

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ СО РАН
ИНСТИТУТ ХИМИИ НЕФТИ СО РАН
ГОРНО-АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТОРФЯНОЙ КОМИТЕТ РФ
ТОМСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ДОКУЧАЕВСКОГО ОБЩЕСТВА ПОЧВОВЕДОВ

БОЛОТА И БИОСФЕРА

**МАТЕРИАЛЫ VIII ВСЕРОССИЙСКОЙ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
НАУЧНОЙ ШКОЛЫ**

(10–15 сентября 2012 г.)

Томск 2012

УДК 551.0 + 556.56
ББК 26.222.7 + 28.081.8
Б 79

Б 79 Болота и биосфера : материалы VIII Всероссийской с международным участием научной школы (10–15 сентября 2012 г., Томск). – Томск : Издательство Томского государственного педагогического университета, 2012. – 304 с.

ISBN 978–5–89428–607–5

Сборник включает в себя избранные лекции ведущих специалистов и материалы молодых ученых по исследованию функционирования болотных экосистем, физико-химическим и биологическим свойствам болотных образований, направлению использования болотных ресурсов. Сборник может быть рекомендован для студентов, аспирантов, научных сотрудников, преподавателей естественнонаучных специальностей.

The collection includes the elected lectures of leading specialist and materials of the young scientists working in district research of the bog ecosystems function, vegetative of bogs, physico-chemical and biological productivity of bog formation, using of bog resources. The collection could be recommend for the students, post-graduate students, researches, teachers of naturally – scientific specialities.

ББК 26.222.7 + 28.081.8

Научный редактор:

д-р с.-х. наук, чл.-корр. РАСХН, профессор *Л. И. Инишева*.

Рецензенты

д-р биол. наук *В. К. Бахнов*,

д-р геогр. наук *Б. С. Маслов*.



Публикуется при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 10-05-06059)

Тексты докладов публикуются в авторской редакции

ISBN 978–5–89428–607–5

© Авторский коллектив, 2012
© Издательство ТГПУ, 2012

Введение

В программе Школы целых два направления из пяти посвящены инновационной тематике. Это – использование торфа в медицине, как самое актуальное и экономически выгодное направление на современном этапе. И в целом хотелось бы рассмотреть положение с инновациями в торфяной промышленности. Поэтому во введении мы сделаем некоторые пояснения о существующем состоянии с добычей торфа и его использованием за рубежом и в России, а в приложении приведем выдержки из Форума, состоявшегося в Твери 27–28 апреля 2011 года. Все наши участники Школы, таким образом, получают представление о состоянии дел с торфяными ресурсами.

Добыча и переработка торфа во всем мире является высокорентабельным (30–40 %) и перспективным видом бизнеса. Мировая потребность в торфе имеет четко выраженную тенденцию к неуклонному росту, поэтому торф является предметом экспорта. Наиболее крупными потребителями торфа являются США, Западная Европа, Япония, Ближний Восток и другие страны, в которых развернуты работы по повышению плодородия почв, предотвращению эрозии земель, осуществлению экологических программ. В последние годы активный интерес к импорту торфа начал проявлять Китай.

Торф традиционно использовался в сельском хозяйстве, а также в качестве топлива. И в обозримом будущем потребность в торфе в этих секторах экономики будет только возрастать в связи с необходимостью обеспечения продовольствием растущего населения Земли и резким удорожанием энергоносителей. Торф относится к возобновляемым природным ресурсом. Все это является достаточным основанием для развития торфяной промышленности.

Кроме того, научные исследования показали, что торф является ценным органическим сырьем. Из него можно производить экологически чистые строительные материалы (утеплители, плиты различного назначения), продукты глубокой переработки (биостимуляторы, медицинские препараты широкого ассортимента, сорбенты, активные угли) и т.д. При современном уровне развития науки и техники уже имеются или будут разработаны в ближайшее время десятки технологий производства разнообразной продукции на основе торфа, потому что использование продукции на основе торфа в промышленности и сельском хозяйстве является высокорентабельным.

В нашей стране за последние годы добыча торфа неуклонно сокращалась. Это было связано как с прекращением государственного финансирования отрасли, так и с обвальным падением платежеспособного спроса со стороны сельского хозяйства. При этом торфопредприятия России, как правило, были градообразующими и в отдаленных поселках вынуждены были нести затраты по содержанию социальной сферы, коммуникаций

и т.д. В европейской части России торфодобыча и торфопереработка, хотя и существенно снизились, но кое-где сохранились на базе существовавших ранее мощностей. Во-первых, сказалась поддержка местных властей, во-вторых, – близость европейских рынков сбыта. Внутренний частный платежеспособный спрос в нашей стране (например, на торфосмеси) невелик и поэтому пока не играет самостоятельной роли.

В стране имеется положительный опыт работы торфяной промышленности в современных условиях. Например, в Костромской области была принята и частично реализована целевая «Областная программа «Торф» по развитию торфяной отрасли Костромской области на период до 2005 года». В результате в Костромской области удалось предотвратить банкротство основных торфопредприятий области и стабилизировать ситуацию по добыче торфа.

Но даже при активной поддержке местной власти (льготное налогообложение, госзаказ, субсидии) отрасль испытывает острую нужду в инвестициях.

Таким образом, торфяная промышленность в нашей стране пока не является инвестиционно привлекательной для частного капитала. Казалось бы, о чем мы с Вами печемся – у отрасли будущего нет. Но это просто несправедливо для России, занимающей первое место по запасам торфа!

Б. Окуджава

В земные страсти вовлеченный,

Я знаю, что из тьмы на свет

Однажды выйдет ангел черный

И крикнет, что спасенья нет.

Но простодушный и несмелый,

Прекрасный, как благая весть,

Идуций следом ангел белый

Прошепчет, что надежда есть.

Конечно же, надежда всегда есть! Она заключается в нашей с Вами активности, в объединении усилий ученых, производителей, чиновников, чтобы на первом этапе на уровне Государственной думы РФ были приняты **«Закон о торфе»** и **«Федеральная целевая программа «Торф»**. Это непростая задача, но работа уже началась.

И такие проблемы тоже будут обсуждаться на нашей традиционной Школе «Болота и биосфера». А всем участникам Школы пожелаем удачной работы!

О ТВОРЧЕСТВЕ ВЫДАЮЩЕГОСЯ ГИДРОЛОГА К.Е. ИВАНОВА

Академик РАСХН Б.С. Маслов

В 2012 году, 23 октября исполняется 100 лет со дня рождения выдающегося гидролога-гидротехника, профессора, доктора наук **Константина Евгеньевича Иванова**, скончавшегося 2 января 2004 года.



К.Е. Иванов

В недавно изданной капитальной книге под редакцией его ученика Сергея Михайловича Новикова «Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири» (2009 г.), посвященной светлой памяти К.Е. Иванова, он справедливо назван одним из основоположников гидрологии болот. Это научное направление возникло не сразу, в него немалый вклад

внесли В.Н. Сукачев, Е.В. Оппоков, А.Д. Дубах, С.Н. Тюремнов, Е.А. Галкина, А.Г. Булавко и многие другие. Основополагающий вклад К.Е. Иванова – разработка, теоретическое и методическое обоснование метода фильтрационного склонового стекания воды на болотах, позволяющего количественно оценивать для любых участков болот гидрологические параметры, испарение, сток, запас влаги, водообмен болот с прилегающими к болотам территориями.

Благодаря этому сделан решительный шаг от качественного описания болот к применению строгих математических зависимостей с использованием уравнения водного баланса, являющегося выражением всеобщего закона сохранения материи, вещества. Гидрология торфяных болот благодаря К.Е. Иванову стала на прочный научный фундамент. Открылись перспективы для управления водным и связанным с ним тепловым режимом болот в интересах разных отраслей хозяйственной деятельности и охраны болот. Труды К. Е. Иванова по многолетнему изучению болот Западной Сибири, особенно известные книги (Основы гидрологии болот лесной зоны и расчёты водного режима болотных массивов, 1957; Гидрологические расчёты при осушении болот и заболоченных земель, в соавторстве с В.В. Романовым и др., 1963; Водообмен в болотных ландшафтах, 1975), а также многие статьи с материалами наблюдений на открытых по его инициативе и работавших под его методическим руководством болотных станциях, дают возможность проследить путь научных исканий учёного, бывшего по образованию гидротехником, но ставшего по призванию гидрологом не без благотворного влияния знаний по гидротехнике.

Разработка метода фильтрационного склонового стекания была подготовлена статьями К.Е. Иванова по обоснованию расчётов водного баланса болотных массивов и исследований водопроводимости торфяной залежи (1953 г.), по количественным связям гидрологических

параметров с растительным покровом (1954), по связи стекания воды с болот с их микрорельефом (1956), о применении аэрофотосъёмки при гидрологических расчётах водного режима болот (1959), о движении воды в торфяных залежах и причинах их переувлажнения (1960). Пожалуй, интегрирующей основой этих работ стал доклад Константина Евгеньевича на ежегодных чтениях памяти Л.С. Берга «Некоторые вопросы применения учения о ландшафте в гидрологии болот» в 1960 г. Ландшафт и только ландшафт позволял объединить в нечто определенное многообразие растительности и видов торфяных залежей, особенностей их рельефа, геоморфологии геологического строения, климата и другие. Согласно общему определению Л. Раменского (1973), ландшафт есть конкретная территория, однородная по своему происхождению и истории развития, обладающая единым геологическим фундаментом, однотипным рельефом, общим климатом, единообразным сочетанием гидротермических условий, почв, биоценозов и закономерным набором морфологических частей – фаций и урочищ.

Ландшафтный принцип привел к обоснованному выделению в пределах болот основной таксономической единицы – *типа болотного микроландшафта*. Растительный покров на болотах стал главным биофизическим индикатором для выделения микроландшафтов. Как известно, среда обитания растительности зависит от всего комплекса геоморфологических условий и других слагаемых ландшафта. Для выделения микроландшафтов (болотных фаций) и определения водообмена внутри болот и связей с другими микроландшафтами предложено использовать гидроморфологические связи. Различные типы микроландшафтов образуют болотные мезоландшафты, а последние, в свою очередь, макроландшафты. Ландшафтный подход позволяет не только проследить процессы развития болот в разных природно-климатических зонах, но и стать основой расчета составляющих водного баланса болот.

Для выделения болотных ландшафтов разной крупности, включая микроландшафты, оказались весьма перспективными материалы аэрофотосъёмок болот, позволяющие, без трудновыполнимых геодезических съёмок, определять с использованием разработанных методик рельеф и растительность болот. В зависимости от рельефа по аэрофотосъёмкам строится сетка линий стекания воды. Как считает К.Е. Иванов, *«сетка линий стекания является основной гидродинамической характеристикой для неосушенных болотных массивов, находящихся в естественном состоянии»*. К.Е. Иванов доказал, что уклоны поверхности и очертания растительного покрова на болотах практически полностью совпадают с уклонами и очертанием поверхности грунтовых вод, что позволяет использовать сетки стекания для расчёта поверхностного и грунтового стока.

Применение сеток стекания для определения приточности воды на болота и стока с болотных микроландшафтов стало основой нового метода, творчески привнесенного К.Е. Ивановым из гидродинамики и гидротехники. Здесь нелишне напомнить истину о благотворном влиянии смежных наук на избранную учёным. В названных отечественных науках ещё в довоенные и первые послевоенные годы, начиная с работ Н.Н. Павловского, Н.К. Гириного, Е.А. Замарина, а в последующие годы С.Ф. Аверьянова, гидродинамические сетки движения подземных вод заняли достойное место в познании гидрогеологических закономерностей при сооружении гидротехнических сооружений, для изучения режима грунтовых вод и вывода формул для расчёта дренажа (А.Н. Костяков, С.Ф. Аверьянов и др.). При построении гидромеханических сеток движения требуется выполнение условий: 1) ортогональность линий тока и эквипотенциалей; 2) постоянство сторон элементарных прямоугольной сетки; 3) постоянство расходов и падения напора для элементов прямоугольной сетки. Этот метод, как показал С.Ф. Аверьянов, позволяет решать сложные в теоретическом отношении пространственные задачи для грунтовых потоков со свободной поверхностью.

Применительно к анализу склонового стекания поверхностных вод подобные сетки плодотворно использованы Н.Е. Долговым, А.Н. Бефани, А.Н. Костяковым и др. в так называемом методе изохрон. Под последними понимают линии одновременного добегания воды.

Профессору К.Е. Иванову удалось увязать графически применительно к болотам в сетках линий стекания поверхностный и грунтовый потоки. Сетка стекания состоит из линий стекания, проведенных ортогонально горизонталям поверхности, которые на болоте практически повторяют гидроизогипсы, позволяющие с использованием специальных методик определять направление и скорости движения воды и подсчитать расход воды, стекающий с любого участка болота. Применение аэрофотоснимков позволило обходиться при применении этого метода от трудоёмкой работы по составлению карт с горизонталями рельефа болот. Важным составным положением нового метода расчета является обоснование активного (деятельного) и инертного горизонтов торфяной залежи в движении воды на болоте. Для всех болот разного генезиса и стадий развития Константин Евгеньевич доказал, что режим грунтовых (болотных) вод, колебания их уровней являются интегрирующим показателем водного баланса болота, его фаций и урочищ. Хотел бы подчеркнуть, что научная деятельность К.Е. Иванова протекала в тесном взаимодействии с другими учёными и прежде всего с Е.А. Галкиной и В.В. Романовым.

Выполненные К.Е. Ивановым разработки позволяют при минимуме экспериментальных данных, располагая материалами наблюдений за уровнями грунтовых

вод и водно-физическими свойствами торфяной залежи, рассчитать с применением воднобалансовой методики водообмен болот разной конфигурации и в различных условиях залегания и делать прогноз устойчивости болотных и озерно-болотных ландшафтов. Метод с использованием сеток стекания логически стройный, я бы сказал, изящный, что говорит о его совершенстве.

Несколько слов о *личных встречах* с К.Е. Ивановым, учёным из предшествующего для меня поколения. В 1964 году, начав работать во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО) Мингео СССР в группе по мелиоративной гидрогеологии (в последующем ставшей отделом) под руководством профессора Д.М. Каца, по теме об особенностях режима грунтовых вод на болотах и заболоченных землях и столкнувшись с необходимостью организации стационаров для изучения режима и баланса подземных вод на болотах, решил посетить Зеленоградскую болотную станцию ГГИ под Ленинградом, где ознакомиться с методикой исследований. Приехав в ГГИ, направился к заместителю директора К.Е. Иванову, возглавлявшему одновременно болотный отдел. Был любезно принят, вызвал удивление тем, что гидрогеологи проявили интерес к болотам. На состоявшуюся беседу пригласил известного гидрофизика В.В. Романова. В наблюдениях, проводимых в то время на болотных станциях, по мнению гидрогеологов и мелиораторов не хватало наблюдательной сети для изучения *in situ* одного элемента водного баланса – водообмена торфяной залежи с нижележащими водоносными горизонтами, т.е. инфильтрации через торфяную залежь или вертикального подпитывания торфа напорными водами. Конечно, на верховых болотах (а болотные станции расположены преимущественно на верховых болотах!) инфильтрация незначительная или отсутствует, подпитывание со стороны подземных вод также отсутствует, но картина водообмена наблюдательной сетью полностью не раскрывается.

В практике воднобалансовых исследований нередко один из элементов водного баланса (часто это трудноопределимый водообмен болота с подземными водами) вычисляют по разности между приходной и расходной частями баланса, в результате получаемая величина включает все ошибки в определении других элементов баланса, что недопустимо. Обсудив этот вопрос, К.Е. Иванов согласился с необходимостью установки в необходимых случаях кустов пьезометров на болотные воды и смежные водоносные горизонты с привлечением гидрогеологических режимных партий территориальных управлений Мингео. Эта работа была осуществлена, поэтому в книге «Водообмен...» (1975) Константин Евгеньевич для характеристики взаимосвязей при разных сочетаниях суммы осадков и водообмена делает принципиальные выводы о ничтожном участии (или неучастии) подземных вод в водном питании верховых болот, а его ученик С.М. Новиков называет величину инфильтрации с

болот до уровня подземных вод, когда уровни последних залегают ниже подошвы торфяной залежи. Вспоминая об этой первой встрече, восхищаюсь простотой и доступностью учёного, который принял молодого кандидата наук, его интеллигентностью.

В сентябре 1975 г. К.Е. Иванов дарит мне свою только что вышедшую книгу «Водообмен в болотных ландшафтах» с надписью «Глубокоуважаемому Борису Степановичу Маслову от автора на добрую память». С благодарностью храню книгу и память о её авторе, нередко заглядывая в неё. В этой книге в разделе «Разрушение болотных систем» он привёл мою формулу по интенсивности осадки торфа после осушения низинных болот во времени в зависимости от климатических условий, которые мною

охарактеризованы коэффициентом термогумидности $\alpha_T = \frac{100t}{P}$, где t – среднегодовая температура воздуха, °С; P – норма осадков, мм, а также глубины залегания уровней грунтовых вод и исходной мощности торфа. Формула получена на основе обработки материалов наблюдений в разных районах СССР, США, Англии, Германии, Норвегии, Венгрии, Италии и других стран. В результате анализа с построением графика зависимости осадки торфа от $\frac{P}{t}$ (мой неудачный коэффициент преобразовал, отбросив цифру 100, введенную мною для избавления от дробных чисел) К.Е. Иванов приходит к выводу, что начальный рельеф болота после осушения должен выравниваться со временем, вслед за кривой депрессии.

При осушении болот под влиянием осадки и сработки торфа формируется новый ландшафт на месте болотных систем. Анализ приводит его к принципиальным выводам: *«В зоне избыточного увлажнения распад болотных систем от переосушки торфяной залежи вообще не наблюдается, так как даже районы с прогрессивными процессами денудации или прогрессивно дренируемые участки болот, связанные с тектоническими движениями земной коры и изменениями дренирующей способности речной сети (глубин вреза речных русел), не приводят к изменению положения границ болот и сокращению заболоченных площадей, а сопровождаются лишь структурными изменениями в болотных системах и снижением интенсивности торфонакопления. Процесс заболачивания территорий в зоне избыточного увлажнения в пределах обозримых периодов времени, при неизменных, климатических условиях, оказывается необратимым. Поэтому случай деградации и разрушения болотных систем имеет место главным образом при искусственном осушении болотных систем».*

Последний раз я встречался с К.Е. Ивановым в начале «перестройки», когда ученые вынуждены были искать договора для проведения исследований. Он посетил Минводхоз СССР и был у меня в Главнауке. Бюджетное финансирование институтов в то время резко

сократилось, удалось выделить несколько десятков тысяч рублей на исследование болот в связи с проблемой охраны природы. Грустное, подлое, нищенское для ученых время перестройки. Рассказал он об исследованиях болот в районах нефтедобычи, проводимых ГГИ по договору с Главтюменьнефтегазом, финансирование по которому также сокращалось...

Прекрасным и добрым ученым, заложившим теоретические основы современной гидрологии болот, остался навсегда в памяти Константин Евгеньевич Иванов, ему я посвятил изданное в 2008 году в Томске учебное пособие «Гидрология торфяных болот». Методические разработки учёного найдут широкое и благодарное применение при решении вопросов рационального использования и охраны земель уже в ближайшем будущем.

Основные труды Константина Евгеньевича Иванова

1. Гидрология болот. – Л.: Гидрометеиздат, 1953. – 299 с.
2. Теоретическое и экспериментальное обоснование метода расчета элементов водного баланса болотных массивов // Труды ГГИ. – 1953. – Вып. 39 (93). – С. 52–49.
3. Образование грядово-мочажинного микрорельефа как следствие условий стекания влаги с болот // Вести ЛГУ. Сер. геология и география. – 1956 – Вып. 2. – № 12. – С. 58–72.
4. Основы гидрологии болот лесной зоны и расчеты водного режима болотных массивов. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – 500 с.
5. Принципиальные основы гидрологии болот // Тр. 3-го Всесоюзного гидрологического съезда. – Л. – Т. VII. – 1959 – С. 133–141.
6. Гидрологические расчеты при осушении болот и заболоченных земель. – Л. Гидрометеиздат, 1963. – 447 с. (в соавторстве с В.В. Романовым, Л.М. Сидоркиной, Н.М. Шифманом, Л.Г. Бавиной, И.А. Галиновской, Е.П. Крутецкой).
7. Вопросы динамики развития и гидроморфологические характеристики рямов Барабинской низменности // Труды ГГИ. – 1964. – Вып. 112. – С. 33–53 (в соавторстве с Л.В. Котовой).
8. Основы теории морфологии болот и гидроморфологические зависимости // Труды ГГИ. – 1965. – Вып. 126. – С. 5–47.
9. Эрозионные явления на болотах и их роль в формировании озерно-болотных ландшафтов Западной Сибири // Труды ГГИ. – 1969. – Вып. 157. – С. 78–97.
10. Озерно-болотные системы и их устойчивость при преобразовании избыточно увлажненных территорий // Ученые записки ЛГУ. Сер. географических наук. – 1974. – Вып. 23. – № 376. – С. 5–81.
11. Водообмен в болотных ландшафтах. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 280 с.
12. Возраст болот и связь скорости торфонакопления с проточностью на примере массивов бассейна реки Волхова // Проблемы охраны окружающей среды. – Л. 1980. – С. 52–65 (в соавторстве с Г.Н. Клейменовой).
13. Методика исследования роли болот в формировании химического состава речных вод // Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды. – Пермь: 1980. – С. 90–96.
14. Теоретические основы современной гидрологии болот // Водные ресурсы. – 1983. – № 6. – С. 65–72.
15. Трофность среды обитания растительного покрова и гидролого-географический метод оценки некоторых ее показателей // Труды ГГИ. – 1988. – Вып. 333. – С. 3–22.

