

Торф и продукты его переработки

УДК 552.577

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ-ТОРФООБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗЛОЖЕНИЯ НА КАРСТОВО-СУФФОЗИОННЫХ БОЛОТАХ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

© *Е.М. Волкова**, *О.И. Бойкова*, *Н.В. Хлытин*

*Тульский государственный университет, пр. Ленина, 92, Тула, 300012
(Россия), e-mail: convallaria@mail.ru*

Многообразие биосферных функций болотных экосистем связано с интенсивностью вертикального прироста торфяных отложений, что коррелирует со скоростью разложения растительных остатков. Этот процесс зависит от комплекса экологических условий и сопровождается изменением химического состава растений. Для изучения динамики химического состава основных растений-торфообразователей на модельном карстово-суффозионном болоте был проведен эксперимент с закладкой растительного материала в торфяную залежь. Образцы растений были помещены в торф на глубину 5–7 см в разных частях болота, что соответствовало исходному произрастанию видов. Через 1 и 2 года образцы изымали из торфа и проводили элементный анализ на СН-анализаторе Carlo Erba 1100, определяли зольность весовым методом и степень разложения растительных остатков в процессе микроскопирования. В ходе 2-летнего эксперимента показано, что при разложении растений происходит неодинаковое изменение степени разложения. Наименее устойчивыми к разложению являются травы, наиболее устойчивыми – сфагновые мхи. Процесс разложения растительных остатков сопровождается снижением зольности у сосудистых растений и увеличением у сфагновых мхов, что связано с их способностью аккумулировать вещества поверхностного стока и атмосферную пыль. При трансформации растительных остатков происходит изменение содержания углерода и азота. Соотношение C/N свидетельствует о неравномерной доле этих элементов на различных этапах разложения у разных видов растений, что коррелирует со степенью их разложения.

Ключевые слова: разложение растений, элементный состав, торфяные отложения, болота, Среднерусская возвышенность.

Введение

Способность болотных экосистем накапливать отмершие растительные остатки, формируя торфяные отложения, обеспечивает активное участие этих экосистем в углеродном обмене с атмосферой. Являясь «депо» углерода, болота имеют непосредственное отношение к процессам глобального изменения климата, что свидетельствует об их биосферной роли. Преобладание процессов связывания углерода над его эмиссией в атмосферу связано с низкими темпами трансформации органического вещества, что приводит к образованию торфа. Изучение процессов трансформации растительных остатков проведено на болотах таежной зоны [1–7], однако отсутствуют сведения об интенсивности этого процесса на болотах, расположенных в зоне широколиственных лесов, лесостепи и степи. Это свидетельствует об актуальности изучения особенностей разложения растительных остатков при их переходе в торфяные отложения. Это позволит не только выявить изменения химических параметров растений, но и оценить интенсивность вертикального прироста болот,

что является важным показателем функционирования болот на границе широколиственно-лесной и лесостепной зон.

Цель работы – выявить изменение химического состава растений-торфообразователей при их разложении в разных экологических условиях карстово-суффозионных болот.

Волкова Елена Михайловна – доктор биологических наук, заведующая кафедрой биологии, e-mail: convallaria@mail.ru

Бойкова Ольга Ивановна – кандидат химических наук, доцент кафедры химии, e-mail: benosi@mail.ru

Хлытин Николай Викторович – младший научный сотрудник кафедры химии, e-mail: xp221989@yandex.ru

* Автор, с которым следует вести переписку.

Экспериментальная часть

Исследования проводили в северо-восточной части Среднерусской возвышенности, которая в силу комплекса физико-географических условий характеризуется низкой заболоченностью – менее 0.1% [8]. Болота формируются на разных геоморфологических уровнях, занимая небольшие площади. Специфичными для данной территории являются болота, сформировавшиеся в карстово-суффозионных (КС) депрессиях. Такие болота имеют небольшую площадь (0.05–1 га) и глубину до 10 и более метров. При этом болота различаются по степени обводнения, что определяет характер заболачивания и формирование целостной (сплошной), сплавинной или разорванной залежей [9, 10]. Важной особенностью КС болот является наличие редких растительных сообществ, часть которых находится на южной границе своего распространения. Кроме того, изучение элементов углеродного баланса в фитоценозах разных типов болот показало, что в условиях стабильно высокого обводнения на сплавинах КС болот формируются гидрофильно-моховые сообщества, которые характеризуются преобладанием процессов связывания углекислоты над ее эмиссией в атмосферу, что обеспечивает вертикальный прирост торфа в результате слабого разложения растительных остатков [9–17]. Это означает, что изучение процессов трансформации органического вещества в таких сообществах весьма актуально.

Объектом данного исследования явилось КС болото Главное, расположенное у пос. Озерный (Тульская область). Болото имеет площадь около 1 га, образовано в провале глубиной более 15 м и является частью крупного комплекса карстовых болот. Растительность болота представлена эвтрофными фитоценозами, расположенными по окрайке (уровень залегания болотных вод = -15(-)-22 см от поверхности, минерализация болотных вод – 76–112 мг/л), и мезо- и олиготрофными ценозами в центральной части (уровень залегания болотных вод = -9(-)-12 см от поверхности, минерализация болотных вод – 36–41 мг/л). Растительный покров сформирован на торфяной сплавине мощностью 2–2.5 метра. При этом растительность центральной части развивается на сфагновом переходном торфе (степень разложения – 5–10%), а по окрайке – на травяно-сфагновом и сфагновом низинных торфах (степень разложения – 20–25%). В столь разных экологических условиях формируются не только разные растительные сообщества, но и по-разному протекает торфообразовательный процесс.

