Гриф и К, 2000. 124 с.
 11. Ермакова Е.М., Фронтасьева М.В., Стейнесс Э. Изучение атмосферных выпадений тяжелых металлов и других элементов на территории Тульской области с помощью метода мхов-биомониторов // Экологическая химия. 2004. Т. 13. № 3. С. 167–180.
 12. Зацаринная Д.В., Волкова Е.М. Экологические особенности растительных сообществ сплавинных карстовых болот Тульской области // Изв. ТулГУ. Естественные науки. 2011. Вып. 1. С. 227–236.
 13. Зацаринная Д.В., Волкова Е.М., Сирин А.А. Растительность и факторы среды карстовых болот зоны широколиственных лесов: методические подходы // Ботан. журнал. 2012. Т. 97. № 4. С. 524–537.
 14. Динамика ландшафтов и климата на северо-западе Среднерусской возвышенности в голоцене / Е.Ю. Новенко [и др.] // Вестник МГУ. Сер. 5: География (в печати).
 15. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
 16. Смагин В.А., Волкова Е.М. Растительность болот северо-востока Среднерусской возвышенности (России) // Изв. Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 1(4). С. 1121–1124.
 17. Торфяные болота России: к анализу отраслевой информации / А.А. Сирина [и др.]. М.: ГЕОС, 2001. 190 с.
 18. Тульская область. Медико-экологический атлас / Л.И. Шишкина [и др.]. Тула: Тульский полиграфист, 2000. 156 с.
 19. Хмелев К.Ф. Торфяные болота Центрального Черноземья: автореф. дис. ... доктора биол. наук. Воронеж. 1975. 38 с.
 20. Чикишев А.Г. Карст Русской равнины. М.: Наука, 1978. 192 с.
 21. Atmospheric Supply of Trace Elements Studied by Peat Samples from Ombrotrophic Bogs / E. Steinnes [et al.] // Journal of Environmental Quality. 2005. N. 34. P. 192–197.
 22. Ruhling E. Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe // Estimation Based on Moss Analysis. Nordic Council of Ministers. Nord, 1994. P. 9.

23. *Steinnes E.* Trace element profiles in ombrogenous peat cores from Norway: evidence of long range atmospheric transport // *Water, Air and Soil Pollution*. 1997. N. 100. P. 405–413.

Волкова Елена Михайловна (convallaria@mail.ru), к.б.н., доцент, кафедра биологии, Тульский государственный университет.

Пельгунова Любовь Андреевна (lubo4ka007@bk.ru), научный сотрудник, лаборатория экологического мониторинга регионов АЭС и биоиндикации, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва.

Кочкина Ангелина Владимировна (lina9191@bk.ru), аспирант, кафедра биотехнологии, Тульский государственный университет.

The dynamic of development of mires in karst depressions and accumulation of chemical elements in peat deposits

E. M. Volkova, L. A. Pelgunova, A. V. Kochkina

Abstract. The article shows the differences of karst-hole mires by development dynamic, hydrological regime, structure of peat deposits, intensity of peat formation, accumulation of chemical elements.

Keywords: mire ecosystems, genesis, peat deposits, chemical elements.

Volkova Elena (convallaria@mail.ru), candidate of biological sciences, associate professor, department of biology, Tula State University.

Pelgunova Lubov' (lubo4ka007@bk.ru), researcher, laboratory of ecological monitoring and bioindication, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS, Moscow.

Kochkina Angelina (lina9191@bk.ru), postgraduate student, department of biotechnology, Tula State University.

Поступила 08.11.2014