Полный список трудов К.Е. Иванова опубликован в издании:

К.Е. Иванов. Библиографический указатель / составители С.М. Романов, Л.И. Усова. – СПб.: Изд-во С-Пб. гос. ун-та, 1998. – 21 с.

СЛОВО ПАМЯТИ О МОЕМ УЧИТЕЛЕ – Н.И. ПЬЯВЧЕНКО

С.П. Ефремов

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск

Профессор Николай Иванович Пьявченко (21.12.1902 г. – 12.04.1984 г.) принадлежит к той блестящей плеяде советских и русских природоведов-энциклопедистов, научное



Н.И. Пьявченко

наследие и высокий авторитет которых не могут быть преданы забвению, поскольку не ограничиваются конфигурацией временных рамок, не зависят от конъюнктурных обстоятельств и уж тем более не могут определяться сменой в стране политических, экономических и иных малонадежных пристрастий.

Он понимал и изучал природу в диалектическом единстве ее разнокачественных и разномасштабных компонентов, взаимовлияние и динамическое развитие которых позволяет сохранять стабильное состояние биосферы Земли благодаря причинно-следственным связям, устанавливающимся между биогенными и абиогенными факторами среды: нарушение этих связей, как показывает история взаимоотношений человечества и природы, всегда приводит к негативным последствиям. В общении с молодыми сотрудниками Николай Иванович особо часто напоминал известное замечание И. Гёте о том, что «природа не признает шуток; она всегда правдива, всегда серьезна, всегда строга; ошибки же и заблуждения исходят от людей».

Казалось бы, какие ошибки и заблуждения могут возникнуть у людей по отношению к болотам, болотным трясинам, зыбунам, топям, к их непонятной роли в биосфере, к целесообразности охраны и использованию в хозяйственной деятельности и т.п. Всю свою жизнь Николай Иванович Пьявченко как раз и посвятил разностороннему изучению огромного, но увлекательного спектра проблем, связанных с многообразием и зональной самобытностью болот России, их зарождением, хронологическими этапами активного развития и условиями исчезновения с лица планеты, включая формы и степень антропогенной трансформации.

Николай Иванович Пьявченко родился 110 лет назад в г. Курске в небогатой семье народного учителя. Члены семьи среди жителей города выделялись подчеркнутыми скромностью, трудолюбием и благовоспитанностью – чертами, которые глубоко укоренились в характере Николая Ивановича. Свою трудовую деятельность он начал с должности канцелярского курьера в Курском губернском земельном отделе сразу же, как только исполнилось ему 18 лет. В 1926 г. без отрыва от основной работы и по настоянию

земельного отдела он поступает на годичные курсы по торфяному делу, окончив которые получает должность техника, а затем торфмейстера последовательно уездного и районного масштабов. Общая задача сводилась к болотным изысканиям, выявлению торфяных ресурсов и пригодных для окультуривания заболоченных земель Курской губернии и сопредельных с нею территорий. Будучи от природы человеком пытливым и крайне ответственным, Николай Иванович рано проявил способности к аналитическому мышлению и обобщению результатов полевых и камеральных исследований, которые он рассматривал в совокупном единстве. С 1928 г. в журнале «Торфяное дело» начали появляться его первые научные статьи, посвященные практической рационализации болотных изысканий и торфяных разработок.

Активная научная и производственная деятельность Н.И. Пьявченко способствовала тому, что в 1929 г. он назначается директором Дреняевского опытно-показательного торфяного пункта и до 1940 г. бессменно руководил этим предприятием. Одновременно он организует и непосредственно участвует в целой серии экспедиций, исследовавших торфяные болота Центрально-Черноземных областей, Мордовии, Ленинградской области и других территорий Северо-Запада страны. Проводится отбор и массовый анализ образцов торфа на ботанический состав, степень разложения, содержание минеральных компонентов и изменчивость кислотно-щелочных свойств. Активизируются работы по овладению палинологическими методами анализа стратиграфии торфяных залежей. В частности, конструируются спорово-пыльцевые диаграммы, дающие наглядное представление о фазах и этапах голоценовой динамики болотообразовательного и торфонакопительного процессов.

В эти годы у Николая Ивановича возникла идея изготовить торфяной бур специфической конструкции, который позволял бы производить отбор образцов с любых глубин без нарушения естественной структуры вертикальных и горизонтальных характеристик торфяных залежей. Совместно с механиком М.М. Штецко были разработаны варианты чертежей челнока и штанг, а затем изготовлены и опробованы в полевых условиях их опытные образцы. Был выбран наиболее удобный и надежный вариант, впоследствии получивший наименование «Торфяной бур системы Пьявченко-Штецко». В эти же годы Николаем Ивановичем в общих чертах были разработаны принципы весьма оригинального метода определения степени разложения торфа, названного объемно-весовым и позднее признанного наиболее объективным по своей простоте и доказательности.

Почти 7 лет (до 1949 г.) Н.И. Пьявченко посвятил активной научной деятельности в Центральной торфяной опытной станции (ЦТОС), где осваивал и разрабатывал новые для того времени методы исследования болот и торфяных залежей, придавая им по форме и содержанию комплексный характер. Имя Николая Ивановича Пьявченко, как неумоимого

знатока и исследователя болот, стало широко известным в стране и за рубежом не только по научным публикациям, но и благодаря его блестящим выступлениям с докладами на конференциях, совещаниях, симпозиумах по актуальным проблемам болотоведения, геоботаники, гидрологии, торфоведения, почвоведения. Он обладал замечательным свойством быстро находить контакт с крупными учеными и молодыми начинающими исследователями, заражая тех и других своими планами научного поиска, организаторским энтузиазмом и энергичной последовательностью в достижении поставленных целей. Совершенно не случайно Николай Иванович в 1949 г. получил от академика АН СССР В.Н. Сукачева приглашение перейти на работу на должность ученого секретаря в Институт леса АН СССР, организатором и директором которого В.Н. Сукачев был с 1944 г. Это была важная веха в жизни Н.И. Пьявченко уже потому, что сам академик В.Н. Сукачев был одним из российских пионеров изучения болот, он знал и любил болота, много и плодотворно пропагандировал экологическое своеобразие и значимость болот в системе компонентов биосферы.

В 1950 г. по инициативе академика В.Н. Сукачева Н.И. Пьявченко организует в Институте леса АН СССР Лабораторию лесного болотоведения, многотрудными усилиями он оснастил ее приборным оборудованием и экспедиционным снаряжением, что в последующие годы позволило развернуть широким фронтом маршрутно-полевые и стационарные исследования лесоболотных массивов Европейской части страны, прежде всего в северных, северо-западных областях, в Коми АССР. На Северной лесной опытной станции Института леса АН СССР в Вологодской области впервые было положено начало комплексным стационарным исследованиям взаимоотношений леса и болота. Именно в это время у Николая Ивановича начала «пробивать» свой путь идея обособления лесного болотоведения в самостоятельное научное направление, специфически синтезирующее в географо-экопической системе заболоченных и болотных лесов фундаментальные основы и методологию общего болотоведения, лесоведения, лесной фитоценологии, биогеоценологии и других смежных наук, прежде всего гидрологии и почвоведения. В теоретическом и практическом отношении эта идея имела вполне достаточные основания, вследствие чего нашла полное понимание и одобрение среди широкого круга ученых-биологов и специалистов целого ряда производств.

Таким образом, с переходом Н.И. Пьявченко в Институт леса АН СССР начался новый период его плодотворной научной деятельности, в которой существенное внимание уделялось лесным аспектам болотной проблематики: сформулированы первоочередные задачи лесного болотоведения, внесены принципиальные коррективы в теорию заболачивания и разболачивания суши, разработана типологическая основа и классификация

лесов гидроморфного ряда развития, намечены и частично реализованы программные вопросы повышения продуктивности заболоченных и болотных лесов методами осушительной мелиорации, регулирования состава и густоты древостоев. Под руководством Н.И. Пьявченко выполнены работы по анализу факторов заболачивания вырубок и их лесозаращивания. Одновременно Николай Иванович организовывал и проводил серьезные географические и палеоботанические экспедиции в наиболее заболоченные, обводненные и заторфованные регионы страны. Помимо вышеназванных он исследовал торфяно-болотные комплексы на Кольском полуострове, в Карелии, на Нижней Печоре и Большеземельской тундре, на полуострове Ямал, Таз-Енисейском междуречье, Норильском Севере, в районе Воркуты и многих лесоболотных бассейнах Российского Нечерноземья.

В 1959 г. Институт леса АН СССР был переведен из Москвы в Красноярск, вошел в состав Сибирского отделения АН СССР и получил своеобразную «добавку» к своему названию – теперь он именовался как Институт леса и древесины Сибирского отделения АН СССР. Николай Иванович Пьявченко оказался в составе «десанта» авторитетных ученых, на которых возлагалась обязанность наладить академический уровень исследований лесов Сибири, а также иных зональных, интразональных и высотно-поясных лесорастительных комплексов. Он успешно выполняет функции заместителя директора Института по научной работе и одновременно является заведующим Лабораторией лесного болотоведения и мелиорации. С присущим ему энтузиазмом он разрабатывает грандиозный план комплексного изучения болот Сибири и Дальнего Востока: их истории, географического распространения, типологического разнообразия, ресурсного потенциала, условий повышения продуктивности и, главное, выяснения биосферных функций в силу глобальных масштабов занимаемых территорий. Быстро были налажены творческие контакты с местными сибирскими учеными Красноярска, Томска, Новосибирска, Иркутска и других городов, работавшими главным образом в высших учебных заведениях, - геоботаниками, флористами, лесоводами, болотоведами, почвоведомы, гидрологами и географами. В полевых лесоболотных отрядах стали активное участие принимать студенты и молодые преподаватели. Иными словами, Н.И. Пьявченко придал мощный академический импульс делу изучения болот, заболоченных и болотных лесов во всех экобиомах Сибири, включая тундру, лесотундру, тайгу, южные предгорные и предгорно-лесостепные регионы. Преобладали экспедиционные методы исследования заболоченных и заторфованных территорий.

Отдавая должное результатам экспедиционных исследований, Николай Иванович в неменьшей степени заботился об организации системных стационарных работ на постоянной круглогодичной основе. Первоначальная задумка на этот счет у него была связана с

болотами вблизи Красноярска. Рассматривались несколько вариантов, из которых остановились на двух крупных и особо интересных с исторической, экологической и практической точек зрения лесоболотно-ландшафтных образованиях – бассейне р. Чулым и Кемчугской возвышенности. Предполагалось, что, наряду с исследованиями естественных состояний и разнообразия болот и заболоченных лесов, будут выполнены в опытном порядке мелиоративные работы на ограниченных площадях, на которых, как и на ключевых объектах, необходимо было наладить постоянные сравнительные наблюдения. Разумеется, для организации этих трудоемких работ (строительство стационарных помещений, разработка проектов опытного лесосошения, приобретение мелиоративной техники, проведение в натуре водорегулирующих каналов и т.п.) требовалась помощь и реальное участие Красноярского краевого управления лесного хозяйства. К сожалению, его руководители не проявили заинтересованности в организации подобных уникальных исследований, рассчитанных, конечно, на многие десятилетия: на то они и являются стационарными по форме и фундаментальными по содержанию. Как говорится, на нет – и суда нет.

Н.И. Пьявченко не был обескуражен чиновничьей недалечностью красноярских лесохозяйственников, а предложил этот план управления лесного хозяйства Томской и Новосибирской областей: территория этих областей по многим признакам образует географическое лесоболотное ядро Западносибирской равнины. Бывшие в то время начальниками областных управлений лесного хозяйства Д.И. Гольдин (Томск) и С.И. Кабалин (Новосибирск) с пониманием отнеслись к болотной проблематике и всячески содействовали развертыванию научных планов Н.И. Пьявченко, в том числе проведению опытного лесосошения и последующих лесохозяйственных работ на мелиорированных площадях. Таким образом, благодаря содружеству ученых и практиков был организован единственный в Сибири Томский лесоболотный стационар, многолетние исследования на котором выявили как положительные, так и негативные последствия лесосошения в условиях Западносибирской равнины. При непосредственном участии и под руководством Н.И. Пьявченко здесь были проведены либо инициированы другие направления фундаментальных исследований лесоболотных комплексов, например, в области палеоботанической диагностики фаз голоцена, международной биологической программы, типизации, районирования и классификации болот и заболоченных лесов, экспериментальной индикации последовательных этапов трансформации органического вещества торфяных залежей при нарастании «парникового эффекта» атмосферы и антропогенном воздействии на болота.

Сибирский период жизни оказался для Н.И. Пьявченко не менее знаменательным, чем предыдущие и последующие годы его научной деятельности вне пределов Сибири, в какой-то мере они были даже более увлекательными и многогранными с точки зрения распознавания новых географических, исторических и продукционных закономерностей болотообразовательного, лесообразовательного и торфоаккумулятивного процессов. После отъезда в конце 1967 г. из Красноярска в Москву Николай Иванович работает в тесном контакте с академиком В.Н. Сукачевым, но не бросает начатых работ на Томском лесоболотном стационаре Института леса и древесины СО АН СССР, продолжая изучать взаимоотношения леса и болота. Он неоднократно возвращался на свои сибирские объекты, и было отранно наблюдать, что он влюбился в лесоболотную ниву Сибири, в ее разнообразие, неоткрытые тайны и, главное, он сознавал и предрекал биосферную значимость глобальных масштабов болотных пространств азиатской части страны.

В 1969 г. он становится Председателем Карельского филиала Академии наук СССР, избирается членом-корреспондентом АН СССР, организует в Институте леса Карелии Лабораторию лесного болотоведения и мелиорации. Здесь вокруг него, как и прежде, быстро сформировался круг единомышленников и хватких до «болотных» открытий молодых исследователей. Как и в Сибири, Николай Иванович организовал в Карелии лесоболотный стационар – Киндасовский, сыгравший существенно значимую роль не только в рационализации лесохозяйственного производства Северо-Западного экономического района страны, но и в разработке ряда теоретических основ общего и лесного болотоведения.

Главным девизом в научной работе Николая Ивановича Пьявченко было краткое, но емкое по смыслу словосочетание – проверить теорию практикой. Этому он посвятил всю свою жизнь. Отечественные и зарубежные коллеги признавали его непререкаемый авторитет в болотоведении, лесоведении, биогеоценологии, палеоботанике, почвоведении, географии и многих других науках. Научное лесное сообщество Финляндии избрало его своим членом. Ему было присвоено звание Заслуженного деятеля науки РСФСР. Он состоял членом Всесоюзного ботанического общества и других научных обществ. Н.И. Пьявченко являлся Председателем секции болотоведения Научного совета АН СССР по проблемам биогеоценологии и охраны природы. Он был избран Почетным председателем Межведомственного научно-технического совета по гидролесомелиорации и часто представлял советских болотоведов и мелиораторов на научных форумах за рубежом; был членом лесной секции ВАСХНИЛ, членом советского комитета Международной биологической программы по секции «Телма», являлся заместителем главного редактора журнала «Лесоведение». За монографию «Бугристые торфяники» (1955) Н.И. Пьявченко был удостоен премии Президиума Академии наук СССР, а его книга «Лесное болотоведение»

(1963) стала настольным многопрофильным пособием не только для лесоболотоведов, но и специалистов целого ряда научных направлений в области почвоведения, гидрологии, климатологии, географии, биогеоценологии, палеоботаники, геоботаники и др.

Долгое время Н.И. Пьявченко являлся членом экспертной комиссии ВАК, входил в состав ученых советов Института леса и древесины СО АН СССР, Петрозаводского государственного университета. Он вел большую общественную и педагогическую работу, в частности преподавал в Московском торфяном институте, был руководителем диссертационных изысканий многих аспирантов и соискателей ученых степеней. Являлся членом КПСС, входил в состав Карельского Обкома КПСС. В последние годы жизни Николай Иванович работал заведующим Лабораторией проблем рационального использования и охраны экосистем Института эволюционной морфологии и экологии животных АН СССР.

Мне посчастливилось, еще будучи студентом, познакомиться с Николаем Ивановичем Пьявченко сразу же после его приезда в Красноярск летом 1959 г. и до конца его жизни мы находились в дружеских контактах не только по научной работе, но и в теплом семейном общении. Он запомнился мне человеком высокой научной и бытовой культуры, это был рафинированный интеллигент сукачевской школы, эмоционально подвижный и талантливый ученый в широком спектре научных дисциплин, стремительно-блестящий интерпретатор, уважительный полемист, обладавший завидным красноречием и четким полетом логических построений не только в своих статьях и книгах, но и в публичных выступлениях на научных форумах. Коренастый, невысокого роста, он был физически мускулистым мужичком, как будто специально приспособленным для таранного прохода через болота и, в особенности, для бурений торфяных залежей, которые он проводил почти играючи.

Летом 1961 г. мы были с Николаем Ивановичем в составе Комплексной экспедиции АН СССР в районе пролета Тунгусского метеорита и бурили 12-метровую торфяную залежь на крупнобугристом Южном болоте, с которого вытекает знаменитый водопад Чургим, впадающий в р. Хушма. Это была показательная смесь азартной и в то же время молчаливой многотрудно-напряженной игры в условиях 30-градусной дневной жары, плотных туч паутов, слепней и комарья. Потный Николай Иванович представлял из себя безостановочную бурильную машину, по завершении работы которой мы, четыре молодых помощника, услышали три слова: «кратера не было». И так у него было во всем и всегда – дело и результат превыше всего!

Результаты научных исследований Н.И. Пьявченко изложены в статьях, число которых превышает 150, и в девяти монографиях. В своей совокупности они внесли приоритетный вклад в развитие общего и лесного болотоведения, биогеоценологии, лесоведения,

торфоведения и целого ряда смежных наук. Он был награжден орденом «Знак почета», медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне». Несомненно, в творческой личности Николая Ивановича Пьявченко российская биологическая наука имела незаурядного талантливое исследователя природы болот и заболоченных лесов, страстного поборника и продолжателя идей своих учителей-предшественников, основателя и разработчика нового научного направления – лесного болотоведения. Векторы его теоретических и практических изысканий всегда соседствовали друг с другом, и в этом состоял весь смысл его жизни, ибо он работал во благо и процветание Отечества.

Основные труды Николая Ивановича Пьявченко

1. К познанию природы грядово-мочажинных болотных комплексов карельского типа // Труды Ин-та леса АН СССР. – 1953. – Т. 13. – С. 130–148.
2. Бугристые торфяники. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 280 с.
3. Некоторые типы болот и заболачивание лесов Тюменской области // Труды Ин-та леса АН СССР. – 1955. – Т. 26. – С. 97–123.
4. Торфяники русской лесостепи. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 191 с.
5. Некоторые результаты изучения взаимовлияния леса и болот в подзоне средней тайги // Труды Ин-та леса и древесины АН СССР. – 1962. – Т. 53. – С. 174–203 (в соавторстве с З. А. Сибирёвой).
6. Основы гидролесомелиорации. – М.: Гослесбуиздат, 1962. – 381 с. (в соавторстве с Е.Д. Сабо).
7. Лесное болотоведение. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 192 с.
8. К изучению болот Красноярского края // Заболоченные леса и болота Сибири. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 5–32.
9. Степень разложения торфа и методы ее определения. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1963. – 56 с.
10. О генезисе бугристых болот бассейна Подкаменной Тунгуски // Изв. СО АН СССР. Сер. биол.-мед. наук. – 1964. – № 12. – С. 37–43 (в соавторстве с С.П. Ефремовым).
11. Типы болотных лесов Томского стационара // Особенности болотообразования в некоторых лесных и предгорных районах Сибири и Дальнего Востока. – М.: Наука, 1965. – С. 97–113.
12. Результаты палинологического изучения торфяников енисейской полосы Сибири // Значение палинологического анализа для стратиграфии и палеофлористики. – М.: Наука, 1966. – С. 51–60.
13. О продуктивности болот Западной Сибири // Растительные ресурсы. – 1967. – №4. – С. 523–533.
14. Некоторые итоги стационарного изучения взаимоотношений леса и болота в Западной Сибири // Взаимоотношения леса и болота. – М.: Наука, 1967. – С. 7–42.
15. Динамика лесистости и состава лесов на юге Сибири в голоцене по данным изучения торфяных и сапропелевых отложений // Лесоведение. – 1968. – №3. – С. 17–30.
16. К изучению палеогеографии севера Западной Сибири в голоцене // Палинология голоцена. – М.: АН СССР, 1971. – С. 139–157.
17. Азотно-минеральное питание лесной растительности на болотах и осушительная мелиорация // Болота Карелии и пути их освоения. – Петрозаводск: Карелия, 1971. – С. 159–164.
18. О принципах биогеоценологической классификации болот // Проблемы биогеоценологии. – М.: Наука, 1973. – С. 174–189.
19. О научных основах классификации болотных биогеоценозов // Типы болот СССР и принципы их классификации. – Л.: Наука, 1974. – С. 35–43.
20. Изучение болотных биогеоценозов // Программа и методика биогеоценологических исследований. – М.: Наука, 1974. С. 267–280 (в соавторстве с Л. С. Козловской).
21. Пути освоения болот и заболоченных земель Северо-Запада // Пути изучения и освоения болот Северо-Запада Европейской части СССР. – Л.: Наука, 1974. – С. 5–10.
22. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. – Л.: Наука, 1978. – 172 с. (в соавторстве с Л.С. Козловской, В.М. Медведевой).
23. О взаимоотношениях леса и болота // Лесоведение. – 1980. – № 3. – С. 24–32.
24. Болотообразовательный процесс в лесной зоне // Значение болот в биосфере. – М.: Наука, 1980. – С. 7–16.
25. Торфяные болота, их природное и хозяйственное значение. – М.: Наука, 1985. – 152 с.