Для определения интенсивности разложения растительных остатков применялся метод закладки растений в торф [18]. Для этого в августе–сентябре 2012 г. на исследуемом болоте были собраны растения, характерные для разных фитоценозов. На окрайке болота в березово-вахтово-сфагновом (*Betula pubescens* – *Menyanthes trifoliata* – *Sphagnum riparium*) сообществе были отобраны образцы типичных эвтрофных растений (*Menyanthes trifoliata* L., *Scirpus sylvaticus* L., *Thelypteris palustris* Schott., *Sphagnum riparium* Aongstr.). В центральной части в очеретниково-осоково-сфагновом сообществе (*Rhynchospora alba* + *Carex rostrata* - *Sphagnum magellanicum* + *S. angustifolium*) для эксперимента были собраны олиготрофные виды (*Oxycoccus palustris* Pers., *Carex rostrata* Stokes, *Scheuchzeria palustris* L., *Sphagnum magellanicum* Brid., *S. angustifolium* C. Jens.). У растений срезали наземную часть (листья и стебли), которую высушивали и взвешивали. Навески каждого вида массой 5 г в 4-кратной повторности помещали в нейлоновые пакеты, которые закладывали в торфяную залежь центральной и окраинной частей болота (в соответствии с условиями исходного произрастания растений) на глубину 5–7 см. Продолжительность эксперимента составила 2 года. Через год и по окончании эксперимента образцы растений изымали из торфа для проведения анализов. Степень разложения образцов растений определяли микроскопическим методом, зольность (А, %) исходных растений и их остатков на разных этапах разложения – весовым методом [19]. На CHN-анализаторе Carlo Erba 1100 проводили определение элементного состава исследуемых образцов по массовой доле (масс. %) углерода, азота и водорода. Кислород определяли по разности между массой образца и суммарной массой всех других элементов, входящих в его состав. На основании полученных результатов рассчитывали атомные соотношения (С/Н, Н/С, О/С).

Обсуждение результатов

Изучение особенностей разложения болотных растений проводили в разных видах и типах торфов. Сфагновый переходный торф формируется в условиях бедного водно-минерального питания (преимущество имеют атмосферные осадки) центральной части болота, что обусловило доминирование нетребовательных сфагновых мхов и низкую зольность торфа (9.7%) (табл. 1). Низкая степень разложения торфа обусловлена

его высокой обводненностью вследствие близкого залегания к поверхности болотных вод. Травяно-сфагновый низинный торф образуется на окрайке болота, в условиях более богатого водно-минерального питания, что связано не только с выклиниванием грунтовых вод, но и поверхностным стоком с минеральных берегов болота. В результате, зольность этого торфа существенно выше и составляет 22.9%. Динамика уровня болотных вод на окрайке способствует активной аэрации верхних горизонтов торфяной залежи, что увеличивает микробиологическую активность торфа и степень его разложения.

Сравнение химического состава торфов, в которых проводили эксперимент, свидетельствует о более интенсивных процессах трансформации растительных остатков и гумусообразовании в низинном торфе по сравнению с переходным, что отражает доля углерода (табл. 1). Содержание азота имеет сходную тенденцию: более высокий показатель в низинном торфе обусловлен особенностями водно-минерального питания этой части болота, что обеспечило разнообразный видовой состав произрастающих здесь растений. Напротив, бедное атмосферное питание центральной части болота является причиной доминирования сфагновых мхов и образования переходного торфа с низкой долей азота. Возможно также предположение, что азот в процессе образования переходного торфа вымывается вследствие высокой обводненности, а в более разложившемся и аэрированном низинном торфе происходит его иммобилизация [18]. В любом случае соотношение C/N , являющееся показателем биохимической устойчивости органического вещества торфа [20, 21], выше в переходном торфе, чем в низинном, что коррелирует со степенью разложения. Сходная тенденция отмечена и по массовой доле кислорода: показатель выше в переходном торфе и снижается по мере увеличения степени разложения. Соотношение O/C свидетельствует о более высоком содержании карбоксильных и гидроксильных групп в слаборазложившемся переходном торфе по сравнению с низинным [18, 21].

Виды растений, произрастающие в разных экологических условиях на исследуемом болоте, также имеют специфику химического состава. Наиболее высокая зольность характерна для эвтрофных видов сосудистых растений, приуроченных к окрайке болота – вахта трехлистная, камыш лесной, телиптерис болотный (10.7–14.4%). Низкозольными являются растения в олиготрофной центральной части болота – клюква болотная, шейхцерия болотная, осока вздутая (3.6–7.2%). У мхов сходная тенденция: в условиях бедного питания произрастают низкозольные сфагнумы магелланский и узколистный (1.9–2.6%), а более высокая зольность (4.8%) отмечена у сфагнума берегового.

Содержание углерода в исходном растительном материале варьирует от 50.3 до 54.4 масс.% у сосудистых растений и от 40.6 до 43.3 масс.% – у сфагновых мхов. Более низкая доля углерода у мхов обусловлена простым анатомическим строением, низким содержанием лигнина, отсутствием опробковевших и кутинизированных тканей.

Доля азота коррелирует с особенностями питания и выше у эвтрофных видов, включая сфагнум береговой (2.29–2.96 масс.%). Исключение составляет только шейхцерия (2.18 масс.%). У олиготрофных видов доля азота ниже (0.88–1.59 масс.%). Сравнение с показателями для сходных видов с болот Западной Сибири показало, что на болотах Среднерусской возвышенности содержание углерода и азота выше [7]. Это обусловлено геолого-гидрологическими условиями территории, близким залеганием минерализованных грунтовых вод [22, 23] и экологическими особенностями сообществ, в которых произрастают растения. При этом соотношение C/N сохраняет тенденцию увеличения значений в ряду «эвтрофные травы и сфагновые мхи – олиготрофные травы и кустарнички (клюква) – олиготрофные сфагновые мхи», что означает увеличение устойчивости к разложению в указанном ряду.

Доля водорода слабо меняется в растительном материале, варьируя от 5.95 до 7.86 масс.% вне зависимости от условий произрастания. Показатель H/C , отражающий соотношение алифатических структур и ароматических ядер в органическом веществе растений, меняется в пределах 1.43–1.72 у трав и кустарничков, 1.63–2.2 у сфагновых мхов, что свидетельствует о более развитой алифатической структуре и незначительной доле структур с ароматическими ядрами [24, 25].

Содержание кислорода ниже у трав и кустарничков (34.7–44.5 масс.%) и выше у сфагновых мхов (49.8–50.8 масс.%). Следуя ранее сделанному выводу об отрицательной корреляции между данным показателем и степенью разложения торфов, можно заключить, что сфагновые мхи наиболее устойчивы к разложению. Соотношение O/C у этой группы растений наиболее велико, что свидетельствует об увеличении числа гидроксильных, фенольных и карбоксильных групп, затрудняющих их разложение. У сосудистых растений показатели существенно ниже. При этом наиболее низкие значения отмечены у вахты, а высокие – у камыша и осоки, имеющих лигнифицированные ткани.