Часть I

ЛЕКТОРСКИЙ СИМПОЗИУМ

НЕКОТОРЫЕ ФАКТОРЫ УСТОЙЧИВОСТИ СФАГНОВЫХ СООБЩЕСТВ БОРОВЫХ ТЕРРАС РЕК ЛЕСОСТЕПИ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

М. Я. Войтехов

Талдомская администрация особо охраняемых природных территорий, г. Талдом
Московской области, Россия, e-mail: lice@orc.ru

Для зоны лесостепи характерны многолетние колебания уровня грунтовых вод. В экстремальных для сфагновых болот условиях неустойчивого увлажнения способны существовать сообщества, включающие виды, сочетающие свойства пациентов и генеративных эксплерентов. В маловодные периоды такие виды существуют в составе других сообществ, а при повышении уровня грунтовых вод – быстро заселяют боровые местообитания, не встречая конкуренции зональной флоры.

Изучение механизмов устойчивости болот в естественно экстремальных условиях может помочь как пониманию общих закономерностей их функционирования, так и разработке методик их восстановления.

Сфагновые болота лесостепи ранее не включались в зональные классификации, поскольку внимание исследователей было привлечено к типам торфообразования, а участие сфагновых сообществ в торфяных отложениях лесостепи невелико. Например, Н.Я. Кац [1] всю лесостепь относил к зоне тростниковых и крупноосоковых болот, М.С. Боч и В.В. Мазинг [2] – к зоне низинных осоковых и тростниковых болот. Т.К. Юрковская упоминала, что на южном пределе своего ареала сфагновые болота встречаются только на боровых террасах рек, но не включала их в свои классификационные схемы [3]. Описания Н.И. Пьявченко болот зоны лесостепи, имеющих в своём составе сфагны [4], не всегда имеют географическую привязку и указание эдафических условий и могут являться примерами как географических или эдафических вариантов болот, так и сукцессионных стадий их развития.

Для целей нашего исследования интересны описания сфагновых болот степи и лесостепи в работах Е.М. Лавренко [5, 6] и Н.С. Камышева [7].

Е.М. Лавренко [5] отмечал: в лесостепной и степной зонах сфагновые болота, за редкими исключениями, приурочены к песчаным надлуговым террасам рек, где ряд растений, характерных для сфагновых болот степной зоны – *Carex lasiocarpa*, *Eriophorum polystachium*, *Drosera rotundifolia*, многие виды сфагнума и др., нередко встречается как более или менее характерный компонент в составе других группировок в пределах песчаных террас (мокрых лугов, осоковых болот, ольшатников и т.д.). Сфагновые болота возникают и в лишённых водоёмов влажных котловинах среди песков, причём сфагнум в виде отдельных подушек среди луговых, болотных и лесных группировок, на влажных и мокрых почвах встречается значительно чаще, чем более или менее сформированные растительные группировки с преобладанием сфагнума, но *Eriophorum vaginatum*, *Oxycoccus palustris*,

Scheuchzeria palustris и некоторые другие растения встречаются только в составе вполне сформированных сфагновых болот с более мощными отложениями сфагнового торфа.

На том основании, что торфяники степной зоны являются образованиями геологически молодыми, Е.М. Лавренко отстаивал точку зрения, что “группировки сфагновых болот в пределах песчаных террас рек степной зоны не только не являются непосредственными преемниками соответствующих группировок гляциального времени, но, наоборот, являются одними из самых молодых растительных группировок степной зоны”; и “взгляд на сфагновые болота в пределах степной зоны как на гляциальные реликты должен быть оставлен” [5]. Эти утверждения Е.М. Лавренко обосновывал вполне резонными указаниями на то, что изученные им современные местонахождения сфагновых сообществ вышли в результате русловых процессов из поемного режима значительно позже окончания ледниковой эпохи и не могли быть заселены бореальными элементами непосредственно в гляциальное время.

Точки зрения о молодости сфагновых болот лесостепи придерживался и Н.С. Камышев, изучавший водораздельные сфагновые болота Окско-Донской низменности [7]. Из его работ в рассматриваемом аспекте наиболее интересны следующие данные: наиболее южные в пределах лесостепи сфагновые болота водоразделов в Липецкой и Тамбовской областях так же, как и описанные в работах Е.М. Лавренко, сплавинного типа; мощность торфяных залежей, в частности сфагнового торфа на болотах надлуговых террас, как правило, выше, чем на водораздельных; в отличие от притеррасных сфагновых болот тех же областей, где встречаются вересковые кустарнички (*Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Vaccinium uliginosum*), на водораздельных болотах данные виды отсутствуют, либо отмечены единично (*Empetrum nigrum*, *Ledum palustre*).

Альтернативную точку зрения на причину геологической молодости торфяных отложений лесостепных сфагновых комплексов, не отрицающую возможность их реликтового характера, высказала Е.В. Печенюк [8]: поскольку, согласно данным А.В. Шнитникова, для степных озёр и болот характерны многолетние ритмические циклы колебания водного уровня [9], в многоводные периоды на затопленных побережьях озёр и болот пояса болотной и луговой растительности отмирают, новые заросли формируются выше по склону побережий. В болотах появляются участки открытой воды, острова сфагновой сплавины плавают по поверхности. Болотная растительность отмирает в глубоководной части озёр и развивается на залитых побережьях. В маловодные периоды происходит обратный процесс перемещения поясов растительности [8].

Подтверждением данной гипотезы могут служить и наблюдения Е.М. Лавренко, отмечавшего динамику как развития, так и угасания сфагновых сообществ в зависимости от

межгодовых колебаний уровня грунтовых вод [6], более косвенным подтверждением – описанием Н.С. Камышевым водораздельных болот как сплавин, отделённых от берега поясами воды шириной несколько десятков метров, что характерно для периодов высокого уровня воды. И, в целом, с позиций гипотезы Е.В. Печенюк, приводимые Е.М. Лавренко и Н.С. Камышевым, описания болот и закономерности убывания с севера на юг элементов бореальной флоры в сфагновых болотах могут быть объяснены не как свидетельства расширения ареалов этих видов, а как отражающие их приспособленность к условиям лесостепи: большей устойчивостью в условиях постоянных климатозависимых высокодинамичных циклических сукцессий обладают виды, имеющие свойства генеративных эксплерентов, способные быстро колонизировать новые местообитания, в сочетании со свойствами пациентов, переживающих неблагоприятные периоды в составе иных сообществ. Виды, медленно достигающие генеративного состояния и существующие преимущественно в виде вегетативных клонов, даже в средней лесостепи лучше сохраняются в транзитных притеррасных участках, имеющих более стабильный гидрорежим.

Мы наблюдали в колке на боровой надпойменной террасе р. Хопёр колонизацию *Sphagnum angustifolium* стволов берёз, погибших, видимо, от вымокания в период повышения уровня грунтовых вод; в высокой пойме Хопра после уменьшения высоты весенних паводков на валеже отмечен *Sph. squarrosum* (эти примеры современной колонизации сфагнами новых местообитаний найдены научным сотрудником Хопёрского госзаповедника Н.А. Родионовой). Динамичность уже не в пределах разных поясов внутри одной депрессии, а между депрессиями, позволяет таким видам колонизировать новые местообитания, формирующиеся в результате русловых, суффозионных и иных геологических процессов и антропогенной деятельности.

Известно, что реликтовые компоненты способны сохраняться лишь в составе сукцессионных рядов [10], поэтому бесспорным свидетельством реликтового характера биогеоценоза может служить наличие в его составе видов заключительных стадий сукцессий – облигатных сфагнофилов (причём не все виды, упомянутые Е.М. Лавренко как встречающиеся только на сфагновых болотах, к таковым можно безусловно отнести – мы встречали пушицу на борových песках на месте выработанных болот в Мещёре, а Н.И. Пьявченко – шейхцерию в составе гипновых сообществ лесостепи [4]).

Известно, что сфагнум практически не способен произрастать одиночными особями, если недостатки организменной регуляции физиологических процессов не компенсированы стабильностью и узкой амплитудой колебаний факторов внешней среды [11]. Колонии сфагнов (в т.ч. совместные с видами их свит) на борových песках в зонах неустойчивого увлажнения представляют собой, прежде всего, адаптивные системы, зависимые от внешних

условий. По мере нарастания массы торфа, прежде всего, сфагнового, их зависимость от внешних условий снижается, и они приобретают черты гомеостатических систем. Торф является мощным геохимическим барьером и, одновременно, средой обитания сфагновых сообществ, повышающей их конкурентоспособность по отношению к зональной флоре.

Применительно к борovým террасам степи и южной лесостепи можно говорить не об устойчивости болот в их классическом понимании как своеобразных геосистем, обязательным компонентом которых является торф, а лишь об устойчивости популяций видов бореально-болотной флоры. Возможно, определённую роль в сохранении популяций сфагнов играет способность их спор и живых тканей сохранять жизнеспособность в погребённом состоянии в течение нескольких десятилетий [12].

Наши непосредственные изучения минерализации воды в болоте Долгом на боровой террасе Хопра показали, что в находящемся по периферии тростниковом поясе (сфагны отсутствуют) содержится 159 мг минералов на 1 л воды, в середине болота на поверхности ковра из *Sph. balticum* – 15 мг/л и в толще сфагнового очёса на глубине 15 см – 26 мг/л. Прирост очёса здесь может составлять 8,5 см в год (мы использовали метод определения прироста очёса, аналогичный известному методу росянки: на участках с высоким приростом сфагнума росянка не растёт – вероятно, она не способна “угнаться” за сфагнами, – однако обилён *Liparis loeselii*, расстояние между ежегодно образуемыми корнеклубнями которого составляет 5–8,5 см).

В болоте Вырубном, где торфяная залежь представляется более молодой (в отличие от Долгого, древесный ярус в ранней стадии формирования), в сфагновом покрове преобладают мезо- и эвтрофные *Sph. fallax* и *Sph. riparium*, вертикальная стратификация минерализации воды не выявлена, по краям сплавины, как и в незаросшей сплавиной части озера, содержится 85 мг минералов на 1 л воды, в центральной части сплавины минерализация снижается до 55 мг/л.

Как показали наши исследования, прирост биомассы ковра *Sph. balticum* в зоне лесостепи намного превышает его прирост в таёжной зоне, а более эвтрофные виды гидрофильных сфагнов обычно имеют более высокий прирост, чем олиготрофные виды [13]. По данным проводившихся в Германии экспериментов по промышленному культивированию сфагнумов, *S. fallax* показывает самые высокие величины роста из всех исследованных видов – до 48 см в длину и 9 т сухой массы на 1 га в год [14]. Такой прирост способен обеспечить быструю регенерацию торфа после его разрушения в сухие периоды.

Ещё одним фактором, обеспечивающим существование бореально-болотной флоры в водоёмах борových террас рек лесостепной зоны, является видовое разнообразие сфагнов (Т.А. Работнов к факторам устойчивости фитоценозов относил их сложение из видов,

различающимися по экологическим и биологическим свойствам [15]. Во флоре боровых террас Хопра отмечено по крайней мере 11 видов сфагнов [16]).

По флористическим признакам, отражающим различие эдафических условий, в лесостепной зоне можно выделить болота, имеющие бореальные элементы, характеризующиеся низкой генеративной подвижностью, включая кустарнички (*Ericaceae*) – такие болота, безусловно, являются реликтовыми, и болота, флора которых ограничена видами, сочетающими свойства генеративных эксплерентов и пациентов – возможно, популяции видов бореальной флоры здесь также являются реликтовыми, но однозначные выводы в этих случаях затруднительны. Чёткие зональные границы между этими группами отсутствуют, поскольку эдафические различия определяются азональными факторами – рельефом, гранулометрическим составом пород и др. Можно говорить лишь о единой зоне сфагновых болот степи и лесостепи, обязанных своим существованием азональным факторам.

Список литературы

1. Кац Н. Я. Болота земного шара. – М., 1971. – 295 с.
2. Боч М.С., Мазинг В.В. Экосистемы болот СССР. – Л.: Наука, 1979. – 187 с.
3. Юрковская Т.К. Болота / Растительность европейской части СССР / Под ред. С.А. Грибовой, Т.И. Исаченко, Е.М. Лавренко – Л.: Наука, 1980. – С. 300–345.
4. Пьявченко Н.И. Торфяники русской лесостепи. – М.: Ин-т леса АН СССР, 1958. – 192 с.
5. Лавренко Е.М. О генезисе сфагновых болот в пределах степной зоны в бассейнах рр. Буга, Днестра и Дона // Советская ботаника. – 1936. – № 3. – С. 25–42.
6. Лавренко Е.М. Бореальная растительность лиманной группы болот и озер в долине Среднего Донца // Проблемы биогеоценологии, геоботаники и ботанической географии. – Л.: Наука, 1973. – С. 125–155.
7. Камышев Н.С. Сравнительная характеристика сфагновых болот Окско-Донской низменности // Бюлл. МОИП. Отд. Биологии. – Т. LXXVII. – № 3. – 1972. – С. 88–99.
8. Печенюк Е.В. Уникальный природный комплекс озёр и болот на песчаной террасе р. Хопёр // Воронежское краеведение: традиции и современность (Материалы ежегодной областной научно-практической конференции памяти Евфимия Болховитинова (15 декабря 2007 г)). – Воронеж, 2007. – С. 85–88.
9. Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажнённости. – Л.: Наука, 1969. – 247 с.

10. Кучеров И.Б. Проблема консерватизма видового состава растительных сообществ // Труды Карельского научного центра РАН. Сер. Биogeография. – Вып. 10. – 2010. – С. 3–15.
11. Смоляницкий Л.Я. Метаболизм верховых болот в связи с проблемой их взаимоотношений с лесными экосистемами // Болота и болотные ягодники: Матер. симпозиума «Взаимоотношения леса и болота; болотные ягодники; всплывание торфов на затопленных болотах» // Труды Дарвинского государственного заповедника. – Вып. XV. – Вологда: Северо-Западное книжное изд-во, 1977. – С. 21–32.
12. Clymo R. S., Duckett J. G. Regeneration of Sphagnum // New Phytol., – 1986. – V. 102. – P. 589–614.
13. Боч М.С., Кузьмина Е.О. Ритмика прироста и продуктивность некоторых видов рода Sphagnum L. в юго-западном Приладожье (Ленинградская область) // Растительные ресурсы. – Т. 30. – 1994. – № 1–2. – С. 135–142.
14. Gaudig G. Sphagnum farming in progress – experiences and perspectives / After Wise Use – The Future of Peatlands. Proceeding of the 13th International Peat Congress. Tullamore, Ireland, 8-13 June 2008. – Tullamore, 2008. – P. 4–7.
15. Работнов Т. А. Факторы устойчивости наземных фитоценозов // Бюллетень МОИП, отд. биологии. – 1973. – Т. LXXVIII. – № 4. – С. 67–76.
16. Цвелёв Н.Н. Флора Хопёрского государственного заповедника / Под ред. С.К. Черепанова // АН СССР. Ботан. ин-т. им. В.Л. Комарова. – Л.: Наука, 1988. – 191 с.

SOME FACTORS FOR STABILITY OF SPHAGNUM BOGS ON POOR-SOIL TERRACES OF RIVERS IN FOREST-STEPPE ZONE IN EUROPEAN RUSSIA

Voytehov M. Ya.

The perennial cycle variations of groundwater are characterized for the forest-steppe zone. In the unstable humid habitats, which are extreme to bogs, can be a plant community including species which are combining the characteristics of a stress-tolerant and a generation-active ruderal. This species in dry periods exist in other communities, but it quickly populate poor-soil habitats without competition of a area flora in periods of a increase of a groundwater level.

ПРОДУКТИВНОСТЬ РАЗНЫХ ТИПОВ БОЛОТНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.М. Волкова

Тульский государственный педагогический университет, г. Тула, Россия,
e-mail: convallaria@mail.ru

В статье представлены результаты изучения продуктивности растительных сообществ пойменных и водораздельных болот карстово-суффозионного происхождения Тульской области, выявлена зависимость продуктивности от характера водно-минерального питания. Показано, что мезо- и олиготрофные сообщества водораздельных болот характеризуются более высокой продуктивностью по сравнению с пойменными болотами.

Введение. Комплексная оценка болотных экосистем предполагает изучение различных аспектов функционирования. Продуктивность растительных сообществ болот является обобщенным показателем, поскольку биомасса зависит от характера водно-минерального питания, что, в свою очередь, коррелирует со свойствами подстилающих пород, положением в рельефе и др.

На территории Тульской области сформированы разные типы болот как по водно-минеральному питанию, так и по геоморфологическому положению. Особенностью болот является их небольшая площадь – самое крупное пойменное Лупишкинское болото занимает 196 га, площадь часто встречающихся водораздельных карстово-суффозионных болот варьирует от 0,05 до 1 га. Несмотря на низкую заболоченность региона, болотные экосистемы выполняют важнейшие биосферные функции, являясь, в том числе, «стоком» атмосферного углерода [1]. Оценка депонирования углекислоты болотами может быть проведена на основе определения продуктивности растительных сообществ, что обуславливает актуальность проводимого исследования.

Объекты и методы. Объектами изучения являлись разные типы болот и фитоценозов.

I. Пойменные болота (р. Непрядва):

1. Большеберезовское болото (площадь – 3 га, глубина – 2,3 м): березово-тростниковый (*Betula pubescens* - *Phragmites australis*) и ивово-осоковый (*Salix cinerea* - *Carex vesicaria*) ценозы.

2. Болото Подкосьмово (площадь – 1,2 га, глубина – 1,2 м): осоково-хвощовый (*Carex rostrata*+*C. acuta*+ *Equisetum fluviatile*) и таволго-хвощовый (*Filipendula ulmaria*+*Equisetum fluviatile*) ценозы.

II. Водораздельные карстово-суффозионные болота:

A. Болота со сплошной торфяной залежью, образовавшиеся по пути «bottom up»:

1. Источек (площадь – 0,16 га, глубина – 7,5 м): березово-травяно-сфагновое (*Betula pubescens* – *Menyanthes trifoliata* + *Calla palustris* – *Sphagnum centrale*+*S. wulfianum*) сообщество.

2. Волкобойня (площадь – 0,25 га, глубина – 0,9 м): ивово-разнотравно-сфагновый (*Salix cinerea*-*Menyanthes trifoliata*+*Calla palustris*-*Sphagnum squarrosum*) ценоз.

В. Сплавинные болота, образовавшиеся по пути «top down» (комплекс болот у п. Озерный):

1. Воронка (площадь – 0,05 га, глубина депрессии – 7 м, толщина сплавины – 0,4 м): травяное (*Athyrium filix-femina*+*Impatiens noli-tangere*) сообщество.

2. Телиптерисовое (0,2 га, 8-10 м, сплавина 1,5 м): березово-травяной (*Betula pubescens* - *Thelypteris palustris*) ценоз.

3. Любимое (площадь – 0,18 га, глубина депрессии – 7 м, сплавина 2-2,5 м): березово-травяно-сфагновый (*Betula pubescens*-*Menyanthes trifoliata*-*Sphagnum centrale*) ценоз.

4. Главное (площадь – 1 га, глубина депрессии более 10 м, сплавина – 2,5–3 м): очеретниково-осоково-сфагновые (*Rhynchospora alba* - *Carex rostrata* - *Sphagnum magellanicum*+*S. fallax*, реже - *Rhynchospora alba* - *Carex rostrata* - *Sphagnum fallax*+*S. angustifolium*) фитоценозы.

На каждом объекте исследования в указанных сообществах были заложены пробные площади. Продуктивность определяли по запасу биомассы в середине вегетационного периода (июнь-июль). Надземную продукцию определяли укосным методом. Для этого выбирались типичные учетные площадки размером 1×1 м². С них срезали растительность и разделяли на фракции: осоки, разнотравье, моховой ярус (фитомасса). Отдельную фракцию составляли опад и ветошь (мортмасса). Определение подземной продукции проводили методом монолитов Шалыта на тех же площадках, что и определение надземной биомассы [2].

Результаты исследования и обсуждение. Наиболее распространенными и занимающими большие площади являются **пойменные** болота. Максимальное распространение они получили в поймах Упы, притоков Оки и Дона. В качестве объектов изучения биологической продуктивности исследованы пойменные болота р. Непрядва – притока Дона – Большеберезовское и Подкосьмово (Богородицкий район). Исследования показали, что продуктивность указанных эвтрофных пойменных болот варьирует от 4978 до 7721 г/кв.м. При этом, низкие показатели свойственны наиболее бедному тростниковому ценозу Большеберезовского болота. С увеличением видового разнообразия растительных сообществ отмечается увеличение продуктивности. Изучаемый параметр наиболее высок в таволгово-хвощовом сообществе болота Подкосьмово.

В общей продукции максимальную долю составляет подземная фракция – 45,9–85,4 % (3460–5190 г/кв.м.), представленная слаборазложившимися частями растений (торф – 350–1310 г/кв.м.), а также мертвыми (220–3170 г/кв.м.) и живыми (780–3580 г/кв.м.) корнями. Наиболее высокие показатели характерны для сообществ со значительным участием осок. Следует отметить, что части растений, слагающие торф, составляют не более 30 % (9,8–29,4 %), что коррелирует с высокой степенью разложения торфов (40–65 %). Доля мертвых корней составляет, в среднем, 43,3 %, а живых – 36,5 %.

Надземная продуктивность варьирует от 14,6 до 54 % (876–4171 г/кв.м.). Максимальные значения биомассы отмечены в таволгово-хвощовом сообществе, минимальные – в сообществе осоки сближенной на торфяной выработке Большеберезовского болота. Среди фракций доминирует мортмасса, представленная опадом и ветошью – 523–2181 г/кв.м. (52,3–67,3 %). Фитомасса составляет 32,7–47,7 %. Ее формируют злаки, осоки и разнотравье, характеризующиеся разным участием в структуре надземной фитомассы.

Среди **водораздельных** на территории Тульской области часто встречаются карстово-суффозионные болота. Болота различаются по способу возникновения, что связано с объемом накапливающейся влаги [3]. Источником влаги чаще являются выклинивающиеся грунтовые или стекающие поверхностные (делювиальные) воды, реже – атмосферные осадки. При небольшом объеме влаги в депрессии («лужа») заболачивание начинается на дне понижения и сопровождается вертикальным приростом торфа. Если в питании таких болот преобладают сильно минерализованные грунтовые и поверхностные воды, то это способствует формированию эвтрофной растительности. При значительном обводнении депрессии («озерко») образование торфяных отложений начинается на поверхности воды, что способствует возникновению сплавины. В результате активного нарастания сплавины ее корнеобитаемый горизонт быстро «переходит» на атмосферное питание, обеспечивая формирование мезо- и олиготрофных сообществ.

Среди болот, образованных по типу «bottom up» [4] рассмотрим эвтрофные болота Источек и Волкобойня (Щекинский район). Сообщества этих болот характеризуются продуктивностью 5415,5–6727,6 г/кв.м. В структуре продукции наибольшая доля характерна для подземной фракции, составляющей 85–90 %. Надземная продукция занимает 10–15 %, при этом доминирующая роль принадлежит мортмассе (опад и ветошь) – 70–94 %. Травяной ярус в надземной продукции составляет 6–7 %. Доминирующую роль в нем играют осоки (60–70 %). При этом вклад осок в надземную продукцию менее существенен (6–10 %), а в общей – не превышает 1 %. Роль разнотравья, представленного вахтой, белокрыльником, реже – калужницей и кизляком, еще меньше: 4–8 % в надземной продукции и 0,5 % – в

общей. Фитомасса мохового покрова, представленного, в основном, сфагновыми мхами, в общей продукции фитоценозов также играет незначительную роль (1,6–2,5 %), а в надземной продукции составляет от 15 до 25 %.

При изучении продуктивности сплавинных карстово-суффозионных болот (тип заболачивания «top down») показано, что эволюция сплавин сопровождается переходом от эвтрофной растительности к мезо- и олиготрофной. При этом происходит увеличение продуктивности растительных сообществ: от Воронка (4329 г/ кв.м) до Главного (9258 г/кв.м). В структуре продукции значительную долю составляет подземная фракция, составляющая от 87,2 до 94,7 %. Надземная продукция составляет от 5,2 до 12,7 %.

В подземной продукции разных болотных фитоценозов доминируют отмершие части растений – мортмасса составляет 86,4–96,7 %, увеличиваясь от «молодых» эвтрофных (Воронка – 3280 г/кв.м) к более «зрелым» мезоолиготрофным сплавинным болотам (Главное – 7816 г/кв.м). В мортмассе максимальную долю занимают отмершие и негумифицированные части растений, слагающие торф. Изменчивость данного показателя имеют сходную тенденцию. Так, на листовой сплаvine болота Воронка участие отмерших растительных остатков крайне низко – менее 1 %. Вертикальный рост сплавин сопровождается увеличением доли торфяных отложений: на эвтрофных болотах Телиптерисовое (1976 г/кв.м) и Любимое (5732 г/кв.м) доля слабо- и неразложившихся частей растений составляет 48 и 69 % соответственно. Переход к бедному атмосферному питанию сопровождается увеличением запасов в подземной части фитоценоза и потому доля отмерших частей растений на болоте Главное достигает 84,7 % (6840 г/кв.м). Динамика указанной фракции на болотах коррелирует со степенью разложения торфа в разных условиях водно-минерального питания.

Участие отмерших, но неразложившихся корней сосудистых растений в структуре подземной продукции имеет обратную тенденцию изменчивости – по мере снижения трофности питающих растительность вод происходит уменьшение доли данной фракции. Исследуемый показатель имеет наибольшее значение для болота Воронка (3264 г/кв.м) – 86 %, на других эвтрофных сплаvинах доля отмерших корней варьирует в пределах 1618–2222 г/кв.м (26,7–39,3 %), а на мезоолиготрофной сплаvine болота Главное уменьшается до 976 г/кв.м (12,1 %). Фракция живых корней имеет сходную тенденцию изменчивости и уменьшается от эвтрофных (516–520 г/кв.м) сообществ к мезо- и олиготрофным (260 г/кв.м). В структуре подземной продукции доля указанной фракции снижается от 13,2 до 3,2 %. Динамика живых и отмерших корней коррелирует со снижением проективного покрытия, видового состава и структуры травяного яруса.

Таким образом, увеличение подземной продукции обусловлено возрастанием фракций, содержащих отмершие части растений (мертвые корни, мхи, остатки трав, формирующих собственно торф). Доля этих фракций варьирует от 86,4 % в подземной продукции эвтрофных сообществ до 96,7 % – в олиготрофных. Доля живых корней постепенно снижается в том же направлении: от 13,6 до 3,2 %.

Надземная продукция в фитоценозах карстово-суффозионных болот составляет 5,2–12,7 % от общей биомассы, варьируя от 460,5–580,5 г/кв.м. в эвтрофных ценозах (болота Воронка, Телиптерисовое, Любимое) до 1182,2 г/кв.м. в более бедных мезоолиготрофных (болото Главное). В структуре надземной биомассы участие фитомассы зависит от особенностей водно-минерального питания. Так, при значительном участии в питании минерализованных поверхностных вод фитомасса составляет 23,6 % (болото Воронка – 125,8 г/кв.м.). При снижении трофности питающих вод происходит увеличение доли живых растений за счет разрастания вечнозеленых сфагновых мхов и появления болотных кустарничков (хамедафна, клюква). В результате фитомасса достигает 98 % от общей биомассы (1158,6 г/кв.м.). В структуре этой части продукции можно выделить фракции: травы, кустарнички, мхи. Участие фракций различно, что коррелирует с типом питания. Доля трав максимальна в минерализованных эвтрофных сообществах, где достигает 97 %. При снижении трофности питающих вод участие трав в надземной продукции уменьшается до 41 %, а при увеличении доли атмосферного питания – до 15,6 %. При этом, только на последнем объекте в составе исследуемого яруса присутствуют кустарнички (*Chamaedaphne calyculata*, *Oxycoccus palustris*), хотя их доля крайне мала – 3 % (34,8 г/кв.м.).

В развитии мохового яруса прослеживается тенденция увеличения покрытия мхов при переходе от эвтрофного (3–9,6 % на болотах Воронка и Телиптерисовое) к олиготрофному (81,4 % – болото Главное) характеру водно-минерального питания. При этом, если в составе мохового покрова эвтрофных ценозов развиваются зеленые мхи (*Calliergon cordifolium*), занимающие не более 5 % в покрытии и развивающие фитомассу 3–4 г/кв.м., то в мезоолиготрофных ценозах доминируют сфагновые мхи (*Sphagnum magellanicum*, *S. angustifolium*, *S. fallax*), формирующие 100 %-ное покрытие и фитомассу, достигающую 943 г/кв.м.

В структуре надземной продукции, помимо фитомассы, представлена мортмасса в виде опада и ветоши. Этот показатель коррелирует с облесенностью болота и его размерами, что определяет перенос листового опада древесных пород, произрастающих по минеральному «берегу» (дуб черешчатый, ясень обыкновенный, клен остролистный). Доля мортмассы, представленная листовым опадом, наиболее велика в «молодых» эвтрофных ценозах на обводненных сплавинах – 76,4 % (болото Воронка – 407,5 г/кв.м.) и снижается по мере

увеличения размеров болота и перехода к обедненному водно-минеральному – на мезоолиготрофных сплавинах доля мортмассы не превышает 2 % (23,6 г/кв.м). Участие ветоши трав и опада кустарничков в различных сообществах невелико.

Как следует из сказанного, биологическая продуктивность сплавинных карстово-суффозионных болот увеличивается с возрастом сплавины, что сопровождается ее вертикальным приростом и изменением трофности питающих растительность вод.

Заключение Продуктивность болот обусловлена характером водно-минерального питания. Использование минерализованных грунтовых или поверхностных вод в питании болот зависит от положения болот в рельефе. Изучение биомассы растительных сообществ водораздельных и пойменных болот позволило выявить тенденцию увеличения продуктивности при переходе от эвтрофных к мезо- и олиготрофным ценозам, что сопровождается увеличением доли подземной фракции.

Работы выполнены при поддержке гранта РФФИ (№ 11-04-97538-р_центр_a)

Список литературы

1. Волкова Е.М., Румянцева Е.В., Кичакова Е.Г., Трофимова Е.Г. Депонирование и эмиссия углерода в болотах лесостепной зоны (Тульская область) // West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present. Proceedings of the Second International Field Symposium /Edited by Prof. S.E. Vompersky (Khanty-Mansiysk, August 24 - September 2, 2007). – Tomsk, 2007. – P. 87–88.
2. Головацкая Е.А., Порохина Е.В. Ботаника с основами фитоценологии. Биологическая продуктивность болотных биогеоценозов: Учебно-методическое пособие / под ред. В.А. Дырина. – Томск: Изд-во Томского педагогического ун-та, 2005. – 64 с.
3. Волкова Е. М. Редкие болота северо-востока Среднерусской возвышенности: растительность и генезис // Ботанический журнал. – 2011. – Т. 96. – № 12. – С. 1575–1590.
4. Gaudig, G., Couwenberg J., and Joosten H. Peat accumulation in kettle holes: bottom up or top down? //Mires and Peat. – 2006. – Vol.1. – Article 6. – URL: <http://www.mires-and-peat.net/>

THE PRODUCTIVITY OF DIFFERENT TYPES OF MIRE COMMUNITIES IN TULA REGION (RUSSIA)

E.M. Volkova

The article shows the results of studying of productivity of plant communities on watermeadow and watershed (karst origin) mires of Tula region. The productivity depends on hydrological regime and increases from eutrophic inundated mires to the karst meso- and oligotrophic mires.

ЭМИССИЯ И ПОГЛОЩЕНИЕ МЕТАНА ПОЧВАМИ РОССИИ

М.В. Глаголев ^{*, **}, И.В. Филиппов ^{**}, И.Е. Клепцова ^{**}

^{*} Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

^{**} Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, e-mail: m_glagolev@mail.ru

В работе описаны методы получения оценок региональных потоков газов на границе почва/атмосфера и приведен ряд оценок эмиссии и поглощения CH_4 почвами России. Показано, что эти оценки очень сильно различаются у разных авторов, а это явно свидетельствует о плохой изученности проблемы эмиссии/поглощения почвенного метана на территории России.

Введение. Роль метана как парникового газа, оказывающего заметное влияние на климат, хорошо известна ([1–4]; Ильясов с соавт., настоящий сборник), поэтому мы не будем на ней останавливаться.

Но важно отметить, что именно почвы оказывают существенное влияние на содержание метана в атмосфере. С одной стороны, автоморфные почвы обладают уникальной способностью поглощения метана (с образованием CO_2). А с другой стороны, почвы болот, рисовников и почвоподобные полигоны захоронения твердых бытовых отходов являются одними из основных природных источников метана [1–3, 5]. Очевидно, что в связи с географическим положением и размерами России следует ожидать существенного вклада ее почв в цикл метана (Сабреков и Глаголев, настоящий сборник). Однако до сих пор в мировой научной литературе Россия остается практически «белым пятном» на карте измерений эмиссии метана из почв.

Целями данной лекции являются: дать введение в методы определения регионального потока метана на границе почва/атмосфера и показать результаты, полученные этими методами для почв России.

Методы оценки регионального потока

В своей прошлой лекции [4] мы пытались более или менее подробно осветить общий подход к оценке регионального потока. Поэтому здесь лишь кратко напомним основные понятия.

В качестве *региональной эмиссии метана* будем рассматривать массу CH_4 , выходящую в атмосферу с достаточно большой площади (регионального масштаба) в течение достаточно большого интервала времени. Из годовой цикличности биохимических процессов в почве (и вытекающей отсюда годовой цикличности динамики потока метана на границе почва/атмосфера) естественным образом следует, что для полного представления о суммарном потоке необходимо измерять его величину как минимум в течение года. Именно такой интервал времени мы будем использовать ниже для расчета региональной эмиссии.

Потоком массы называют массу, переносимую в единицу времени сквозь заданную поверхность. Для характеристики потока через отдельные элементы поверхности вводится понятие о **поверхностной плотности потока** (ППП) как о потоке через единицу поверхности [6]. Очевидно, что ППП (f , $\text{мг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ч}^{-1}$) является величиной локальной – она может изменяться во времени и пространстве. Тогда с математической точки зрения, эмиссия (E , мг):

$$E = \int_{(S)} \left[\int_0^T f(x, y, t) dt \right] dS, \quad (1)$$

где x, y – пространственные координаты, t – время (внешний интеграл берется по площади региона S , а внутренний – по времени, на интервале $T = 1$ год). Использование данной формулы и составляет основу любого метода оценки региональной эмиссии.

Простейшая инвентаризация

Покроем часть поверхности Земли (S) географической сеткой с шагами дискретизации $\Delta x_k, \Delta y_j$. Внутри ячейки поверхности $S_{kj} = \Delta x_k \cdot \Delta y_j$ все процессы и элементы считаются однородными. Базовой формой пространственного деления является задание равномерной сетки $\Delta x_k = \text{const}_1, \Delta y_j = \text{const}_2$. Но в зависимости от специфики рассматриваемого природного процесса структура регионального деления может быть связана с климатическими зонами, континентами, широтными поясами, социально-административной структурой и природными зонами [3, с. 50]. Поэтому далее мы будем рассматривать области любой формы, пронумерованные в произвольном порядке (для номера области оставим индекс j): S_j . Поскольку поверхностный интеграл аддитивен относительно областей интегрирования, то эмиссия из всего региона S может быть представлена как сумма эмиссий E_j из составляющих его областей S_j :

$$E = \sum_j E_j, \text{ где } E_j = \int_{(S_j)} \left[\int_0^T f(x, y, t) dt \right] dS, \quad (2)$$

В методе «простейшей инвентаризации» (далее – МеПИ) E вычисляется приближенно по весьма простой формуле [2]:

$$E = \sum_{i,j} (A_{ij} \cdot f_i \cdot T_j),$$

где A_{ij} – площадь (м^2), занимаемая i -м типом почв в j -ой области; f_i – ППП ($\text{мг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ч}^{-1}$), характерная для i -го типа почв; T_j – продолжительность периода эмиссии (ч), характерная для j -ой области. То, что эта формула с формально-математической точки зрения действительно представляет собой численную аппроксимацию интегралов из (2), показано в [4].

Пусть измерения выполнялись для каждого типа почв в каждой области. Обозначим через f_{in} результат n -го измерения ППП, проведенного при работе на почве i -го типа. Тогда характерные величины f_i , входящие в вышеприведенную формулу, можно вычислить тем или иным образом, статистически обрабатывая (например, усредняя или беря медиану) измеренные значения f_{in} . Следовательно, МеПИ напрямую выражает E_{ij} через результаты измерений (f_{in}).

Рассмотрим использование описанного метода на примере одной из методик расчета **поглощения** метана почвами России. По-видимому, одной из первых работ (если не самой первой), посвященной возможности глобальной инвентаризации окисления метана, была публикация [1]. Основная идея авторов состояла в том, что в природе потребление метана в аэрируемых почвах определяется главным образом диффузией (что было обосновано экспериментально). Связав типы биомов с типами почв, определяющими скорость диффузии, авторы предложили для каждого биома свою величину потребления метана (табл. 1).

Таблица 1

Поглощение метана почвами различных биомов

Тип экосистемы (по [1])	ППП CH ₄ по [1] (г·км ⁻² ·год ⁻¹)	Площадь биома в России (км ²)	Поглощение CH ₄ (Мг·год ⁻¹)
Леса boreального пояса (Boreal forest)	0.695 ± 0.605	5300829	3.684 ± 3.207
Сезонные тропические леса (Tropical seasonal forest)	0.1 ± 0.1	0	0.000 ± 0.000
Степи (Temperate grasslands)	0.101 ± 0.099	421993	0.043 ± 0.042
Возделываемые земли (Cultivated land)	0.101 ± 0.099	2210112	0.223 ± 0.219
Редколесья и кустарники (Woodland/Srubland)	0.695 ± 0.605	7165121	4.980 ± 4.335
Леса умеренного пояса (Temperate forest)	0.695 ± 0.605	945721	0.657 ± 0.572
Саванны (Savanna)	0.445 ± 0.255	0	0.000 ± 0.000
Вода, лед, болота, городская застройка	0	890629	0.000 ± 0.000
СУММА:			9.6 ± 5.4

Расчеты площадей соответствующих областей распространения биомов выполнялись нами в ГИС GRASS 6.4 [7]. Они произведены в конической равновеликой проекции Альберта для территории Российской Федерации (центральный меридиан: 105° в.д., 1-я и 2-я стандартные параллели, соответственно: 52 и 64° в.д., сфероид Крассовского). Для ограничения вычислений территорией РФ, были использованы границы субъектов РФ (согласно Росреестру) по состоянию на 2010 год, оцифрованные в ходе коллективного проекта сообщества ГИС-Лаб [8].

Для экстраполяции результатов измерений [1] на площадь территории Российской Федерации были использованы данные сенсора MODIS 3-го уровня обработки «MCD12Q1» [7]. При этом была взята наиболее подробная классификация ландшафтного покрова (IGBP) [8],

включающая 16 классов, которые были редуцированы до 8 конечных классов согласно табл. 1. Деление на бореальный и умеренный пояса, отсутствующее в оригинальном продукте «MCD12Q1», выполнялось по карте экорегионального зонирования Бэйли [9, 10].

Математическое моделирование (решение прямой задачи)

В предыдущем методе мы принимали, что ППП скачком меняется при переходе от одной достаточно большой пространственной области к другой, оставаясь постоянной внутри этих областей. На самом же деле внутри этих областей ППП изменяется в зависимости от ряда параметров внешней среды (например: температуры, уровня стояния воды, электропроводности болотных вод, скорости их течения и др.). Если у нас есть математическая модель, связывающая f с этими параметрами среды, то мы можем рассчитать значения f для любой пространственной точки и в любой момент времени, после чего провести интегрирование по формуле (1) с любой точностью.

Заметим, что с формально-математической точки зрения, изложенная выше «простейшая инвентаризация» является частным случаем метода математического моделирования (далее – МеМаМ), причем простейшим частным случаем: предполагается, что $f = const$ на достаточно больших интервалах времени и в достаточно протяженных областях пространства. Поскольку на самом деле это не так (f изменяется во времени и пространстве!), то аппроксимация при помощи константы могла оказаться очень плохой и привести к большой ошибке при вычислении интеграла E . Теперь же мы рассматриваем более точную аппроксимацию для f , что позволит получить более точное значение E .

В качестве примера рассмотрим очень простую математическую модель поглощения метана почвами, предложенную в [5]. Согласно этой работе, ППП (f , $\text{мгСН}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$) может быть рассчитана при помощи такой последовательности формул:

$$G_{soil} = \Phi^{4/3} \cdot (\varepsilon / \Phi)^{1.5+3/b}, \quad G_T = 1 + 0.0055 \cdot t, \quad D_{CH_4} = G_{soil} \cdot G_T \cdot D_{0CH_4}, \quad r_N = 1 - 0.75 \cdot I_{cult},$$

$$r_T = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0^\circ C \\ \exp(0.0693 \cdot t - 8.56 \cdot 10^{-7} \cdot t^4) & \text{при } t \geq 0^\circ C \end{cases}$$

$$r_T = \begin{cases} (P + SM) / ETp & \text{при } (P + SM) / ETp \leq 1 \\ 1 & \text{при } (P + SM) / ETp > 1 \end{cases}$$

$$k_d = r_N \cdot r_{sm} \cdot r_T \cdot k, \quad f = C_{0CH_4} \cdot D_{CH_4} \cdot [1 - D_{CH_4} / (D_{CH_4} + k_d \cdot z_d)] \cdot F / z_d, \quad (3)$$

где b – эмпирическая постоянная, которая определяется механическим составом почвы (конкретные формулы см. в [11]); $C_{0CH_4} = 1.72 \text{ ppmv}$ – атмосферная концентрация метана; $D_{0CH_4} = 0.196 \text{ см}^2/\text{с}$ и D_{CH_4} – коэффициенты диффузии метана, соответственно, в воздухе (при

стандартных условиях) и в верхнем слое почвы; $F = 616.9 \text{ мгСН}_4 \cdot \text{с}/(\text{м}^2 \cdot \text{см} \cdot \text{сут} \cdot \text{ppmv})^1$ – множитель для перевода получающейся величины потока в мг СН₄, выделяющегося с 1 м² за сутки; G_{soil} и G_T – функции, с помощью которых учитывается влияние на газовую диффузию, соответственно, структуры почвы и температуры; $k_0 = 0.00087 \text{ см/с}$ – эмпирический параметр²; r_{sm} , r_T , r_N – функции, с помощью которых учитывается влияние на скорость микробного окисления метана, соответственно, влажности, температуры и вовлеченности почв региона в сельскохозяйственное использование; $z_d = 6 \text{ см}$ – характерное значение глубины метанотрофного слоя³.

Как видим, имея информацию о потенциальной эвапотранспирации за месяц (ETp , мм); доли площади земель, вовлеченных в сельскохозяйственное использование (I_{cult}); месячной сумме осадков (P , мм); запасах почвенной влаги в слое 30 см или в корнеобитаемом слое, если его мощность менее 30 см (SM , мм); температуре (t , °С); порозности аэрации (ϵ) и порозности почвы (Φ), мы можем рассчитать ППП в любой точке на поверхности Земли.

В МеМаМ результаты экспериментальных измерений используются для того, чтобы определить численные значения эмпирических параметров. Т.е. подбираются такие величины параметров, чтобы расчеты по модели были как можно ближе к имеющимся экспериментальным данным (например, в только что рассмотренной модели авторы подбирали k_0). Если модель дает хорошее соответствие для достаточно большого числа достаточно хорошо выбранных экспериментальных данных⁴, то можно надеяться, что она будет близка к реальности и во всех остальных случаях, для которых экспериментальная информация отсутствует.