Таблица 1. Исходный химический состав образцов растений и торфа

Образцы: виды растений, торф	Химический состав образцов							А, %*
	Элементный состав на беззольную навеску, %масс.				Атомное отношение			
	С	Н	Н	О	С/Н	Н/С	О/С	
<i>Menyanthes trifoliata</i>	54.4	2.96	7.86	34.7	21.4	1.72	0.48	10.7
<i>Scirpus sylvaticus</i>	46.6	2.50	6.36	44.5	21.7	1.62	0.72	14.4
<i>Thelypteris palustris</i>	50.3	2.29	6.33	41.1	25.6	1.50	0.61	12.3
<i>Carex rostrata</i>	47.9	1.59	6.03	44.5	35.1	1.50	0.70	7.2
<i>Scheuchzeria palustris</i>	50.3	2.18	6.06	41.5	26.9	1.43	0.62	3.8
<i>Oxycoccus palustris</i>	53.5	1.45	6.79	38.3	43.1	1.51	0.54	3.6
<i>Sphagnum magellanicum</i>	41.2	0.89	7.61	50.3	54.0	2.20	0.92	1.9
<i>Sphagnum angustifolium</i>	43.3	0.88	5.95	49.8	57.4	1.63	0.86	2.6
<i>Sphagnum riparium</i>	40.6	2.46	6.14	50.8	19.3	1.80	0.94	4.8
Сфагновый переходный торф (центральная часть)	48.8	1.41	6.02	43.7	40.4	1.47	0.67	9.7
Травяно-сфагновый низинный торф (окраинная часть)	53.2	2.39	6.03	38.4	25.9	1.35	0.54	22.9

*зольность образцов.

При разложении растений в торфе происходит изменение их химического состава. Прежде всего, следует отметить снижение зольности в образцах сосудистых растений, разлагающихся в низинном торфе. Наиболее активное снижение зольности отмечено у вахты: через 1 год показатель снизился с 10.7 до 2.7% (табл. 2), что обусловлено интенсивным разложением паренхимных тканей [26] на окрайке болота. Снижение зольности телиптериса и камыша произошло на 2.4–3.6% к концу 1-го года эксперимента. Через 2 года зольность телиптериса снизилась на 7.8% от исходного показателя, что следует объяснять активным разрушением клеток и вымыванием продуктов разложения. У камыша, напротив, отмечено увеличение зольности. По-видимому, несмотря на продолжающееся разложение остатков вида в торфе, лигнифицированные ткани камыша (прежде всего – обкладка проводящих пучков) являлись своеобразной «сетью», позволяющей удерживать продукты разложения, а также вещества поверхностного стока с минеральных почв. Увеличение зольности при разложении растительных остатков показано и в других работах [7, 27].

В центральной части болота активно разлагалась шейхцерия – зольность снизилась с 3.8 до 1.6% в 1-й год и до 2.5% – во 2-й год эксперимента, что обусловлено развитием у вида паренхимных тканей. Причиной высокой сохранности остатков осоки вздутой и клюквы является лигнификация и кутинизация тканей, и потому зольность у этих видов снизилась к концу 1-го года до 3.2–6.1%. К концу 2-го года эксперимента показатель зольности снизился до 2.2% у клюквы.

Особо следует обсудить изменение зольности у сфагновых мхов. Как было показано выше, в исходном материале содержание золы крайне низко (табл. 1). При этом в эксперименте показатели увеличиваются. Например, у сфагнума магелланского в 1-й год эксперимента зольность увеличилась в 2.3 раза, а к концу 2-го года – в 3.9 раза. У сфагнума узколистного показатель за 1 год увеличился в 2 раза. У сфагнума берегового, несмотря на наиболее высокие значения зольности в исходных растениях (4.8% – табл. 1), показатель в 1-й год увеличился в 1.8 раза, на 2-й год – в 2.2 раза. Подобное явление следует объяснять высокой долей мертвых водоносных клеток, при медленном разложении которых происходит аккумуляция как веществ поверхностного стока [28], так и атмосферной пыли [29, 30].

Сравнение содержания углерода в исходных растениях и образцах после 1-го года и по окончании эксперимента показало, что при разложении растительных остатков происходит увеличение показателя. Так, в течение 1-го года эксперимента доля углерода увеличивается на 2.7–6.4 масс.% у большинства сосудистых растений и на 7.1–12.2 масс.% – у сфагновых мхов. К концу 2-го года содержание углерода продолжает увеличиваться в остатках камыша (на 11.8 масс.%), телиптериса (на 6.1 масс.%) и клюквы (на 8.4 масс.%). Это свидетельствует о протекающей конденсации или полимеризации ряда промежуточных продуктов разложения и образовании гуминовых веществ в процессе торфообразования. У сфагновых мхов этот процесс протекает не столь активно, поскольку происходит незначительное увеличение доли углерода (на 1.3 масс.% у сфагнума берегового) или снижение показателя (у сфагнума магелланского).

Следует отметить, что у вахты происходит снижение доли углерода уже на первом этапе разложения (на 4.6 масс.%), что, по-видимому, связано с быстрым разложением остатков (степень разложения к концу 1-го года составила 20–25%) и вымыванием продуктов. У шейхцерии также отмечено снижение доли углерода на 2.7 масс.% в 1-й год по сравнению с исходным материалом, однако на 2-й год показатель возрастает.

Более низкая потеря углерода у шейхцерии в сравнении с вахтой связана с более влажными условиями центральной части болота, что неблагоприятно для жизнедеятельности микроорганизмов.

При разложении происходит также увеличение содержания азота к концу 1-го года эксперимента у всех сосудистых растений – показатель увеличивается на 0.3–0.8 масс.%. Исключение составляет только шейхцерия (за 2 года эксперимента показатель снижается с 2.18 до 1.99 масс.%). На 2-м году накопление азотистых соединений продолжается у камыша и клюквы (на 1.5–1.8 масс.%), а у телиптериса доля азота снижается. Подобное явление следует объяснять быстрым разложением (степень разложения остатков телиптериса составила более 40%), что связано с развитием паренхимных тканей. Это способствует мобилизации азотистых соединений, вымываемых болотными водами. Развитие механической ткани и кутикулы у камыша и клюквы затрудняет трансформацию их остатков микроорганизмами, что обеспечивает иммобилизацию азота. Сходные результаты были получены при разложении листьев болотных кустарничков и морошки в Западной Сибири [7].

Сфагновые мхи характеризовались потерей азота, что связано с «выносом» его соединений из доступных для разложения живых хлорофиллоносных клеток в течение 1-го года эксперимента. Это обеспечило снижение показателя на 0.36 масс.% у сфагнома магелланского и на 2.13 масс.% у сфагнома берегового. Трансформация этих клеток существенно не отразилась на степени разложения образцов мхов: у сфагномов магелланского и узколистного показатель составил 1–2%, у сфагнома берегового – 3–5%. На 2-й год эксперимента содержание азота имеет тенденцию к увеличению (у сфагнома берегового – на 1.63 масс.%). Эксперименты на болотах Карелии подтвердили, что содержание азота по мере разложения сфагновых мхов повышается [18]. Однако доля азота по окончании эксперимента, тем не менее, ниже по сравнению с исходным растительным материалом. Это означает, что у сфагновых мхов, в целом, происходит потеря азота при разложении.

Изменение соотношения C/N в растительных остатках отражает различное содержание углерода и азота в процессе разложения. При увеличении индекса C/N относительная доля азота ниже, чем доля углерода. При увеличении содержания амидных и аминок групп в растительном материале [31] происходит снижение показателя. В этом случае разложение растительных остатков ускоряется, поскольку такой субстрат более благоприятен для заселения микроорганизмами [32]. Анализ результатов эксперимента показал, что при разложении сосудистых растений соотношение C/N снижается. Наиболее низкое значение к концу 1-го года эксперимента отмечено у вахты – 16.7, что соотносится с активным разложением остатков этого вида [33]. Камыш и телиптерис также подвержены интенсивной трансформации (20.2–20.7), однако снижение доли азота при разложении телиптериса приводит к увеличению показателя на 2-й год (до 33,6). Это означает, что разложение телиптериса на этом этапе замедляется.

Таблица 2. Химический состав образцов растений в процессе разложения в торфе

Виды растений	Химический состав растений при разложении														A, %	
	Элементный состав на беззольную навеску, % масс.								Атомное отношение							
	C		N		H		O		C/N		H/C		O/C		1 год	2 год
	1 год	2 год	1 год	2 год	1 год	2 год	1 год	2 год	1 год	2 год	1 год	2 год	1 год	2 год		
<i>Menyanthes trifoliata</i>	49.8	–	3.47	–	5.83	–	40.9	–	16.7	–	1.39	–	0.62	–	2.7	–
<i>Scirpus sylvaticus</i>	50.8	62.6	2.86	4.33	5.39	7.22	40.9	25.8	20.7	16.8	1.26	1.37	0.60	0.31	10.8	17.1
<i>Thelypteris palustris</i>	53.8	59.9	3.11	2.08	5.28	6.95	37.8	31.1	20.2	33.6	1.17	1.38	0.53	0.39	9.9	4.5
<i>Carex rostrata</i>	54.3	–	2.15	–	6.31	–	37.2	–	29.5	–	1.38	–	0.51	–	6.1	–
<i>Scheuchzeria palustris</i>	47.6	49.4	2.06	1.99	6.61	4.59	43.7	44.0	26.9	28.9	1.65	1.10	0.69	0.67	1.6	2.5
<i>Oxycoccus palustris</i>	56.2	64.6	1.98	3.82	5.60	6.53	36.2	25.1	33.1	19.7	1.18	1.20	0.48	0.29	3.2	2.2
<i>Sphagnum magellanicum</i>	48.6	47.1	0.53	0.72	8.0	6.62	42.8	45.6	106.9	76.3	1.96	1.67	0.66	0.73	4.5	7.5
<i>Sphagnum angustifolium</i>	50.4	–	0.29	–	9.28	–	40.0	–	202.7	–	2.19	–	0.60	–	5.2	–
<i>Sphagnum riparium</i>	52.8	54.1	0.33	1.96	8.27	8.59	38.6	35.4	186.6	32.2	1.86	1.89	0.55	0.49	8.6	10.4

Разложение осоки, шейхцерии и клюквы протекает не столь интенсивно, поскольку индекс C/N составляет 26.9–33.1. Это подтверждает степень разложения растительных остатков в 1-й год: осока – 5%, шейхцерия – 2–3%, клюква – 2–3%. К концу 2-го года показатель у шейхцерии слабо меняется, что обусловлено равномерностью «потерь» углерода и азота. У клюквы, напротив, соотношение C/N снижается до 19.7, что коррелирует с увеличением степени разложения (до 30–35%).

Особого внимания заслуживает изменение индекса C/N у сфагновых мхов. В первый год эксперимента у сфагнумов магелланского и узколистного показатель возрастает в 2–3.5 раза, у сфагнума берегового – в 9.7 раза. Это свидетельствует об устойчивости мхов к разложению, что обусловлено мобильностью азотистых соединений и увеличением доли углерода. На 2-й год эксперимента соотношение C/N уменьшается. Однако полученные значения у мхов существенно выше, чем у сосудистых растений, – 32.2–76.3. По этой причине степень разложения остатков сфагновых мхов сохраняется низкой и составляет: сфагнумы магелланский и узколистый – 3–5%, сфагнум береговой – 8–10%.

Показатель Н/С в ходе эксперимента варьирует в пределах 1.17–1.65 у трав и кустарничков, 1.86–2.19 – у мхов. Однако сравнение с исходными значениями для растений свидетельствует о снижении степени ароматичности в процессе разложения растений за 2 года эксперимента. Это означает выравнивание долей алифатической и ароматической составляющих в органическом веществе растений-торфообразователей в процессе разложения.