Решение обратной задачи

Очень кратко суть метода обратной задачи (далее – МОЗ) можно передать следующим образом. Пусть на поверхности существует n источников некоторого газа, характеризующихся удельными потоками F_1, F_2, \dots, F_N . Для определенности будем рассматривать почвы различных типов, являющиеся источниками и стоками метана

¹ В оригинальной статье размерность указана неправильно: $\text{mg ppmv}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ CH}_4$.

² В оригинальной статье параметры k_d и k_0 неверно названы, соответственно, «first-order oxidation rate constant» и «base oxidation rate constant for an uncultivated moist soil at 0 °C». А в качестве их размерности указаны обратные секунды. Из (3) очевидно, что k_d имеет иную размерность: см/с. Следовательно, константой реакции 1-го порядка он не является, хотя, действительно, по физическому смыслу должен быть связан с ней. То же самое относится и к k_0 .

³ В оригинальной статье авторы принимают, что вообще вся метанотрофная активность в почве сосредоточена в слое бесконечно малой толщины на глубине z_d . Поскольку это невозможно, то мы предпочитаем говорить о некоторой «характерной глубине метанотрофного слоя».

⁴ Т.е. имеется в виду, что взяты такие экспериментальные данные, которые получены при разных условиях среды. Если же, например, все измерения проведены при одной и той же температуре t_0 , то, скорее всего, модель не будет давать правильных предсказаний при температурах, сильно отличающихся от t_0 .

(например, в [12] приведены характерные значения удельных потоков метана из некоторых болотных ландшафтов южной тайги Западной Сибири, которые, как оказалось, сильно (на порядки!) различаются по величине: пашня на осушенных торфяниках – $0.08 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, гари 4–8 летнего возраста – $0.31 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, неосушенные эвтрофные болота – $3.50 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$). Будем считать, что расположение источников нам известно (на самом деле это – необязательное требование), но сами значения F_1, F_2, \dots, F_N – не известны.

Предположим, что мы можем измерять концентрацию газа в I точках с координатами $(x_j, y_j, z_j; j = 1, 2, \dots, I)$. Технически это делается при помощи вышек (обычно на вышках организуется регулярный мониторинг, в результате которого имеется временной ряд динамики концентрации). Также возможно осуществлять эпизодический пробоотбор при помощи воздушных шаров, аэростатов и самолетов (см., например, [13–16] и ссылки там). В последнее время стало возможно измерять концентрацию метана непосредственно со спутников [17,18], хотя пространственное разрешение и точность таких измерений, пожалуй, еще не слишком хороши. Итак, главное: для каких-то моментов времени τ_i в точках (x_j, y_j, z_j) нам известны концентрации газа $C_A(x_j, y_j, z_j, \tau_i)$.

Пусть, наконец, у нас есть математическая модель атмосферного переноса, позволяющая рассчитать концентрацию газа (в любой точке пространства для любого момента времени) по информации о параметрах атмосферы и потоке газа на границе области. Но подчеркнем, что поток нам не известен, зато известны концентрации. Тогда естественно предложить следующий способ определения потока: проведем расчеты по модели для различных наборов F_1, F_2, \dots, F_N и каждый раз будем сравнивать получающееся в результате вычислений поле концентраций с реально измеренными значениями $C_A(x_j, y_j, z_j, t_i)$ в точках пространства с координатами (x_j, y_j, z_j) в моменты времени t_i . Если нам повезет угадать значения удельных потоков, близкие к истинным – тем, которые действительно сформировали в атмосфере измеренное поле концентраций, то (при условии достаточно высокой точности математической модели переноса) результаты расчета концентраций по модели окажутся очень близки к результатам реальных измерений концентраций в атмосфере. Эти-то величины удельных потоков, порождающие в модели поле концентраций, совпадающее (в пределах погрешности измерений) с реально наблюдаемым, и будут являться решением задачи.

Конечно, на самом деле при использовании метода обратного моделирования значения удельных потоков не угадываются, а ищутся при помощи специальных математических алгоритмов минимизации, хотя это и не единственный подход к решению задачи – в последние годы все шире начинают применяться так называемые сопряженные уравнения, не требующие численной минимизации. Подробнее о МОЗ см., например, в [17–20].

Результаты и обсуждение. Известные нам оценки различных авторов суммированы в табл. 2 (в исторической последовательности). Однако (из-за недостатка данных) мы поместили в эту таблицу, по сути дела, разные величины. Действительно, суммарная эмиссия из почв будет определяться разностью между выделением CH_4 метангенерирующими почвами и его поглощением автоморфными почвами. Фактически, такую эмиссию определил только В.В. Зеленев. Впрочем, и оценку Зеленева не стоит абсолютизировать. В те годы, когда она была получена, на территории РФ еще не было развернуто систематического измерения ППП CH_4 . В результате, в его работе 40.3 % площади РФ вообще оказалась не обеспечена экспериментальной информацией⁵ (т.е. для распространенных там типов почв не было известно ни одного измерения ППП CH_4): 38.4 % на территории без многолетне-мерзлых пород и 41.7 % на территории распространения «вечной мерзлоты».

Таблица 2

Эмиссия метана из почв России по оценкам разных авторов

Авторы, год	Ссылка	Поток, Мт/год	Примечание
Andronova and Karol, 1993	[24]	7.5	Предполагается, что среди почв источниками CH_4 могут быть только болота. Согласно данной работе (выполненной МеПИ), из болот бывшего СССР выделялось около 11 Мт CH_4 /год, при этом на долю Прибалтийских республик, Белоруссию и Украину в сумме приходилось 3.5 Мт CH_4 /год. Предполагается, что эмиссия с территории болот других республик пренебрежимо мала.
Розанов, 1995	[25]	39.8	Согласно этой работе, годовая эмиссия CH_4 из естественных почв РФ составляет 39 Мт, из рисовников – 0.1 Мт, из орошаемых земель – 0.7 Мт. Существенные
Зеленев, 1996	[2]	24.06	недостатки баз данных, лежащих в основе этих работ (выполненных МеПИ) кратко обсуждаются в докладе Сабрекова с соавт., опубликованном в настоящем сборнике. В этой работе дается несколько различных годовых эмиссий, полученных при разных предположениях. Минимальная оценка составляет 3.63, а максимальная – 109.72 Мт.
Кондратьев с соавт., 2003-2004	[3,26]	16.5-23.5	К сожалению, в данных работах лишь сообщается величина потока, но не описывается методика ее получения (тогда как по предыдущим и последующим работам методика может быть воспроизведена полностью).
Mikaloff Fletcher et al., 2004	[19]	14.0-19.9	Это эмиссия только из болот (хотя, конечно, она составляет подавляющую часть среди всех почв). Согласно [3: с. 415, 420; 26: с. 275, 278], мы приняли, что на болота РФ приходится 35-50% CH_4 , выделяемого с ее территории. Изначально для потока CH_4 с территории РФ была получена величина 39.9 Мт/год. Поскольку авторами использовался МОЗ, то, следовательно, это величина полного потока (из всех источников, расположенных на территории РФ).
Zhu et al., 2012	[27]	16.6	Это эмиссия только из болот. Оценка получена МеМаМ, причем в качестве математической модели использовалась нейронная сеть.

⁵ Чтобы читатель мог себе зримо представить, какая часть РФ не была изучена В.В. Зеленым, заметим, что упомянутые 40.3 % площади – это несколько больше, чем Европейская часть РФ и Западная Сибирь вместе взятые.

Оценка А.Б. Розанова – это чистая эмиссия из метангенерирующих почв (без учета поглощения). Остальные оценки представляют собой эмиссию лишь из болот. В связи с этим отдельной задачей становится учет *потребления* метана почвами России. В табл. 3 мы представили несколько оценок, полученных нами методом «простейшей инвентаризации» с использованием конкретных алгоритмов различных авторов.

Как видим, разброс оценок очень велик и чрезвычайно низка их точность. При работе МеПИ это может объясняться тем, что для региональных оценок используется относительно небольшое число типов поверхности, которым приписываются характерные значения ППП, хотя на самом деле ППП могут весьма сильно различаться, например, в пределах ландшафтов даже одного типа. Например, в [21] было показано, что на мезотрофном болоте в пределах 250-метровой трансекты под разными растительными ассоциациями может окисляться от 0 до более 80 % образующегося метана. Но даже если на небольших пространственных масштабах наблюдаются относительно близкие ППП, при переходе на региональный уровень вариабельность катастрофически возрастает. Например, в [22] было показано, что в пределах средней тайги Западной Сибири ППП на грядах грядово-мочажинных комплексов может колебаться от отрицательных значений (поглощение CH_4 !) до высокой эмиссии ($\sim 10 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$). Положение еще больше усугубляется динамикой ППП во времени – см. например, [23].

Таблица 3

Поглощение метана почвами России, вычисленное по методам разных авторов

Методика		Поток, Мт/год
Авторы, год	Краткое описание	
Born et al., 1990	Каждому <i>биому</i> приписывается характерная ППП CH_4 – см. табл. 1 выше. Подробно методика изложена в [1].	9.6 ± 5.4
Dörr et al., 1993	Каждому <i>структурному классу почв</i> приписывается характерная ППП CH_4 . Подробно методика изложена в [28].	3.0 ± 1.9
Зеленев, 1996	Каждому <i>типу автоморфных почв</i> приписывается характерная ППП CH_4 . В качестве оценки потока мы дали середину интервала неопределенности \pm размах. Но из-за несимметричности распределения, в [2] наиболее вероятное значение оценивается величиной 0.17, а не 0.27 Мт/год.	0.27 ± 0.16
Dutaur and Verchot, 2007	Каждому <i>структурному классу почв</i> приписывается характерная ППП CH_4 .	Подробно методика изложена в [29]
	Каждому <i>биому</i> приписывается характерная ППП CH_4 .	
	Каждому <i>структурному классу почв в каждом биоме</i> приписывается характерная ППП CH_4 .	

Все вышеперечисленные обстоятельства препятствуют возможности существенно улучшить оценку эмиссии метана из почв РФ, если использовать для этого МеПИ. Видимо,

следует признать, что этот метод ныне представляет лишь исторический интерес, а реальных успехов следует ожидать на пути применения МеМаМ и МОЗ.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Европейскому Союзу за поддержку данной работы по проекту FP7-ENVIRONMENT PAGE21, контракт № GA282700. Также благодарим студента МГУ им. М.В. Ломоносова Н.В. Коротницкого за плодотворное обсуждение модели [5].

Список литературы

1. Born M., Dorr H., Levin I. 1990. Methane consumption in aerated soils of the temperate zone // *Tellus*. – V. 42B. – P. 2–8.
2. Zelenev V.V. 1996. Assessment of the Average Annual Methane Flux from the Soils of Russia. WP-96-51. – Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis.
3. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. Перспективы развития цивилизации: многомерный анализ. – М.: Логос, 2003. – 576 с.
4. Глаголев М.В. 2007. Оценка эмиссии метана заболоченными территориями Западной Сибири // *Болота и биосфера: Сб. матер. Шестой научной школы (10-14 сентября 2007 г.)*. – Томск: ЦНТИ. – С. 33–41.
5. Ridgwell A.J., Marshall S.J., Gregson K. 1999. Consumption of atmospheric methane by soils: A process-based model // *Global Biogeochemical Cycles*. – V. 13. – No. 1. – P. 59–70.
6. Филиппов Л.П. Явления переноса. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 120 с.
7. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center, USGS/Earth Resources Observation and Science Center, Sioux Falls, South Dakota. – URL: http://lpdaac.usgs.gov/get_data
8. Belward A. S., Estes J. E., Kline K. D. 1999. The IGBP-DIS Global 1-km Land-Cover Data Set DISCover: A Project Overview // *Photogram. Eng. Remote Sens.* – V. 65. – P. 1013–1020.
9. Bailey R.G. and Hogg H.C. 1986. A world ecoregions map for resource reporting // *Environmental Conservation*. – V. 13. – No. 3. – P. 195–202.
10. Дубинин М.Ю. 2006. Глобальное экорегиональное зонирование Бэйли. – URL: <http://gis-lab.info/qa/bailey.html>
11. Saxton K.E., Rawls W.J., Romberger J.S., Papendick R.I. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture // *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 1031–1036.
12. Глаголев М.В., Чистотин М.В., Шнырев Н.А., Сиринов А.А. 2008. Летне-осенняя эмиссия диоксида углерода и метана осушенными торфяниками, измененными при хозяйственном использовании, и естественными болотами (на примере участка Томской области) // *Агрохимия*. – №5. – С. 46–58.
13. Fan S.M., Wofsy S.C., Bakwin P.S., Jacob D.J., Anderson S.M., Keibian P.L., McManus J.B., Kolb C.E. 1992. Micrometeorological Measurements of CH₄ and CO₂ Exchange Between the Atmosphere and Subarctic Tundra // *Journal of Geophysical Research*. – 97. – No. D15. – P. 16627–16643.
14. Bartlett K.B., G.W. Sachse, T. Slate, C. Harward, and D. R. Blake, Large-scale distribution of CH₄ in the western North Pacific: Sources and transport from the Asian continent // *J. Geophys. Res.*, 108(D20), 8807, doi:10.1029/2002JD003076, 2003.
15. Nozhevnikova A., Glagolev M., Nekrasova V., Einola J., Sormunen K., Rintala J. 2003. The analysis of methods for measurement of methane oxidation in landfills // *Water Science and Technology*. – V. 48. – Issue 4. – P. 45–52.
16. Глаголев М.В., Головацкая Е.А., Шнырев Н.А. 2007. Эмиссия парниковых газов на территории Западной Сибири // *Сибирский экологический журнал*. – Т. 14. – № 2. – С. 197–210.
17. Bergamaschi P., Frankenberg C., Meirink J.F., Krol M., Dentener F., Wagner T., Platt U., Kaplan J.O., Körner S., Heimann M., Dlugokencky E.J., Goede A. 2007. Satellite cartography of atmospheric methane from SCIAMACHY on board ENVISAT: 2. Evaluation based on inverse model simulations // *J. Geophys. Res.* – V. 112. – D02304, doi:10.1029/2006D007268.
18. Meirink J.F., Bergamaschi P., Frankenberg C., d'Amelio M.T.S., Dlugokencky E.J., Gatti L.V., Houweling S., Miller J.B., Röckmann T., Villani M.G., Krol M.C. 2008. Four-dimensional variational data assimilation for inverse modeling of atmospheric methane emissions: Analysis of SCIAMACHY observations // *J. Geophys. Res.* – V. 113. – D17301, doi:10.1029/2007JD009740.

19. Mikaloff Fletcher S.E., Tans P.P., Bruhwiler L., Miller J.B., Heimann M. 2004. CH₄ sources estimated from atmospheric observations of CH₄ and its ¹³C/¹²C isotopic ratios: 1. Inverse modeling of source processes // *Global Biogeochem. Cycles*. – 18, GB4004, doi:10.1029/2004GB002223.
20. Глаголев М.В. 2010. К методу «обратной задачи» для определения поверхностной плотности потока газа из почвы // *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*. – Т. 1. – № 1. – С. 17–36.
21. Glagolev M., Uchiyama H., Lebedev V., Utsumi M., Smagin A., Glagoleva O., Erohin V., Olenev P., Nozhevnikova A. 2000. Oxidation and Plant-Mediated Transport of Methane in West Siberian Bog. – In: *Proceedings of the Eighth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1999*. – Tsukuba: Isebu. – p. 143-149.
22. Клепцова И.Е., Глаголев М.В., Филиппов И.В., Максютлов Ш.Ш. 2010. Эмиссия метана из рямов и гряд средней тайги Западной Сибири // *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*. – Т. 1. – № 1. – С. 66–76. – URL: <http://www.ugrasu.ru/uploads/files/Klepzova.pdf> (дата обращения: 15.11.2011).
23. Глаголев М.В., Смагин А.В. 2006. Количественная оценка эмиссии метана болотами: от почвенного профиля - до региона (к 15-летию исследований в Томской области) // *Доклады по экологическому почвоведению*. – Вып. 3. – №3. – С. 75–114.
24. Andronova N.G., Karol I.L. 1993. The contribution of USSR sources to global methane emission. *Chemosphere*, 26, 111–126.
25. Rozanov A.B. 1995. Methane Emission from Forest and Agricultural Land in Russia. WP-95-31. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis.
26. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф. Моделирование глобального круговорота углерода. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 336 с.
27. Zhu X., Zhuang Q., Qin Z., Song L., Glagolev M. Estimating Wetland Methane Emissions from Northern High Latitudes Utilizing Artificial Neural Networks from 1990 to 2009 // *Global Biogeochemical Cycles*. – В печати.
28. Dörr H., Katruff L., Levin I. 1993. Soil texture parameterization of the methane uptake in aerated soils // *Chemosphere*. – V. 26. – No. 1–4. – P. 697–713.
29. Dutaur L., Verchot L.V. 2007. A global inventory of the soil CH₄ sink // *Global Biogeochem. Cycles*. – V. 21. – GB4013. DOI:10.1029/2006GB002734.

METHANE EMISSION AND CONSUMPTION BY RUSSIAN SOILS

M.V. Glagolev, I.V. Filippov, I.E. Kleptsova

The paper describes different approaches to estimating regional gas emissions on the soil/atmosphere boundary and presents a number of methane emission and consumption estimations obtained for Russian soils. It was shown that these estimations vary considerably according to the different studies. This heterogeneity indicates significant gaps in our knowledge of methane emission and consumption in Russian soils and necessity of the future research.

The authors acknowledge the financial support by the European Union FP7-ENVIRONMENT project PAGE21 under contract no. GA282700.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРФА ВОСТОЧНО-СУРГУТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Н.П. Горленко, О.Н. Загирова, А.В. Жуйкова, Т.Д. Ямпольская

Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия, E-mail: Gorlen52@mail.ru

На основе исследования физико-химических свойств торфа Восточно-Сургутского месторождения предложен один из возможных способов рациональной и безотходной технологии переработки природного сырья. Показано, что после экстракции торфяного воска, остаток торфяной массы может быть использован для утилизации нефти и нефтепродуктов.

Введение. Торф является ценным природным сырьем, и исследование в области его рационального использования является актуальной задачей. Основные тенденции направлены на глубокую переработку природного сырья. В сравнении с использованием торфа, например, в чисто энергетическом направлении, использование его продуктов с химической переработкой повышает эффективность использования торфа в 15–20 раз. В настоящее время в г. Сургуте торф Восточно-Сургутского месторождения используется преимущественно в качестве структурообразующего компонента для почвы.

Целесообразность в необходимости развития технологий рациональной переработки торфов Ханты-Мансийского округа Югры обусловлена несколькими причинами [1, 2].

1. Общие запасы торфов Тюменской области составляют около 69 млрд. тонн, что составляет 40 % от общероссийских и 17 % от мировых. При этом ежегодное приращение торфяной массы многократно превышает уровень годовой добычи. Эти условия позволяют организовывать производство на основе торфа на длительный срок.

2. Торф является уникальным сырьем для получения более чем 60 видов продукции для энергетики, химической, биохимической, строительной промышленности, а также медицины и сельского хозяйства. В настоящее время в мировом масштабе вклад торфа в производство и использование энергии незначителен, и составляет примерно одну тысячную от энергии, потребляемой в мире.

3. Зависимость нефтяной промышленности от конъюнктуры мирового рынка энергоносителей может оказать отрицательное влияние на экономическое, социальное и экологическое состояние Ханты-Мансийского округа. Разработка новых технологий и организация промышленного производства на этой основе позволит минимизировать последствия кризисных явлений.

Из анализа литературных данных по проблемам торфяного дела следует, что разработка технологий получения продукции из торфа является перспективным направлением как в области научных исследований, так и в области практического использования.

Следует отметить, что торфа Среднего Приобья по природе отличаются от торфов

европейского региона РФ, исследования в этой области немногочисленны, в то время как эффективное решение конкретной задачи неразрывно связано с исследованием физико-химических и структурных свойств природного сырья, что создает фундаментальную основу любых технологий.

Целью работы являлось изучение отдельных физико-химических свойств торфов Восточно-Сургутского месторождения и разработка способа безотходной технологии переработки природного сырья.

Методы исследования и экспериментальные результаты. Исследования физико-химических свойств торфа проводили методами эмиссионного спектрального анализа, ИК-спектроскопии, жидкостной хроматографии.

Методом эмиссионного спектрального анализа определен элементный состав неорганических компонентов торфа. Результаты исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Полуколичественный анализ минерального состава торфа

Элемент	Содержание, % масс.	Элемент	Содержание, % масс.
Бор	0,0001-0,000001	Алюминий	0,4
Ванадий		Барий	0,005
Висмут		Железо	0,017
Вольфрам		Кальций	0,087
Гадолиний		Кремний	0,19
Гафний		Магний	0,012
Кадмий		Марганец	0,0013
Кобальт		Медь	0,015
Самарий		Мышьяк	0,001
Свинец		Ниобий	0,0152
Серебро		Рений	0,006
Сурьма		Талий	0,011
Хром		Титан	0,007
Цинк			
Цирконий			

На основе анализа ИК-спектров, выявлено, что исследуемое сырье содержит достаточно высокую концентрацию битумов (битумоидов), которые включают восковую составляющую из сложных эфиров, карбоновых кислот, углеводов и спиртов. Кроме того, показано, что торф относится к верховому типу со степенью разложения 30–32 % масс., зольностью 3 % масс., что косвенно подтверждает возможность его использования в качестве сырья для получения торфяного воска, являющимся ценным продуктом в различных отраслях промышленности, медицине.

Полученные данные по физико-химическому анализу позволяют утверждать, что исследуемый торф является ценным сырьем как по неорганическим компонентам, так и органическим составляющим.