Доля кислорода в растительных остатках в процессе разложения, в целом, имеет тенденцию к снижению, особенно к концу 2-го года эксперимента. Исключение составила только шейхцерия, при разложении которой доля кислорода увеличилась с 41.5 до 44.0 масс.%. Существенное снижение доли кислорода у большинства изученных растений коррелирует с увеличением степени их разложения. К концу 2-го года эксперимента наиболее устойчивым к разложению, помимо шейхцерии, оказался сфагнум магелланский.

Индекс O/C, отражающий долю кислородсодержащих групп и способность к разложению, снижается в ходе эксперимента. При этом у вахты и шейхцерии в 1-й год отмечалось увеличение показателя, но на 2-й год значения уменьшились. Таким образом, в процессе трансформации растительных остатков происходит не только снижение доли углерода, но и уменьшение карбоксильных и гидроксильных групп, что приводит к изменению в соотношении O : C.

Сравнение комплекса изучаемых показателей растений по окончании эксперимента с показателями торфов, в которых были заложены образцы, позволило выявить виды, являющиеся основными торфообразователями в разных экологических условиях болот. Так, в олиготрофном центре ими являются сфагнум магелланский, шейхцерия и клюква, а на эвтрофной окрайке – сфагнум береговой, телиптерис, реже – вахта и камыш, поскольку показатели этих растений наиболее близки к значениям для соответствующих торфов. Состав растительных остатков в торфах подтверждает наиболее высокое участие именно этих видов.

Выводы

Проведенные исследования показали, что в условиях КС болот процессы разложения растений протекают с разной скоростью, что связано с их исходным химическим составом и условиями эксперимента (гидролого-гидрохимический режим болотных биотопов). Наиболее активно разлагаются травы, наименее – сфагновые мхи.

Разложение сопровождается увеличением доли углерода по сравнению с исходным растительным материалом у сфагновых мхов и большинства сосудистых растений. Однако развитие паренхимных тканей у вахты и шейхцерии является причиной их наиболее активной трансформации, что приводит к потерям углерода. При этом в дальнейшем доля углерода увеличивается (у шейхцерии – на 2-й год). Это позволяет предположить, что динамика содержания углерода в процессе торфообразования зависит от особенностей внутреннего строения растений. У быстроразлагающихся видов, характеризующихся развитием паренхимных тканей, происходит вначале потеря углерода, а затем его аккумуляция в результате синтеза гуминовых веществ. При более медленном разложении протекающие процессы полимеризации и гумификации превышают потери углерода и потому в эксперименте сразу диагностируется увеличение доли этого элемента. Содержание азота при разложении сосудистых растений, в целом, увеличивается, что обусловлено доминированием процессов гумификации. При этом у телиптериса на 2-й год показатель снижается. У шейхцерии в ходе всего эксперимента отмечено снижение доли азота, что свидетельствует о его мобилизации. Сходная тенденция выявлена и при разложении сфагновых мхов.

Соотношение C/N характеризует степень гумификации растительного материала. Данный показатель в исходном растительном материале отражает потенциальную способность к разложению, а в экспериментальных образцах – реальные результаты этого процесса. Изучение динамики индекса C/N показало, что потенциально активно разлагающиеся виды (вахта, камыш, телиптерис, шейхцерия) действительно характеризовались интенсивной трансформацией в ходе эксперимента. Следует отметить, что этот процесс может быть равномерным (камыш), замедляться на 2-й год (телиптерис) или, наоборот, активизироваться (сфагнум береговой). Растения с более высоким индексом C/N (осока и клюква) в 1-й год имели низкую степень разложения, а на 2-й год (на примере клюквы) снижение индекса C/N коррелировало с увеличением интенсивности трансформации.

Наиболее высокий индекс C/N отмечен у сфагновых мхов, при этом в процессе разложения происходит увеличение показателя, особенно – в первый год. Это означает, что сфагновые мхи наиболее устойчивы к разложению и потому являются основными торфообразователями на болотах. Сохранение высоких значений у олиготрофных мхов (сфагнум магелланский) на 2-й год эксперимента свидетельствует о роли экологических условий в этом процессе: низкая аэрация и бедное водно-минеральное питание замедляют трансформацию остатков мхов. Формирующиеся в таких условиях торфа характеризуются низкой степенью разложения (5–10%) и высокой долей указанных мхов (до 60–65%) в ботаническом составе. В эвтрофных условиях на окрайке болота индекс C/N ко 2-му году эксперимента существенно снизился, что коррелирует с более высокой степенью разложения торфа и низкой долей сфагнового берегового (20%) в торфе.

Индекс O/C также имеет тенденцию к снижению при разложении растений, как по сравнению с исходным растительным материалом, так и в ходе эксперимента. Это означает, что в процессе трансформации растительных остатков происходит снижение степени окисленности образующихся соединений. Полученные значения индекса O/C по олиготрофным (сфагнум магелланский, шейхцерия болотная, клюква болотная) и эвтрофным (сфагнум береговой, камыш, телиптерис) видам близки к показателям торфов, в которых был заложен эксперимент. Это отражает особенности торфообразовательного процесса в разных условиях болот.

Проведенные исследования показали, что на сплавинных КС болотах, являющихся редкими биотопами Среднерусской возвышенности, процесс формирования торфа характеризуется активной трансформацией трав, кустарничков и эвтрофных видов сфагновых мхов. Этот процесс интенсивно протекает в эвтрофных условиях, где экологические условия (аэрация, трофность биотопов) активизируют жизнедеятельность микрофлоры. По этой причине доля таких растений в составе низинных торфов не превышает 15–25%. В олиготрофных условиях доминируют сфагнумы магелланский и узколистый. Их разложение в силу как условий произрастания, так и химического состава протекает крайне медленно. Однако именно это обеспечивает активный вертикальный прирост торфяных отложений в таких условиях (до 2.2 мм/год) [10], что свидетельствует о процессах депонирования углерода на сфагновых сплавах КС болот. Таким образом, специфика разложения растений в разных экологических условиях болот определяет не только свойства торфов, но и выполнение болотными экосистемами биосферных функций.