В работе проведены исследования по извлечению из торфа торфяного воска различными экстрагентами. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2

Процентное содержание воска при экстракции различными экстрагентами

Экстрагент	Масса навески, г	Масса экстрагируемого вещества, %
Этиловый спирт	5	0,8 ± 0,06
Гексан	5	0,6 ± 0,03
Этилацетат	5	1,4 ± 0,05
Хлороформ	5	3,8 ± 0,19

Как видно из таблицы 2, наибольшее количество экстрагируемого вещества наблюдается при экстракции хлороформом, наименьшее для гексана. Количество извлеченной массы при использовании хлороформа в качестве экстрагента составляет около 4 %, что является достаточным условием для промышленного производства химически ценного компонента.

Экстрагированная масса представляет собой твердый продукт, коричневого цвета, аморфной консистенции, достаточно прочный и нерастворимый в воде. В работе были определены некоторые физико-химические свойства экстракта (табл.3).

Таблица 3

Отдельные физико-химические свойства экстракта

Физико-химический показатель экстракта			
Температура плавления	Кислотное число	Йодное число	Плотность, г/см ³
58,6 °С	34	12	0,978

Из анализа экспериментальных данных в сопоставлении с литературными данными следует, что полученный экстракт по физико-химическим свойствам соответствует торфяному воску [3]. Для идентификации вещества были сняты ИК-спектры (рис. 1).

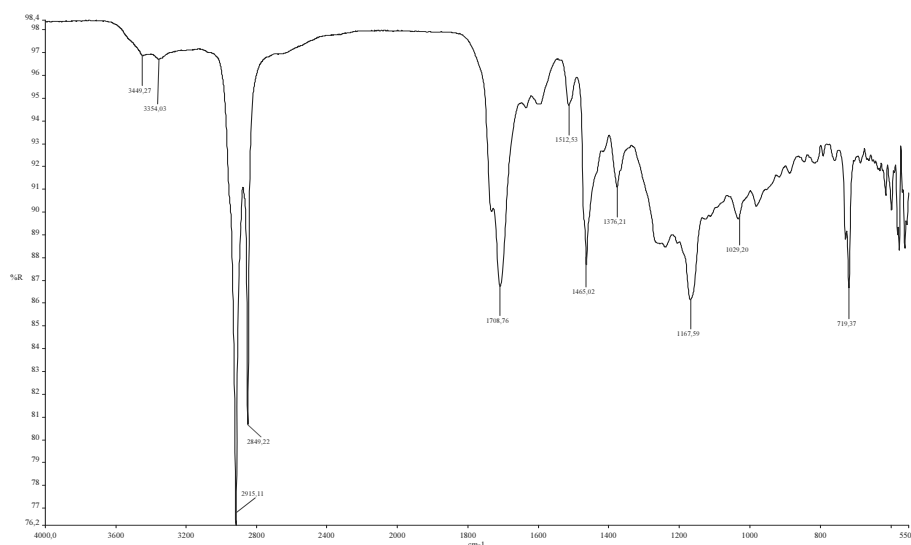


Рисунок 1.
ИК-спектры
экстракта из
торфа

Как видно из рисунка отчетливо проявляются пики в областях: (1168, 1708, 1167) см^{-1} , что характеризует колебания простых эфиров; (1376, 2915) см^{-1} , что отвечает колебаниям С-Н групп [4]. Кроме того, проведенный хроматографический анализ образцов указывает на содержание сложных эфиров и насыщенных карбоновых кислот. Из данных эксперимента следует, что полученная органическая масса представляет собой торфяной воск с примесями битумных составляющих, включающих углеводороды и смолы.

В работе исследованы бактерицидные свойства торфяного воска [5, 6]. В чашки Петри с питательным агаром «газоном» высевалась тест-культуры микроорганизмов различных таксономических групп: дрожжи (*Candida albus*), кишечная палочка (*Escherichia coli*), микрококки (*Micrococcus luteus*), спорообразующие бактерии (*Bacillus subtilis*), золотистый стафилококк (*Staphylococcus aureus*), псевдомонады (*Pseudomonas fluorescens*). Через 10 мин после посева на засеянную чашку вносили по несколько капель торфяного воска (рис. 2). Выявлено, что рост бактериального «газона» в присутствии торфяного воска наблюдался только для спорообразующих микроорганизмов (образец 4), в то время как на другие тест-микроорганизмы оказано ингибирующее действие. Следовательно, экстракт, полученный указанным способом, обладает антибиотическими свойствами и может использоваться в качестве бактерицидного вещества.

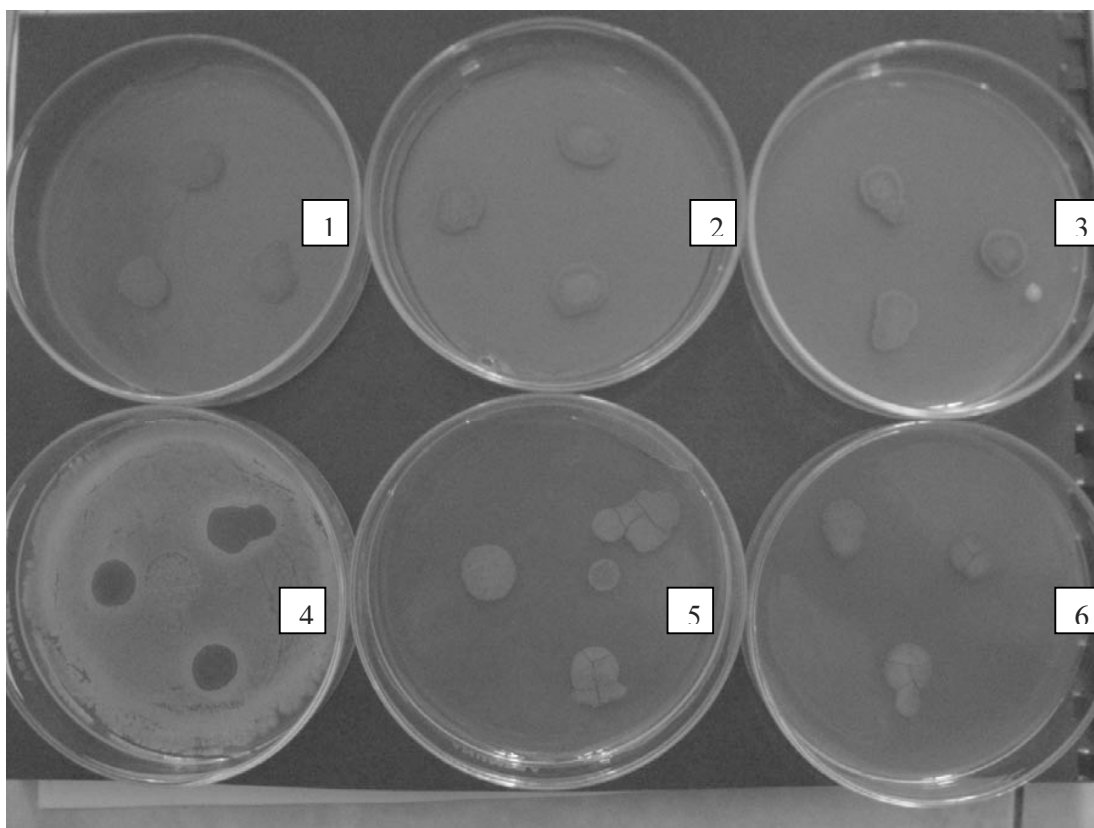


Рисунок 2. Бактерицидные свойства торфяного воска по отношению к различным тест-микроорганизмам: 1 – *Candida albus*, 2 – *Escherichia coli*, 3 – *Micrococcus luteus*, 4 – *Bacillus subtilis*, 5 – *Staphylococcus aureus*, 6 – *Pseudomonas fluorescens*

После извлечения воска оставшаяся торфяная масса обладает гидрофобными свойствами. Водопоглощение составляет около 2 % масс., в то время как исходный торф поглощает более 80 % масс. воды. Известно [7], что переход торфа из гидрофильного состояния в гидрофобное способствует повышению сорбции нефти и нефтепродуктов с поверхности воды и водных растворов. Поэтому была исследована сорбционная способность отхода торфяной массы по отношению к нефтепродуктам. В частности, показано, что извлечение нефти составляет – 3,2 %, дизельного топлива – 2 % в расчете на 1 г сухого торфа, что может быть использовано для очистки водоемов от загрязняющих веществ, в том числе при ликвидации аварийных ситуаций. Особенно эта задача актуальна для нефтедобывающих районов. После утилизации нефтепродуктов торфяная масса легко брикетируется и применяется в качестве высококалорийного топлива.

Выводы. Предложен один из возможных вариантов безотходной технологии переработки торфа Восточно-Сургутского месторождения, включающий экстракцию торфяного воска из природного сырья и использование оставшейся массы для очистки водоемов от нефти и нефтепродуктов. Нефтенаполненная композиция используется в качестве высококалорийного топлива, а образующаяся зола является концентратом неорганических элементов, наиболее ценными из которых являются рений и гафний.

Список литературы

1. Ямпольский А.М. О перспективах развития торфоперерабатывающих производств в Среднем Приобье // Биологические ресурсы и природопользование: Сб. научн. трудов. – Сургут, 2002. – Вып. 5. – С. 124–131.
2. Росгеофонд МПР РФ. Государственный баланс запасов полезных ископаемых РФ на 01.01.2001 г. – Торф. – М., 2002.
3. Химическая энциклопедия: В 5 томах: Т.1 / Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл. ред.) и др. – М.: Сов. энцикл., 1988. – 623 с.
4. Кросс А. Введение в практическую инфракрасную спектроскопию / Пер. с англ. канд. хим. наук. Ю. А. Пентина. – М., 1961. – 110 с.
5. Руководство к практическим занятиям по микробиологии: Учеб. пособие / Под ред Н.С. Егорова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 224 с.
6. Практикум по микробиологии: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.И. Нетрусов, М.А. Егорова, Л.М. Захарчук [и др.]; Под ред. А.И. Нетрусова. – М.: Академия, 2005. – 608 с.
7. Физико-химические свойства торфа. Сб. научн. трудов / Структура, реологические и физико-механические свойства торфа. – Калинин, 1976. – 275 с.

INTEGRATED UTILIZATION OF PEAT THE EAST-SURGUT FIELD

N.P. Gorlenko, O.N. Zagirova, A.V. Zhuykova, T.D. Yampolskaya

On the basis of research of physico-chemical properties of peat of East-Surgut deposit one of possible methods of rational and zero-emission technology of processing of natural raw material is offered. It is shown that after extraction of peat wax, the remain of the peat mass can be used for utilization of oil and oil products.

К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ

М.В. Зыкова

Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, e-mail: gmV2@rambler.ru

На основании литературных данных приведен обзор работ отечественных и зарубежных ученых, посвященных исследованию взаимосвязи биологической активности гуминовых кислот с их химическим строением. Показан их широчайший спектр биологических свойств, влияющих на различные системы организма, изменяющих обменные процессы, и оказывающих определенные фармакологические эффекты. Приведены результаты собственных исследований биологической активности гуминовых кислот торфов Томской области.

Гуминовые кислоты (ГК) – высокомолекулярные азотсодержащие соединения циклического строения, представляющие собой смесь темноокрашенных органических, высокомолекулярных, в основном ароматических, метоксисодержащих, гидрокси-, оксокарбоновых кислот, объединенных общим типом строения, но имеющих некоторые различия, определяемые их происхождением (Кухаренко, 1993).

На сегодняшний день существует несколько гипотетических моделей строения ГК, наиболее распространенными являются структуры, предложенные отечественными учеными Д.С. Орловым (рис. 1) и И.Д. Комиссаровым (рис. 2). Эти формулы предполагают двучленность мономерной структуры ГК, в состав которых входят гидролизуемые компоненты типа моно- и полисахаридов и полипептидов. При двучленном строении ГК, содержащийся в них углерод находится в двух формах: ароматический углерод в sp^2 - и алифатический углерод в sp^3 -гибридном состоянии (Комиссаров, 2006).

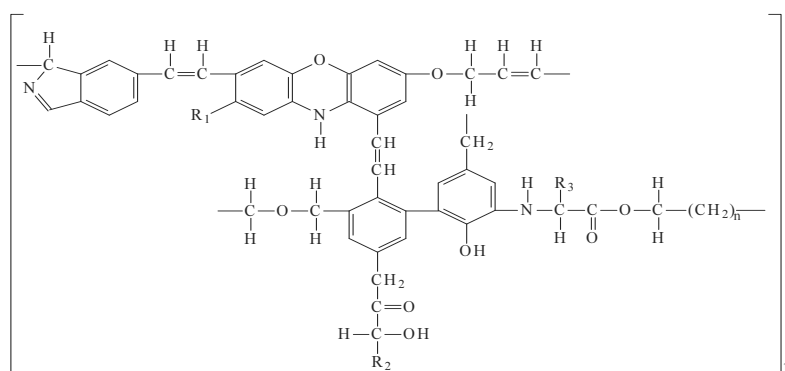


Рисунок 1. Схема строения структурной ячейки ГК по Д.С. Орлову

Негидролизуемая часть представлена конденсированными бензоидными фрагментами (по Орлову – не более двух-трех конденсированных колец, по Комиссарову – больше), образующими с участием $-C=C-$ мостиков сильно развитую непрерывную цепь сопряженных двойных связей. Считается, что конденсированные ароматические ядра,

соединенные друг с другом через цепи, имеющих достаточное сопряжение углерод-углеродных и других связей, обеспечивающих свободное движение делокализованных электронов в пределах всей макромолекулы, являются носителями специфических свойств ГК. Негидролизуемая часть содержит также азотистые и кислородсодержащие гетероциклы.

Особенность ГК – насыщенность молекул функциональными группами: карбоксильными, фенольными и спиртовыми гидроксилами, хиноидными группировками, метоксилами, амино- и амидогруппами.

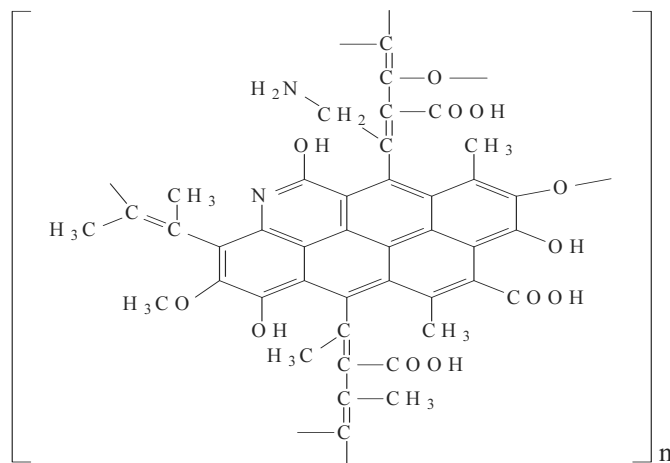


Рисунок 2. Схема строения структурной ячейки ГК по И.Д. Комиссарову

Важным условием существования макромолекул в форме предложенной модели Комиссарова, является отсутствие конформаций кручения в соединительных звеньях между ядрами. Этому условию может удовлетворять наличие сопряженных связей. Наличие парамагнитных свойств у ГК, обусловленное делокализованными электронами подтверждает существование таких углерод-углеродных связей (Комиссаров, 2006, 2008).

Несмотря на многочисленные исследования в области химии ГК, вопросы, связанные с прогнозированием их биологической активности, еще не решены, вследствие химического полиморфизма ГК различных месторождений торфа.

Таким образом, структурные особенности ГК позволяют им участвовать в разнообразных окислительно-восстановительных реакциях, в фермент-субстратных взаимодействиях, влиять на осмотическое давление, образовывать комплексные соединения хелатного типа и т.д. Кроме того, ГК, являясь гетерополимерами арилгликопротеидной природы, могут служить источником структурных фрагментов органических макромолекул при биосинтезе, происходящем в живых организмах. Как коллоидные дисперсии, ГК проявляют поверхностно-активные и электроповерхностные свойства. В результате ГК способны снижать поверхностное натяжение и вязкость растворов и протоплазмы, а также проявлять ионофорное действие, изменять электрофизиологические свойства клеточных

мембран. Все эти вышперечисленные свойства ГК и обуславливают их многопрофильную фармакологическую активность.

Проблема выделения в структуре ГК тех или иных фармакофорных групп или дескрипторов, обуславливающих конкретный вид биологической активности, чрезвычайно сложна и не решена до сих пор. Одним из таких потенциальных дескрипторов является фактор молекулярно-массового распределения. Все ГК полидисперсны, диапазон средневесовых молекулярных масс – от 10000 до 150000. Характерная особенность заключается в том, что даже предварительно фракционированные препараты остаются полидисперсными. Строго мономолекулярные препараты получить принципиально нельзя. Наличие в одном объекте молекул различных размеров, варьирующих по структуре и составу, количеству функциональных групп, физико-химическим свойствам, способствует одновременному протеканию различных, в том числе и противоположных, реакций и, следовательно, существенно расширяет спектр его биологической активности.

В работах немецких ученых (Helbig, 1997; Klöcking, 2006) по изучению активности ГК против вируса простого герпеса отмечено, что активность ГК обусловлена именно их высокомолекулярной специфической структурой, а низкомолекулярные предшественники ГК – не обладают антивирусной активностью. К тому же, рассматривая ГК как продукты окисления низкомолекулярных фенолов, они установили, что высокая антивирусная активность обусловлена содержанием карбоксильных групп и увеличением длины C=C сопряженных связей в алифатической цепочке (Klöcking, 1992). Рядом других авторов (Смирнов, 2004) наоборот отмечено, что стимулирующая активность ГК возрастает с уменьшением их молекулярной массы, и что одной из причин физиологической активности ГК является наличие в их молекулах фрагментов, обладающих свойствами стабильных радикалов, содержание которых снижается с увеличением доли высокомолекулярных фракций в составе ГК.

Необходимо отметить, что в литературе встречаются достаточно противоречивые данные по вопросу взаимосвязи биологической активности ГК и структурных параметров. Так, например, Flaig считает фармакофорным фрагментом в молекулах ГК производные орто-хинонов, способных влиять на окислительно-восстановительные процессы в клетке. По мнению других исследователей (Наумова, 2001) наибольшей биологической активностью обладают более ароматизированные фракции ГК, содержащие больше фенольных гидроксиллов и хиноидных группировок. Считают, что носителями специфических свойств ГК служат конденсированные ароматические ядра, соединенные друг с другом через цепи, имеющие достаточное сопряжение углерод-углеродных и других связей, обеспечивающих свободное перераспределение электронной плотности в пределах всей макромолекулы. При

рассмотрении вопроса взаимосвязи биологической активности ГК с их молекулярной структурой, рядом авторов (Solovieva, 2006) также отмечается, что наличие в ядре гетероциклического азота – одна из основных причин их высокой биологической активности.

Имеются данные (Корбанюк, 1980) о повышенной активности ГК, содержащих большее количество периферических полисахаридных фрагментов. Некоторые исследователи считают, что наряду с высоким содержанием кислых функциональных групп, соотношение гидрофильных и гидрофобных фрагментов в структуре ГК – один из определяющих факторов их биологической активности (Батуев, 2005). В тоже время целый ряд исследователей считает, что действующее начало ГК – это в основном функциональные группы (карбоксильные и гидроксильные), блокирование которых в молекулах ГК, в частности катионами металлов, устраняет их биологическую активность (Орлов Д.С., 1993).

Отмечено, что образцы ГК с более высоким содержанием функциональных групп, высокой степенью ароматизации и уровнем парамагнетизма обладают наиболее сильным воздействием на ростовые процессы (Наумова, 2001). Ряд авторов указывает на существование определенной зависимости между концентрацией парамагнитных центров, содержанием углерода, кислородсодержащих функциональных групп, степенью ароматичности, реакционной способностью, обменной емкостью, растворимостью, электропроводностью, молекулярной массой молекул ГК и их биологической активностью (Комиссаров, 2006; Piccolo, 1990).

В то же время существует мнение, что биологическая активность ГК снижается с уменьшением размера их молекулы, увеличением доли конденсированного углерода ароматических соединений, снижением содержания в их структуре азотсодержащих соединений, увеличением оптической плотности и повышением концентрации парамагнитных центров (Тишкович, 1982). Авторы считают, что важнейшими факторами, предопределяющими физиологическую активность ГК, является структура молекулы, состав и свойства ее ядра и боковых алифатических цепей. Так, по мере увеличения размера молекулы за счет боковых алифатических цепей (включающих в свою структуру активные центры, функциональные группы, в том числе азотсодержащие соединения), снижения оптической плотности физиологическая активность этой молекулы резко возрастает.

Ряд исследователей связывает биологическую активность ГК в основном с их электронно-донорно-акцепторными (Наумова, 2001) и мембранотропными (Дёмин, 2003; Степченко, 2008) свойствами.

Антиоксидантная активность (АОА) ГК торфа заслуживает значительного внимания, поскольку обусловлена целым рядом их структурных особенностей. Ароматических ядра ГК

содержат большое количество карбоксильных и хиноидных групп, являющихся катализаторами окислительно-восстановительных реакций и обуславливающих АОА. С этим согласуются протективные свойства ГК в условиях воздействия разнообразных повреждающих факторов окружающей среды: интоксикаций, гипоксических состояний, иммунопатологий, вирусных и микробных инфекций. В экспериментах на модели острого токсического ССІ₄-гепатита выявлена гепатозащитная активность ГК, которая связана по мнению авторов с их антиоксидантными и мембраностабилизирующими свойствами (Шарипкина, 1983; Юдина, 1996).

Гуминовые кислоты способны повышать резистентность организма к отравлению, снижать степень интоксикации при действии различных неблагоприятных факторов, в т.ч. повышать устойчивость организма в условиях гипоксии (адаптагенное действие). Повышение устойчивости животных под влиянием комплекса ГК связывается с активацией ферментных систем, анаэробного дыхания и антитоксической функции печени (Соловьева, 1982; Наумова, 2001; Степченко, 2006).

Большое количество работ посвящено иммуотропным свойствам ГК, изучению влияния ГК на иммунологическую реактивность организма и улучшение обменных процессов, а также разработке высокоэффективных биостимуляторов и иммуномодуляторов – средств повышения общей резистентности организма (Долгополов, 2006; Жиликова, 2006; Маякова, 1991; Наумова, 1995 и др.).

На сегодняшний день отсутствует единая точка зрения на механизмы стимулирующего действия ГК. Ряд исследователей (Юдина, 1996; Лиштван, 2004; Наумова, 2001 и др.) считает, что в зависимости от состава ГК могут выступать или стимуляторами, или супрессорами, и биологическую активность ГК связывают с их влиянием на окислительно-восстановительные процессы и активацией ферментных систем. Было показано, что ГК вызывают усиление процессов синтеза ДНК, РНК и белка, а также активируют ферменты белкового и нуклеинового метаболизма (Жиликова, 2006). Это приводит к активации клеточного деления, ростовых и морфологических процессов, регенерации тканей. Также ГК повышают общую резистентность организма за счет повышения уровня адренергического обеспечения органов иммунной системы – через усиление синтеза биогенных аминов (гистамина, катехоламинов), которые, в свою очередь, запуская неспецифические механизмы защиты организма, создают оптимальные условия для развертывания специфических иммунных реакций (Наумова, 2001). По мнению других исследователей (Грибан, 1995), способность ГК стимулировать неспецифическую резистентность, связана с повышением лизоцимной, бактерицидной способности и нейтрофильной активности крови.

Существует также мнение (Бузлама, 2006), что ГК необходимо отнести к последнему поколению современных адаптогенов стресс-корректоров, за счет протективной (предотвращение гипертрофии надпочечников, стабилизация клеточных мембран) и потенцирующей активности (в первую очередь мобилизация клеточного звена иммунитета).

В литературе имеются сведения о противовоспалительном действии ГК (Авакумова, 2005; Маякова, 1991; Veer, 1996 и др.), изученном на моделях острого и хронического воспаления, которая связана с их способностью обратимо ингибировать избыточную продукцию интерлейкина 1β гиперактивированными макрофагами, нивелировать усиленный выход нейтрофильных гранулоцитов из костно-мозгового депо в кровь, уменьшать потребление кислорода активированными фагоцитами с последующим снижением генерации кислородных радикалов, что в конечном счете приводит к уменьшению выраженности воспалительной реакции.

Выявлена способность ГК к стимуляции гемопоэза (Жилякова, 2006; Степченко, 2006). Установлено, что при циклофосфановой гемодепрессии, ГК стимулируют эритроидный и миелоидный росток гемопоэза, способствуют быстрым темпам восстановления содержания клеток периферической крови.

Имеются данные об активирующем влиянии ГК на метаболизм гормонов, они активируют стероидогенез в надпочечниках, фетоплацентарном комплексе, обладают гонадотропным и тиреотропным действием, стимулирует адаптационные реакции организма (Дмитрик, 2006; Лободин, 2006; Ряднов, 2006).

Целый ряд работ посвящен противовирусной активности ГК (Зайцев, 1999; Кашицкий, 1999; Козин, 1999; Конопля, 1982; Лиштван, 1981; Степченко, 2006; Klöcking, 2006 и др.). Спектр чувствительных к ГК вирусов включает: многочисленные ДНК- и РНК – вирусы типа вируса простого герпеса 1 и 2 типа (HSV-1, HSV-2), цитомегаловирусы, вирус гриппа А и В типов, вирус Коксаки, вирус иммунного дефицита человека, вирус геморрагической лихорадки, коронаровирус атипичной пневмонии (King, 1988; Klöcking, 1975). Некоторые исследователи (Степченко, 2006; Klöcking, 1997) полагают, что полимерные молекулы ГК препятствуют адсорбции вируса на клеточной мембране и входу вирусной РНК в клетку. Это согласуется с предположением о том, что молекулы ГК и высокомолекулярные остатки их внутриклеточного переваривания могут образовывать активный «сеточный» фильтр на поверхности живой клетки (Демин, 2003; Степченко, 2008).

Другим возможным механизмом противовирусного действия ГК можно считать их интерфероподобное действие (Кашицкий, 1999; Козин, 1999). Данный эффект сопровождается $2\text{-}3^x$ кратное увеличение уровня цАМФ, а также активация 2', 5'-олигоденилатсинтетазы и синтез 2', 5'-олигоденилата – активатора нуклеаз, специфичных

для вирусных м-РНК. Повышение активности 2', 5'-олигоденилатсинтетазы находится в прямой зависимости от устойчивости клеток к вирусу. Исследователи считают, что ГК моделирует действие экзогенного интерферона через систему ферментов, ответственных за синтез 2', 5'-олигоденилата.

Таким образом, ГК проявляют широчайший комплекс эффектов, влияют на неспецифическую и специфическую резистентность организма, обладают антиоксидантными, противовоспалительными, противовирусными, антибактериальными, противогрибковыми, мембранотропными свойствами, способностью усиливать активность обменных процессов в организме и многими другими эффектами. В то же время, химическому составу торфа каждого месторождения присущ индивидуальный набор и соотношение БАВ, функциональный состав и молекулярные соотношения ГК, что будет определять и биологически активные свойства объекта. В связи с этим, ГК каждого вида торфа будут присущи индивидуальные характеристики, что обуславливает необходимость исследования их химических, токсикологических и фармакологических свойств.

На основании опыта предшествующих исследователей, изложенного выше, нами было проведено изучение химико-фармакологических свойств нативных гуминовых кислот некоторых видов торфа Томской области как перспективных объектов для разработки новых лекарственных средств. Результаты исследования химической структуры ГК различных видов торфа выявили ряд индивидуальных особенностей строения их макромолекул, на основании чего был определён низинный древесно-травяной торф как наиболее перспективный источник ГК для дальнейших фармакологических исследований.

Низинный древесно-травяной торф месторождения «Клюквенное» является перспективным источником ГК, исходя из наибольшего их удельного содержания, а так же особенностей их химической структуры - меньшей степени бензоидности и конденсированности макромолекулы, высокой доли алифатических фрагментов, активных кислородсодержащих функциональных групп (карбокислых, хиноидных, фенольных гидроксидов), азота и концентрации парамагнитных центров.

Объекты и методы. Для исследования биологической активности взяты ГК низинного древесно-травяного торфа месторождения «Клюквенное» Томской области. Изучение биологической активности ГК заключалось в исследовании их токсикологических и фармакологических свойств. Подробное описание методов исследования биологической активности и экспериментальных животных приведены в диссертации М.В. Гостищевой (2008).

Результаты исследования и обсуждение. Исследование острой токсичности ГК низинного древесно-травяного торфа месторождения «Клюквенное» показало, что при внутрижелудочном введении мышам и крысам, они являются малотоксичными веществами и относятся к III и IV классам опасности соответственно ($LD_{50}=4658,40$ мг/кг). При внутрибрюшинном введении токсичность ГК значительно повышается ($LD_{50}=532,89$ мг/кг).

Судя по результатам патологоанатомического исследования, гибель лабораторных животных при введении летальных доз ГК наступает от острой сердечной недостаточности, возникающей в результате ишемической дистрофии миокарда. Острое нарушение гемодинамики и последующая гибель животных могут быть обусловлены одновременно, как снижением электрической стабильности сердца, так и негативным влиянием ГК на реологические свойства крови.

Показаны также значительные различия в суточных профилях концентраций ГК в сыворотке крови животных в зависимости от способа введения – при внутрибрюшинном введении концентрация ГК в крови значительно выше и они более длительно циркулируют в крови. Различия в суточных профилях концентраций ГК могут указывать на весьма выраженный эффект «первичного прохождения через печень» при их пероральном введении.

Проведено исследование цитопротективных свойств ГК низинного древесно-травяного торфа. Анализ литературных данных показывает, что ГК, как правило, проявляют наиболее выраженную биологическую активность в условиях экспериментальных моделей связанных с повреждающим воздействием экстремальных факторов различной природы. Мы провели экспериментальную оценку цитопротективных свойств ГК в условиях острого токсического CCl_4 -гепатита и различных гипоксических состояний.

Выявлено, что ГК обладают высокой антиоксидантной активностью. Введение ГК в дозе 100 мг/кг в условиях CCl_4 -гепатита приводит к снижению концентрации МДА в гомогенате печени крыс в 6 раз, по сравнению с группой нелеченных животных.

Исследуемые ГК обладают выраженной гепатозащитной активностью при остром CCl_4 -гепатите, нормализуя функционально-метаболические и морфологические показатели печени крыс, и существенно снижая интенсивность процессов липопероксидации. Наиболее выраженные гепатозащитные свойства ГК, превосходящие аналогичное действие препарата сравнения карсила, наблюдаются в дозе 100 мг/кг.

Изучена антигипоксическая активность ГК. Наличие антиоксидантных и хелатирующих свойств у исследуемых ГК указывает на их потенциальные антигипоксические свойства (Лукьянова, 1997; Козин, 2005; Кашицкий, 1999). Это побудило нас оценить их антигипоксическую активность на моделях гистотоксической (тканевой) гипоксии и гипобарической гипоксической гипоксии (гипоксии объема), а также на окислительное

фосфорилирование в митохондриях в условиях нормобарической гиперкапнической гипоксии.

Результаты показали, что ГК в условиях различных гипоксических состояний проявляют выраженное антигипоксическое действие, существенно увеличивая продолжительность жизни экспериментальных животных и снижая их летальность от гипоксии. Гуминовые кислоты в условиях гиперкапнической гипоксии предотвращают разобщение окислительного фосфорилирования, что является одним из возможных механизмов их антигипоксического действия. Антигипоксическое действие ГК не уступает эффектам у эталонного антигипоксанта дигидрохверцетина в головном мозге и превосходит таковое в печени. Выявленная под действием ГК нормализация окислительного фосфорилирования в митохондриях головного мозга и печени вероятно обусловлена протекторными свойствами ГК предотвращающих свободнорадикальное повреждение клеток и органелл в условиях гипоксии.

Заключение. Таким образом, анализ литературных данных не дает достаточно ясного ответа на вопрос о том, какие структурные особенности и свойства молекул ГК определяют уровень их биологической активности. Этот вопрос до сих пор остается открытым, а немногочисленные данные носят дискуссионный характер, что связано со сложным составом ГК, включающих разнообразные ароматические и алифатические структурные единицы и функциональные группы, а также их гетерогенностью и полидисперсностью, обуславливающих многообразие физико-химических и биологических свойств. К тому же вопрос о стандартизации ГК на сегодняшний день также остается открытым.

Результаты собственных исследований показали, что ГК обладают высокой биологической активностью, о чем свидетельствуют данные исследования их острой токсичности. Результаты экспериментальной оценки цитопротективных свойств ГК в условиях острого токсического CCl₄-гепатита и различных гипоксических состояний показали, что они обладают выраженной антиоксидантной, гепатозащитной, антигипоксической активностью.

TO THE QUESTION ON RESEARCHES OF BIOLOGICAL ACTIVITY OF HUMIC ACIDS

M.V. Zykova

On the basis of the literary data the review of works of the domestic and foreign scientists devoted to research of interrelation of biological activity of humic acids with their chemical structure is resulted. Their broadest spectrum of the biological properties influencing various systems of an organism, changing exchange processes, and rendering the certain pharmacological effects is shown. Results of own researches of biological activity humic acids of peats of Tomsk area are resulted.

КИСЛОТНОСТЬ ПОДСТИЛКИ БОЛОТНЫХ БЕРЕЗНЯКОВ

Т.Т. Ефремова, А.Ф. Аврова, С.П. Ефремов

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск, Россия, e-mail: efr2@ksc.krasn.ru

Изучены гидролитическая, обменная, актуальная кислотность подстилки в сукцессионном ряду болотных березняков. Дана статистическая характеристика кислотных свойств различных морфолого-генетических типов подстилки. Построены высокосignимые статистические модели, которые позволяют уверенно прогнозировать значения общей и обменной кислотности по величине рН.

Введение. Состав и свойства подстилки оказывают решающее влияние на почвенные процессы, определяя характер и направление почвообразования в лесных экосистемах. Одним из наиболее информативных показателей качества подстилки служат её кислотно-основные свойства. Кислотность в значительной мере обуславливает микробиологическую и ферментативную активность, емкость катионного обмена и состав обменных катионов подстилки, окислительно-восстановительное состояние и физические свойства, подвижность химических элементов, их доступность растениям и т.д., определяя в конечном итоге лесорастительный потенциал местообитаний. Кислотность подстилки болотных лесов относится к числу наименее изученных её свойств.

Объекты и методы. Исследования выполнены на одном из самых крупных лесоболотных массивов (2,3 тыс. га) северной части междуречья Оби и Томи. К настоящему времени здесь сформировалась локально обособленная внутриболотная гидрографическая сеть, стержневым элементом которой является русло р. Еловка и древний заторфованный тальвег в 100–140 м от русла. Объектом изучения стали насаждения берёзы пушистой (*Betula pubescens Ehrh.*), представляющие собой экологический ряд лесоболотных ценозов, расположенных по признаку нарастания степени увлажнения торфяных почв по мере удаленности от дренирующего влияния внутриболотной речки. В пределах экологического профиля (270 м × 50 м), заложенного перпендикулярно береговой линии, выделили следующие типы леса: 0–30 м – лабазниково–крапивно–страусниковый, состав 10Б; 30–70 м – крапивно–лабазниковый, состав 10Б; 70–100 м – папоротниково–вейниково–лабазниковый, состав 10Б; 100–140 м – вейниково–осоковый закорчаренный, состав 10Б; 140–190 м – сфагново–вейниково–осоковый, состав 10Б; 190–230 м – осоково–сфагновый, состав 8Б2С; 230–270 м – сфагново–мёртвопокровный, состав 6Б4С. Средний возраст березняков по градиенту проточности последовательно снижается с 78 до 63 лет.

Дифференциация подстилки болотных березняков на подгоризонты и соответствующие им типы основывалась на общепризнанных руководствах [1, 2, 3]. В типологическом ряду болотных березняков выделено шесть типов лесной подстилки следующего строения.

Сильноразложившаяся мощная подстилка 5,7 см ($L_{0,7} - F_{2,1} - H_{2,9}$) древесно–крупнотравного состава формируется в березняках с участием в напочвенном покрове лабазника, крапивы и страусника. Среднеразложившаяся аналогичного состава мощная 5 см ($L_{1,4} - F_{3,3} - H_{\text{фрагментарно}}$) – в вейниково–лабазниковом. Корневищная (груборазложившаяся) древесно–осоково–вейниковая подстилка малой мощности 3,6 см ($L_{1,7} - F_{1,9}$) образуется в вейниково–осоковом березняке. Торфянистая маломощная 4,5 см ($L_{2,4} - F_{2,5}$) мелкотравно–сфагново–древесная – в сфагново–болотно–разнотравных типах леса. Оторфованная древесного состава мощная 6,2 см подстилка ($L_{3,3} - F'_{2,2} - F''_{0,7}$) формируется в мочажинах сфагново–мёртвопокровного березняка. В сфагновых синузиях данного типа леса образуется торфяная древесно–моховая мощная (6,1 см) подстилка (Оч. $L_{3,3} - \text{Оч.}F_{2,8}$), сложенная очесом – бурыми, отмершими частями стеблей и веточек мхов с включением остатков древесных растений и болотных трав.

Исследования кислотных свойств подстилки проводились общепринятыми в почвоведении методами на протяжении 2004-2006 годов. Величина рН водной вытяжки измерялась потенциометрически. Значения гидролитической (общей потенциальной) кислотности определялась по методу Каппена, обменной – по методу Дайкухара [4]. Отношение навески подстилки к воде и растворам – 1:25. Полученные значения гидролитической и обменной кислотности умножали на коэффициент 1,75.

Результаты исследования и обсуждение. Понятия и показатели почвенной кислотности, методы определения, а также природа кислотных компонентов активно разрабатываются до сих пор. Общеизвестно, что актуальная кислотность (рН) характеризует интенсивность кислотности, то есть активность ионов H^+ в жидких фазах исследуемых систем, гидролитическая и обменная связана с твёрдыми фазами и отражает количество титруемых щелочью веществ, обладающих кислотными свойствами [5, 6, 7]. Обменная кислотность обусловлена наиболее сильными кислотными компонентами, вытесняемыми растворами нейтральных солей из поглощающего комплекса, гидролитическая кислотность, наряду с компонентами обменной, включает и более слабые кислотные компоненты, которые способны к диссоциации и нейтрализации при взаимодействии со щелочными растворами. На данном отрезке времени гидролитическую кислотность, определяемую с помощью щелочных буферных растворов (рН 8,3), предлагается рассматривать как показатель общей потенциальной кислотности, характеризующей суммарное содержание всех кислотных компонентов [7].

Статистическая оценка различных видов кислотности подстилки болотных березняков представлена в таблице. Как следует из данных, наиболее благоприятные условия среды присущи сильно- и среднеразложившимся подстилкам, которые характеризуются кислой

реакцией (рН 5), более низкими значениями обменной и гидролитической кислотности по сравнению с сильнокислой средой (рН 4,0–4,6) и высокими показателями титруемой кислотности в корневищной, торфянистой, оторфованной и торфяной подстилках.

Таблица

Статистические характеристики различных видов кислотности подстилок болотных березняков по экологическому профилю ($n = 150$)

Статистические показатели	Расстояние от русла внутриболотной речки, м. Типы подстилок							Профиль в целом
	0-30	30-70	70-100	100-140	140-190	190-230	230-270	
	сильно-разложившаяся	средне-разложившаяся	корневищная	торфянистая		торфяная, оторфованная		
Общая потенциальная (гидролитическая) кислотность, ммоль(+)/100 г								
Среднее	91,11	91,40	95,41	118,40	138,30	149,89	151,88	119,78
s_x	1,11	1,42	1,81	1,40	3,01	3,45	1,51	2,17
Минимум	75,88	77,94	76,77	106,22	116,46	122,60	139,35	75,88
Максимум	104,00	99,19	108,22	132,00	150,52	165,34	174,28	174,28
Обменная кислотность, ммоль(+)/100 г								
Среднее	5,67	5,26	5,98	10,18	13,93	15,79	16,21	10,51
s_x	0,23	0,29	0,35	0,31	0,84	0,99	0,56	0,41
Минимум	3,96	3,75	4,13	7,25	9,82	11,67	11,46	3,75
Максимум	8,47	7,33	8,47	13,46	19,09	25,83	21,98	25,83
Актуальная кислотность (рН водный)								
Среднее	5,05	5,04	4,97	4,64	4,29	4,08	4,00	4,58
s_x	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0,04
Минимум	4,70	4,85	4,80	4,38	4,00	3,80	3,70	3,70
Максимум	5,50	5,25	5,30	4,87	4,55	4,30	4,25	5,50

Примечание. s_x – ошибка выборочной средней.

Все виды кислотности по мере удаления от русла внутриболотной речки последовательно нарастают. В границах звеньев (типов леса) экологического профиля актуальная и общая потенциальная кислотность подстилки характеризуются слабой вариабельностью $C_v=2-9\%$, обменная – средней $C_v=17-24\%$ (оценка согласно [8]). В пределах формации болотных березняков вариабельность кислотных свойств подстилки возрастает и достигает высокой $C_v=48\%$ в обменной кислотности. Все виды кислотности подстилки болотных березняков – актуальная, обменная и общая потенциальная тесно взаимосвязаны, что визуально хорошо демонстрируют графики, построенные в координатах исследуемых показателей (рис. А–В). С помощью парного регрессионного анализа установлены теснота и характер взаимосвязи, вычислены параметры зависимости одного вида кислотности от другой, что создаёт базу для расчёта любой кислотности, используя наблюдаемые показатели по одной из её видов.

В качестве независимого признака (предиктора) использовались значения актуальной кислотности (pH), как наиболее легко и быстро определяемого показателя.