Список литературы

1. Verhoeven J.T.A., Arts H.H.M. Carex litter decomposition and nutrient release in mires with different water chemistry // *Aquat. Bot.* 1992. Vol. 43. Pp. 365–377.
2. Domisch T., Finér L., Laine J., Laiho R. Decomposition and nitrogen dynamics of litter in peat soils from two climatic regions under different temperature regimes // *European Journal of Soil Biology.* 2006. Vol. 42. Pp. 74–81.
3. Beiera C., Emmett B.A., Peñuelas J., Schmidt I.K., Tietema A., Estiart M., Gundersen P., Llorens L., Riis-Nielsen T., Sowerby A., Gorissen A. Carbon and nitrogen cycles in European ecosystems respond differently to global warming // *Science of the total environment.* 2008. Vol. 407. Pp. 692–697.
4. Palviainen M., Finer L., Laiho R., Shorohova E., Kapitsa E., Vanha-Majamaa I. Carbon and nitrogen release from decomposing Scots pine, Norway spruce and silver birch stumps // *Forest Ecology and Management.* 2010. Vol. 259. Pp. 390–398.
5. Nikonova L.G., Golovatskaya E.A., Terechshenko N.N. Decomposition rate of peat-forming plants in the oligotrophic peatland at the first stages of destruction // *Earth and Environmental Science.* 2018. Vol. 138. 012013. DOI: 10.1088/1755-1315/138/1/012013.
6. Паршина Е.К. Разложение растительного вещества в лесотундре // *Сибирский экологический журнал.* 2007. №5. С. 781–787.
7. Головацкая Е.А., Никонова (Абзалимова) Л.Г. Разложение растительных остатков в торфяных почвах олиготрофных болот // *Вестник Томского государственного университета. Биология.* 2013. №3 (23). С. 137–151.
8. Волкова Е.М. Болота Среднерусской возвышенности: генезис, структурно-функциональные особенности и природоохранное значение: дис. ... докт. биол. наук. СПб., 2018. 486 с.
9. Волкова Е.М. Заблачивание карстовых и карстово-суффозионных депрессий на территории Тульской области // *Направления исследований в современном болотоведении России.* СПб.; Тула, 2010. С. 146–163.

10. Волкова Е.М. Редкие болота северо-востока Среднерусской возвышенности: растительность и генезис // Ботанический журнал. 2011. Т. 96. №12. С. 1575–1590.
11. Волкова Е.М., Ольчев А.В., Каратаева Т.А., Новенко Е.Ю. Оценка вклада растительных сообществ водораздельных карстово-суффозионных болот в CO₂-обмен // Современная ботаника в России. Труды XIII Съезда Русского ботанического общества и конференции «Научные основы охраны и рационального использования растительного покрова Волжского бассейна» (Тольятти 16-22 сентября 2013 г.). Т.2: Систематика и география сосудистых растений. Сравнительная флористика. Геоботаника. Тольятти: Кассандра, 2013. С. 181–182.
12. Волкова Е.М., Новенко Е.Ю., Ольчев А.В. Оценка нетто CO₂ обмена лесного сфагнового болота по результатам экспериментальных наблюдений и модельных расчетов // Материалы международной конференции «Углеродный баланс болот Западной Сибири в контексте изменения климата». Ханты-Мансийск, 2017. С. 48–50.
13. Ольчев А.В., Волкова Е.М., Каратаева Т.А., Новенко Е.Ю. Нетто CO₂-обмен и испарение сфагнового болота в зоне широколиственных лесов Европейской России // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2012. Вып. 3. С. 207–220.
14. Ольчев А.В., Волкова Е.М., Каратаева Т.А., Новенко Е.Ю. Роль карстово-суффозионных сфагновых болот лесостепной зоны Европейской России в углеродном и водном обмене // Сборник статей Международной научной конференции, посвященной 140-летию со дня рождения И.И. Спрыгина. Пенза, 2013. С. 376–379.
15. Ольчев А.В., Волкова Е.М., Каратаева Т.А., Новенко Е.Ю. Оценка нетто-CO₂-обмена и испарения мезоолитотрофного сфагнового болота по результатам экспериментальных наблюдений и модельных расчетов // Прошлое, современное состояние и прогноз развития географических систем: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием 2-4 октября 2014 г. Киров: Изд-во ВятГГУ, 2014. С. 140–145.
16. Каратаева Т.А., Волкова Е.М., Ольчев А.В., Головацкая Е.А. Особенности углеродного обмена растительных сообществ болот Тульской области // Материалы Третьей международной научно-практической конференции «Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири». Томск, 2015. С. 89–92.
17. Olchev A., Volkova E., Karataeva T., Novenko E. Growing season variability of net ecosystem CO₂ exchange and evapotranspiration of a sphagnum mire in the broad-leaved forest zone of European Russia // Environmental Research Letters. 2013. Vol. 8 (3). 035051. DOI: 10.1088/1748-9326/8/3/035051.
18. Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. Л., 1978. 176 с.
19. Волкова Е.М. Методы изучения болотных экосистем (учебное пособие по организации и проведению исследовательской работы). Тула, 2009. 94 с.
20. Ефремова Т.Т. Структурообразование в торфяных почвах. Новосибирск, 1992. 191 с.
21. Инишева Л.И., Маслов С.Г., Дементьева Т.В., Шайдак Л. Параметры биохимической устойчивости торфов // Вестник Тюменского государственного университета. Сер. Экология и природопользование. 2015. Т. 1. №2(2). С. 6–16.
22. Михно В.Б. Карстово-меловые геосистемы Русской равнины. Воронеж, 1990. 200 с.
23. Дымов В.С., Сычев А.И., Гуркин В.В. и др. Недр Тульской области. Тула, 2000. 124 с.
24. Ларина Г.В., Кайзер М.И., Вышникова Т.В. Состав органического вещества и гуминовых кислот торфяного месторождения Баланах (Горный Алтай) // Вестник ТГПУ. 2013. №8 (136). С. 222–226.
25. Шигабаева Г.Н. Элементный состав и содержание функциональных групп гуминовых веществ почв и торфов различного происхождения // Вестник Тюменского государственного университета. Экология. 2014. №12. С. 45–53.
26. Волкова Е.М., Румянцева Е.В. Особенности процесса торфообразования в Тульской области // Известия Тульского государственного университета. Серия «Экология и рациональное природопользование». 2006. Вып. 1. С. 277–286.
27. Бамбалов Н.Н., Хоружик А.В., Лукошко Е.С., Стригуцкий В.П. Превращение отмерших растений в болотных биогеоценозах // Эксперимент и математическое моделирование в изучении биогеоценозов лесов и болот. М., 1990. С. 53–63.
28. Волкова Е.М., Горелова С.В., Музафаров Е.Н. Биомониторинг антропогенного загрязнения Тульской области на основе анализа накопления тяжелых металлов в торфяных залежах болот // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2012. Вып. 2. С. 253–263.
29. Frontasyeva M. V., Steinnes E. Distribution of 35 elements in peat cores from ombrotrophic bogs studied by epithermal neutron activation analysis // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2005. Vol. 265. N1. Pp. 11–15.
30. Goltsova N., Vasina T.V. The use of bioindication for estimation of pollution in forest ecosystems of the Leningrad region // Bioindicators of Environment Health. Ecovision World Monograph Series, Academic Publishing, Amsterdam, 1995. Pp. 141–154.
31. Белоусов М.В., Ахмеджанов Р.Р., Гостищева М.В., Юсубов М.С., Матвеев А.В. Исследование химических и токсических свойств гуминовых кислот низинного древесно-травяного торфа Томской области // Бюллетень сибирской медицины. 2009. №4 (2). С. 27–33.
32. Аристовская Т.В. Микробиология подзолистых почв. М.; Л., 1965. 186 с.
33. Вишнякова Е.К., Мироничева-Токарева Н.П., Косых Н.П. Динамика разложения растений на болотах // Вестник ТГПУ. 2012. №7 (122). С. 87–93.

Поступила в редакцию 17 марта 2019 г.

После переработки 9 июля 2019 г.

Принята к публикации 21 октября 2019 г.

Для цитирования: Волкова Е.М., Бойкова О.И., Хлытин Н.В. Изменение химического состава растений-торфообразователей в процессе разложения на карстово-суффозионных болотах Среднерусской возвышенности // Химия растительного сырья. 2020. №1. С. 283–292. DOI: 10.14258/jcrpm.2020015222.

Volkova E.M.*, Boykova O.I., Khlytin N.V. THE CHANGES OF CHEMICAL PARAMETERS OF PEAT-FORMING PLANTS DURING DECOMPOSITION PROCESSES ON KARST-SUFFUSION MIRES OF THE MIDDLE-RUSSIAN UPLAND

Tula State University, Lenina av. 92, Tula, 300012 (Russia), e-mail: convallaria@mail.ru

The variety of biosphere functions of mire ecosystems is associated with the intensity of vertical growth of peat deposits, which is correlated with the rate of decomposition of plant remains. This process depends on the complex of ecological conditions and accompanies by changes in the chemical composition of plants. For studying of dynamics of the chemical parameters of the main peat-forming plants on the model karst-suffusion mire, an experiment was conducted with the laying of plant material in the peat. Plant samples were placed in peat to a depth of 5–7 cm in different parts of the mire, which is corresponded to the original place of species growing. After 1 and 2 years, the samples were removed from the peat and elemental analysis was carried out on the CHN-analyzer Carlo Erba 1100, ash content was determined by weight method and the degree of decomposition of plant remains was done by microscopy method. The results shows, that during the 2-year experiment the degree of decomposition of plants remains was changed by different ways. The herbs are least resistant for decomposition in the peat, but sphagnum mosses are the most resistant. The process of decomposition of plant remains is accompanied by a decreasing of ash content in vascular plants and increasing in sphagnum mosses, which is associated with their ability to accumulate surface runoff substances and atmospheric dust. During the transformation of plant material the content of carbon and nitrogen are changing. The C/N ratio indicates an uneven proportion of carbon and nitrogen at different stages of decomposition in different plant species, which correlates with the degree of decomposition.

Keywords: decomposition of plants, elemental composition, peat deposits, swamps, Central Russian Upland.

References

1. Verhoeven J.T.A., Arts H.H.M. *Aquat. Bot.*, 1992, vol. 43, pp. 365–377.
2. Domisch T., Finér L., Laine J., Laiho R. *European Journal of Soil Biology*, 2006, vol. 42, pp. 74–81.
3. Beiera C., Emmett B.A., Peñuelas J., Schmidt I.K., Tietema A., Estiart M., Gundersen P., Llorens L., Riis-Nielsen T., Sowerby A., Gorissen A. *Science of the total environment*, 2008, vol. 407, pp. 692–697.
4. Palviainen M., Finer L., Laiho R., Shorohova E., Kapitsa E., Vanha-Majamaa I. *Forest Ecology and Management*, 2010, vol. 259, pp. 390–398.
5. Nikonova L.G., Golovatskaya E.A., Terechshenko N.N. *Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 138, 012013. DOI: 10.1088/1755-1315/138/1/012013.
6. Parshina Ye.K. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 2007, no. 5, pp. 781–787. (in Russ.).
7. Golovatskaya Ye.A., Nikonova (Abzalimova) L.G. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, 2013, no. 3 (23), pp. 137–151. (in Russ.).
8. Volkova Ye.M. *Bolota Srednerusskoy vozvyshennosti: genesis, strukturno-funktional'nyye osobennosti i prirodokhrannoye znachenie: dis. ... dokt. biol. nauk.* [Swamps of the Central Russian Upland: Genesis, Structural and Functional Features, and Environmental Protection Value: dis. ... doctor. biol. sciences]. St. Petersburg, 2018, 486 p. (in Russ.).
9. Volkova Ye.M. *Napravleniya issledovaniy v sovremennom bolotovedenii Rossii.* [Directions of research in modern bog science of Russia]. St. Petersburg – Tula, 2010, pp. 146–163 (in Russ.).
10. Volkova Ye.M. *Botanicheskiy zhurnal*, 2011, vol. 96, no. 12, pp. 1575–1590 (in Russ.).
11. Volkova Ye.M., Ol'chev A.V., Karatayeva T.A., Novenko Ye.Yu. *Sovremennaya botanika v Rossii. Trudy XIII S'yezda Russkogo botanicheskogo obshchestva i konferentsii «Nauchnyye osnovy okhrany i ratsional'nogo ispol'zovaniya rastitel'nogo pokrova Volzhskogo basseyna» (Tolyatti 16-22 sentyabrya 2013 g.). T.2: Sistematika i geografiya sosudistykh rasteniy. Sravnitel'naya floristika. Geobotanika.* [Modern Botany in Russia. Proceedings of the XIII Congress of the Russian Botanical Society and the conference "Scientific basis for the protection and rational use of vegetation of the Volga basin" (Tolyatti September 16-22, 2013). Vol. 2: Systematics and geography of vascular plants. Comparative floristry. Geobotany]. Tolyatti, 2013, pp. 181–182 (in Russ.).
12. Volkova Ye.M., Novenko Ye.Yu., Ol'chev A.V. *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii «Uglerodnyy balans bolot Zapadnoy Sibiri v kontekste izmeneniya klimata».* [Materials of the international conference "The carbon balance of the marshes of Western Siberia in the context of climate change"]. Khanty-Mansiysk, 2017, pp. 48–50 (in Russ.).
13. Ol'chev A.V., Volkova Ye.M., Karatayeva T.A., Novenko Ye.Yu. *Izvestiya TulGU. Yestestvennyye nauki*, 2012, no. 3, pp. 207–220 (in Russ.).
14. Ol'chev A.V., Volkova Ye.M., Karatayeva T.A., Novenko Ye.Yu. *Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 140-letiyu so dnya rozhdeniya I.I. Sprygina.* [Collection of articles of the International scientific conference dedicated to the 140th anniversary of the birth of I.I. Sprygin]. Penza, 2013, pp. 376–379 (in Russ.).
15. Ol'chev A.V., Volkova Ye.M., Karatayeva T.A., Novenko Ye.Yu. *Proshloye, sovremennoye sostoyaniye i prognoz razvitiya geograficheskikh sistem. Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem 2-4 oktyabrya 2014 g.* [Past, current state and forecast of the development of geographical systems. Materials of the All-Russian scientific conference with international participation October 2-4, 2014]. Kirov, 2014, pp. 140–145 (in Russ.).
16. Karatayeva T.A., Volkova Ye.M., Ol'chev A.V., Golovatskaya Ye.A. *Materialy Tret'yey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy izucheniya i ispol'zovaniya torfyanykh resursov Sibiri».* [Materials of the Third

* Corresponding author.

- International Scientific and Practical Conference “Problems of Studying and use of peat resources of Siberia”]. Tomsk, 2015, pp. 89–92 (in Russ.).
17. Olchev A., Volkova E., Karataeva T., Novenko E. *Environmental Research Letters*, 2013, vol. 8 (3), 035051. DOI: 10.1088/1748-9326/8/3/035051.
 18. Kozlovskaya L.S., Medvedeva V.M., P'yavchenko N.I. *Dinamika organicheskogo veshchestva v protsesse torfoobrazovaniya*. [The dynamics of organic matter in the process of peat formation.]. Leningrad, 1978, 176 p. (in Russ.).
 19. Volkova Ye.M. *Metody izucheniya bolotnykh ekosistem (uchebnoye posobiye po organizatsii i provedeniyu issledovatel'skoy raboty)*. [Methods of studying wetland ecosystems (a training manual on the organization and conduct of research)]. Tula, 2009, 94 p. (in Russ.).
 20. Yefremova T.T. *Strukturoobrazovaniye v torfyanykh pochvakh*. [Structuring in peat soils]. Novosibirsk, 1992, 191 p. (in Russ.).
 21. Inisheva L.I., Maslov S.G., Dement'yeva T.V., Shaydak L. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Ekologiya i prirodopol'zovaniye*, 2015, vol. 1, no. 2(2), pp. 6–16 (in Russ.).
 22. Mikhno V.B. *Karstovo-melovyye geosistemy Russkoy ravniny*. [Karst-Cretaceous geosystems of the Russian Plain]. Voronezh, 1990, 200 p. (in Russ.).
 23. Dymov V.S., Sychev A.I., Gurkin V.V. i dr. *Nedra Tul'skoy oblasti*. [The bowels of the Tula region]. Tula, 2000, 124 p. (in Russ.).
 24. Larina G.V., Kayzer M.I., Vyshnikova T.V. *Vestnik TGPU*, 2013, no. 8 (136), pp. 222–226 (in Russ.).
 25. Shigabayeva G.N. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya*, 2014, no. 12, pp. 45–53 (in Russ.).
 26. Volkova Ye.M., Rummyantseva Ye.V. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Ekologiya i ratsional'noye prirodopol'zovaniye»*, 2006, no. 1, pp. 277–286 (in Russ.).
 27. Bambalov N.N., Khoruzhik A.V., Lukoshko Ye.S., Strigutskiy V.P. *Ekspiriment i matematicheskoye modelirovaniye v izuchenii biogeotsenozov lesov i bolot*. [Experiment and mathematical modeling in the study of biogeocenoses of forests and swamps]. Moscow, 1990, pp. 53–63 (in Russ.).
 28. Volkova Ye.M., Gorelova S.V., Muzafarov Ye.N. *Izvestiya TulGU. Yestestvennyye nauki*, 2012, no. 2, pp. 253–263 (in Russ.).
 29. Frontasyeva M. V., Steinnes E. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2005, vol. 265, no. 1, pp. 11–15.
 30. Goltsova N., Vasina T.V. *Bioindicators of Environment Health*. Ecovision World Monograph Series, Academic Publishing, Amsterdam, 1995, pp. 141–154.
 31. Belousov M.V., Akhmedzhanov R.R., Gostishcheva M.V., Yusubov M.S., Matveyenko A.V. *Byulleten' sibirskoy meditsiny*, 2009, no. 4 (2), pp. 27–33 (in Russ.).
 32. Aristovskaya T.V. *Mikrobiologiya podzolistykh pochv*. [Microbiology of podzolic soils]. Moscow-Leningrad, 1965, 186 p. (in Russ.).
 33. Vishnyakova Ye.K., Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P. *Vestnik TGPU*, 2012, no. 7 (122), pp. 87–93 (in Russ.).

Received March 17, 2019

Revised July 9, 2019

Accepted October 21, 2019

For citing: Volkova E.M., Boykova O.I., Khlytin N.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 1, pp. 283–292. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcpm.2020015222.