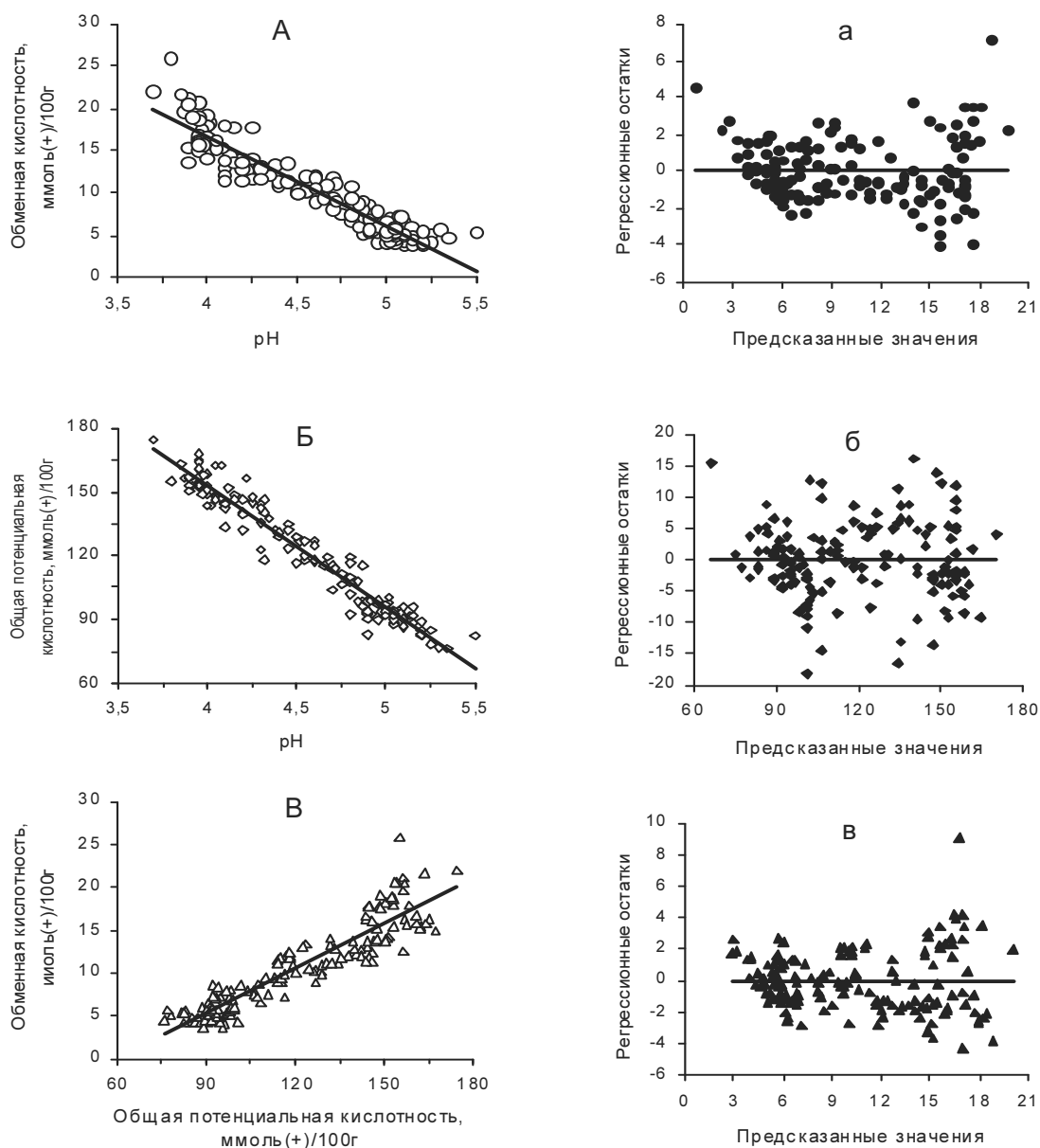


Рисунок. Парная регрессионная связь обменной (А), общей потенциальной (Б) кислотности с актуальной и обменной кислотности с общей потенциальной (В). Распределение регрессионных остатков относительно предсказанных значений кислотности (а–в) соответственно

Статистически значимая высокой тесноты отрицательная связь общей потенциальной кислотности с величиной pH по типу линейной функции ($y = a+bx$) аппроксимируется следующим регрессионным уравнением:

$$y = 383,8 - 57,7 x, \quad (1)$$

где y – показатели общей потенциальной кислотности подстилки, ммоль(+)/100 г; x – значение актуальной кислотности подстилки (pH).

Показателем степени подгонки модели служит статистически значимый индекс детерминации (R^2), который описывает корреляцию между предсказываемой переменной и предиктором: $R^2 = 0,95$, F -критерий = 2665, p -уровень < 0,001. Стандартная ошибка, то есть усредненное отклонение наблюдаемого значения от линии регрессии, составляет 6,13 ммоль(+)/100 г. Степень доверия к уравнению регрессии основывается на статистической значимости коэффициентов регрессии:

Константа (a): p -уровень < 0,001, $\pm 95\%$ доверительный интервал – 373,7–394.

Регрессионный коэффициент (b): p -уровень < 0,001, $\pm 95\%$ доверительный интервал (–55,49) – (–59,90).

Из уравнения (1) следует, что при возрастании на единицу показателя рН общая потенциальная кислотность снижается на величину в диапазоне от –55,49 до –59,90 ммоль(+)/100 г, согласно доверительному интервалу, и в среднем составляет 57,7 ммоль(+)/100 г (в пределах изменения рН 3,7–5,5).

Адекватность полученной модели, то есть насколько она соответствует исходным данным и насколько выполняются условия применения метода наименьших квадратов, оценивалась путём анализа регрессионных остатков. График взаимосвязи остатков (E_i) с предсказанными значениями показывает, что все величины E_i не коррелированы между собой, имеют идентичную дисперсию и не зависят от предсказанной величины (рис. а). Это означает: регрессия обладает устойчивостью по отношению к предположению о постоянстве дисперсии, что подтверждает адекватность выбора линейной модели и позволяет уверенно прогнозировать значения общей потенциальной кислотности по величине рН.

Связь обменной кислотности подстилки и величины рН аппроксимируется линейной статистической моделью следующего вида:

$$y = 58,8 - 10,6 x, \quad (2)$$

где y – показатели обменной кислотности подстилки, ммоль(+)/100 г; x – значение рН.

Показатели качества подгонки модели: $R^2 = 0,88$, $F = 1115$, p -уровень < 0,001. Стандартная ошибка – 1,73. Константа: p -уровень < 0,001, $\pm 95\%$ доверительный интервал 55,9–61,7. Регрессионный коэффициент: p -уровень < 0,001, $\pm 95\%$ доверительный интервал (–9,9) – (–11,2). О достаточной адекватности модели свидетельствует график регрессионных остатков (рис. б). Из уравнения следует: при возрастании на единицу показателя рН обменная кислотность снижается на величину в диапазоне от –9,9 до –11,2 ммоль(+)/100 г и в среднем составляет 10,6 ммоль(+)/100 г (в пределах рН 3,7–5,5).

Связь обменной и общей потенциальной кислотности подстилки аппроксимируется линейной статистической моделью следующего вида:

$$y = -10,4 + 0,17 x, \quad (3)$$

где y – показатели обменной кислотности подстилки, ммоль(+)/100 г; x – показатели общей потенциальной кислотности, ммоль(+)/100 г.

Показатели качества подгонки модели: $R^2 = 0,85$, $F = 831$, p -уровень $< 0,001$. Стандартная ошибка – 1,97. Константа: p -уровень $< 0,001$, $\pm 95\%$ доверительный интервал (–8,9) – (–11,9). Регрессионный коэффициент: p -уровень $< 0,001$, $\pm 95\%$ доверительный интервал 0,16–0,19. О достаточной адекватности модели свидетельствует график регрессионных остатков (рис. в). Из уравнения следует: при возрастании на единицу показателя общей потенциальной кислотности величина обменной повышается в диапазоне от 0,16 до 0,19 ммоль(+)/100 г и в среднем составляет 0,17 ммоль(+)/100 г (в пределах общей потенциальной кислотности 174,3–75,9 ммоль(+)/100 г).

Заключение. Построены значимые высокой тесноты линейные статистические модели взаимосвязи актуальной, обменной и общей потенциальной (гидролитической) кислотности подстилки. Доказана адекватность полученных моделей, что позволяет уверенно прогнозировать значения различных видов кислотности подстилки болотных березняков по величине рН как наиболее легко определяемого показателя.

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 69.

Список литературы

1. Сапожников А.П. Лесная подстилка – номенклатура, классификация и индексация // Почвоведение. – 1984. – № 5. – С. 96–105.
2. Богатырев Л.Г. О некоторых теоретических аспектах исследования лесных подстилок // Лесоведение. – 2004. №4. – С. 17–29.
3. Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 264 с.
4. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
5. Орлов Д.С. Химия почв. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 576 с.
6. Орлов Д.С. Дискуссионные проблемы современной химии почв // Почвоведение. – 2001. – № 3. – С. 375–382.
7. Воробьева Л.А. Потенциальная кислотность. Понятия и показатели // Почвоведение. – 2006. – №4. – С. 421–431.
8. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.

ACIDITY OF BOG BIRCH FOREST LITTER

T.T. Efremova, A.F. Avrova, S.P. Efremov

Potential, exchangeable, and actual acidity in bog birch forest succession were studied. Statistical description of acid properties was given to morphogenetic types of litter. High significant models were obtained, which allow to confidently predict by pH size the values of potential, exchangeable, and actual acidity.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖАХ РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА (К 15-тию ЛАБОРАТОРИИ АГРОЭКОЛОГИИ)

Л.И. Инишева

Томский государственный педагогический университет, г. Томск
E-mail: inisheva@mail.ru

В работе представлены результаты работы лаборатории агроэкологии ТГПУ за последние 5 лет. Обосновываются перспективы будущих исследований.

Лаборатория агроэкологии ТГПУ была организована в 1997 с целью развития направления по рациональному использованию торфяных ресурсов. Важно напомнить, что впервые исследованиями по торфу в Томской области занялись именно сотрудники педагогического университета. В 1961 году на кафедре ботаники под руководством Георгия Николаевича Блинкова были начаты опыты по использованию торфа в сельском хозяйстве. Об этом периоде подробно рассказано в материалах шестой научной школы «Болота и биосфера» [1]. В этом сообщении рассмотрим проведенную лабораторией работу только за последний пятилетний период (с 2008 года), а желающих оценить работу лаборатории за предыдущие 10 лет отправим к вышеупомянутой статье.

Направление работ лаборатории с 2008 по настоящее время в целом можно определить как исследование биогеохимических процессов в торфяных залежах разного генезиса и эмиссии парниковых газов. Задачи исследований: расширить работы за счет организации новых стационаров; изучить гидротермический, окислительно-восстановительный и водный режимы торфяных болот; оценить роль болотных экосистем в биогеохимических циклах элементов; разработать научные основы мониторинга болотных экосистем.

За этот период на территории Сибири было организовано дополнительно к стационару «Васюганье» в Бакчарском районе Томской области еще 2 болотных стационара: «Таган» в Томском районе и на Горном Алтае); 6 пунктов наблюдений (рисунок). По стационарам опубликована работа сотрудников лаборатории [2].

Если по стационару «Таган» изыскательский и научный материал [3] имелся, то исследований по торфяным ресурсам на территории Горного Алтая было очень немного. Следует отметить, что природа Горного Алтая пользуется особым вниманием. Это курортная зона России и поэтому на территории Республики Алтай много заповедных зон. Но что касается болот, они на этой территории практически не изучены. Их не так много по сравнению с остальной территорией Сибири и поэтому требуют особого к себе отношения.

С целью выявления торфяных болот и получения представления о физико-химических свойствах торфов Горного Алтая нами были на протяжении 2007–2011 гг. проведены экспедиционные работы на 47 болотах и заболоченностях Республики Алтай (Турочакский, Шебалинский, Усть-Канский, Усть-Коксинский и Онгудайский районы). Вместе с нами в

работе принимали участие ученые и студенты Горно-Алтайского университета и НИИ сельского хозяйства СО РАСХН.

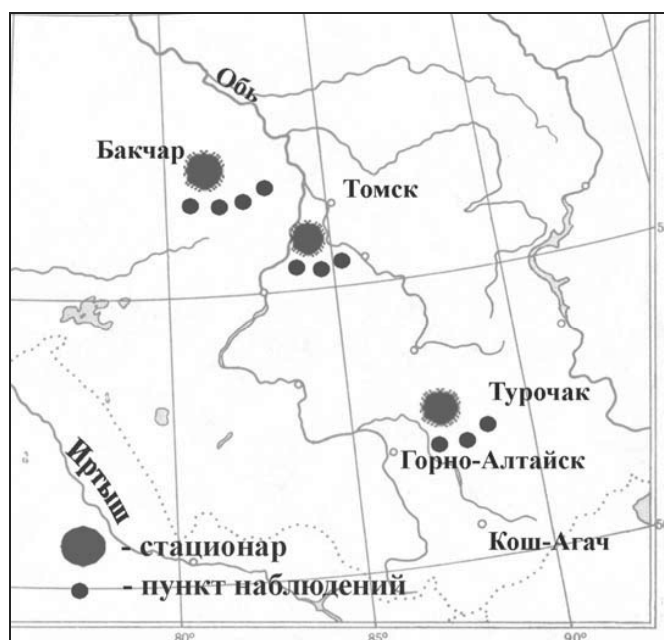


Рисунок. Болотные стационары и опорные пункты мониторинга режимов болот в южно-таежной подзоне Западной Сибири и в Республике Алтай

На территории Республики Алтай нами были проведены комплексные исследования болот. Одновременно с описанием условий торфообразования проводились гидрологические работы, определялись температура и окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), осуществлялся отбор образцов торфов для проведения физико-химического анализа. Особо следует отметить, что состав и внешний вид растительности на горноалтайских болотах существенно отличается от растительности западносибирских болот, соответственно, это сказывается и на процессе торфообразования.

Мощность торфяных залежей в зависимости от территории изменяется от 20 см до 7–8 м. Болота различаются между собой по способу образования и причинам развития болотообразовательного процесса, а также по характеру растительности, отражающей своим составом специфические условия горного пояса. Абсолютное большинство болотных массивов Горного Алтая относится к типу низинных болот, характеризующихся грунтовым питанием, но имеются и переходные болота. С помощью радиоуглеродного метода был определен возраст болот, который составил от 500 до 7060 ± 90 лет. На трех репрезентативных болотах были оборудованы пункты стационарных наблюдений. Мы всегда должны иметь в виду, говоря о динамике процессов в экосистеме, отдельные режимы, слагающие эти процессы. При этом ограничиваться в характеристике этих режимов

одним вегетационным периодом нельзя. Это достигается на основе устройства стационарной сети и маршрутных исследований на объектах-аналогах. Таким исследованиям большое внимание уделял А. А. Роде.

Только методом стационарных исследований возможно познание процессов торфообразования. Надо полагать, что совершенно справедливо ученые считают, что научные стационары должны рассматриваться как национальное богатство страны.

С 2009 года были начаты исследования режимов болот. Комплекс стационарных работ охватывает изучение гидротермического, окислительно-восстановительного, химического, биохимического, гидрохимического, газового режимов и эмиссии парниковых газов.

Непростая работа на стационарах начинается поздней зимой, когда проводится снегомерная съемка на пунктах наблюдений с целью оценки влияния влагозапасов в снеге на формирование водного режима болот. Уже в начале мая до глубины 3 м закладываются датчики газового режима, и начинается ритмичная работа на стационарах: замеры уровней болотных вод, температуры, окислительно-восстановительного потенциала, отбор образцов на влажность, химический анализ элементов, микрофлоры, энзимов и обязательное исследование состава болотной воды. В 2011 г. на 2-х пунктах были поставлены испарители ГГИ-500-50 для изучения испарения с болот и АБИ для автоматической регистрации температуры.

Научная работа. Остановимся на наиболее важных научных результатах. Подробное изложение по каждому направлению работ сотрудники лаборатории представят в своих докладах.

В результате длительных экспедиционных и стационарных исследований были уточнены генетико-эволюционные и субстантивно-функциональные особенности торфяных болот разного генезиса. Так была обоснована особенность торфяной залежи (почвы) как субаквальной генетически инситной системы по В. О. Таргульяну [4].

Минеральный субстрат составляет биолитосферный этаж, сформированный в условиях длительного или постоянного переувлажнения под влаголюбивой растительностью, верхняя часть которого, как правило, оглеена и служит почвообразующей породой для нарастающих вверх растений-торфообразователей с образовавшейся уже зоной функционирования (зона, охваченная потоками вещества и энергии). И результатом функционирования является торф. Таким образом, свойства торфяных залежей (торфяных почв) определяются, прежде всего, ботаническим составом и степенью разложения торфа, а профиль торфяных почв делится на горизонты, мощность которых определяется однородностью ботанического состава. Органическая и минеральная часть торфяных почв –

субстантивно-функциональная система, представляющая собой генетически единый почвенный профиль с фиксированной в нем историей их развития. Верхний (деятельный) слой профиля торфяных почв правильнее рассматривать как фрагмент торфяного профиля современной стадии почвообразования.

Экспедиционные исследования в Горном Алтае дали возможность получить новые знания хода развития, динамики и эволюции болотообразовательного процесса горных болот. Впервые проведены комплексные исследования горных болот, что позволило получить сведения о видах торфа и строении торфяных залежей; было разработано генетико-экологическое обоснование распределения болотных опорных пунктов на территории Горного Алтая, определена стратиграфия торфяных отложений, зонально-подзональные варианты строения торфяных отложений. Сформулированы пространственно-временные закономерности их развития как теоретическая основа для разработки направлений рационального использования торфяных ресурсов и критериев охраны болотных систем.

В основе рационального природопользования на болотных экосистемах, и сообразно со средообразующей функцией болот, находится состояние водного баланса заболоченной территории. Углубленное изучение водно-физических свойств, гидротермического режима и уровней болотных вод является основой для объяснения биохимических процессов в торфяных залежах разного генезиса. Такие исследования проводятся в обязательном порядке на всех опорных пунктах стационаров. В настоящее время это является диссертационной темой аспиранта О.Н. Смирнова.

Изучению биохимических процессов в торфяных залежах болот разного генезиса сотрудниками лаборатории уделяется много внимания. Одновременно с уже известными методами изучения микрофлоры торфяных болот (функциональные группы микроорганизмов) успешно внедряются и новые. В процессе стажировок были освоены методы изучения биологической активности. Проведены полнопрофильные биохимические исследования торфяных болот Сибири; с применением кластерно-аналитического метода исследованы закономерности распределения отдельных групп микроорганизмов в торфяных залежах; выявлены связи между свойствами, режимами болот и активностью биохимических процессов. В этом направлении мы активно работали с коллегами из МГУ Т.Г. Добровольской, А.В. Головченко и их аспирантами. Эти исследования проводит к.б.н. М.А. Сергеева со своими студентами.

Энзимологическую составляющую торфяных залежей исследуют Е.В. Порохина с магистрантом В.А. Блиновой и студентами. Прежними работами было выяснено, что активность ферментов является даже более устойчивым и чувствительным показателем

биологической активности торфяных болот, чем активность микробиологических процессов. Трансформация органического вещества, мобилизация макро- и микроэлементов в торфяных болотах осуществляются с помощью ферментов, выделенных как живыми организмами, так и находящимися в торфе в адсорбированном состоянии, поэтому ферментативная активность дает полное представление о биологическом состоянии торфяных залежей.

Большая работа проведена лабораторией по изучению закономерностей содержания, распределения и динамики соединений азота, фосфора, калия и железа в торфяных залежах. Поставленные задачи нашли свое выражение в оценке содержания химических элементов в западносибирских торфах, закономерностей их распределения и накопления. Впервые были проведены исследования по влиянию условий торфогенеза на динамику подвижных химических элементов. Большой удачей стало обнаружение наличия на месторождении Таган вивианитовых торфов. Последние исследования с такими торфами были проведены в 80-х годах новосибирскими исследователями Г.П. Гамзиковым и А. Мармулевым. Этот большой раздел исследований ведет к.х.н. О.А. Голубина.

За отчетный период много внимания было уделено исследованию углеродного баланса болот. Следует отметить, что в 2009 году был получен госконтракт (№ 02.740.11.0325) Федерального агентства по науке и инновациям по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы. Это помогло нам существенно укрепить материально-техническую базу: приобрести хроматограф и другие приборы, также машину для полевых работ. Для выполнения этой темы был создан научно-образовательный центр (НОЦ), в который мы вовлекли многих специалистов из разных институтов Томска и других городов. Это был наш первый опыт работать комплексно и большим коллективом.

В процессе исследований мы многому научились у своих коллег. Прежде всего, был приобретен ценный опыт по работе с камерами для определения эмиссии парниковых газов. Много хлопот доставило освоение хроматографа, в особенности с закисью азота. И здесь мы благодарны Н.Д. Ананьевой (Пушино), В. Савельеву (ИХН СО РАН), которые помогали, чем могли. Результатом явилось появление своего специалиста с сертификатом – аспиранта О.Н. Смирнова.

В процессе стационарных исследований получены новые количественные параметры депонирования и эмиссии углерода, а также динамики биохимических процессов образования CO_2 и CH_4 в болотных экосистемах разного генезиса и определены особенности их образования в разные по метеорологическим условиям годы; оценены характерные величины потока метана и диоксида углерода для типичных элементов болотных комплексов во всех природных зонах Западной Сибири; разработана база данных по эмиссии

парниковых газов; составлена карта распределения парниковых газов по территории Сибири; определен баланс углерода и доказано прогрессирующее заболачивание в пределах таежной зоны Западной Сибири. В этом направлении работает небольшая квалифицированная группа под руководством к.б.н. М.А. Сергеевой. Исследования по этому направлению были поддержаны грантом Президента «Ведущие научные школы России» (НШ 3938.2008.5).

В комплекс работ по углеродному балансу входит изучение химического состава болотных вод. Особый интерес представляют гуминовые и фульвовые кислоты. Отбор образцов проводится не только на болотах, но и в болотных речках и снеге. В этом направлении активно работают наши сотрудники Н.А. Шинкеева и аспирант М.А. Вершинин.

Исследования проводятся совместно с учеными Центра сельскохозяйственных и лесных исследований Польской академии наук (Познань), МГУ, НИИ РАН и РАСХН, привлекаются студенты всех вузов Томска.

За отчетный период опубликовано более 100 работ, в том числе коллективная монография [2]. Вышло научное издание альбома «Болота Горного Алтая – охрана и рациональное использование». К международному конгрессу по торфу опубликована монография [5].

Учебный процесс. До настоящего времени профессиональная подготовка специалистов торфяной отрасли проводилась только в Тверском государственном техническом университете по направлению – горное дело. Специалистов торфяного направления в сибирских высших учебных заведениях никогда не готовили.

Вместе с тем, Западная Сибирь, в которой сосредоточено 30 % мировых запасов торфа, нуждается в квалифицированных специалистах, владеющих знаниями в области болотообразования, геологии и разведки торфяных месторождений, физико-химических свойств болотных образований, мелиорации и рационального использования торфяных болот, технологии добычи и переработки торфа и сапропеля.

В 2008 году в Томском государственном педагогическом университете была открыта специализация «Торфяные ресурсы и торфопользование». Только за период 2008–2011 гг. было издано 9 пособий: Б. С. Маслов, «Гидрология торфяных болот», 2008; М.В.Глаголев, «Роль болот в круговороте CO₂ и CH₄», 2010; Т. Г. Добровольская, А. В. Головченко, Л. В. Лысак, Г.М. Зенова «Методы оценки численности и разнообразия бактериальных и актиномицетных комплексов торфяных почв», 2010; М.В.Глаголев, А.Ф. Сабреков, В.С. Казанцев «Методы измерения газообмена на границе почва-атмосфера», 2010; Г.А. Ступакова, Л.И. Инишева, Е.Н. Ефремов, Г.Е. Мерзлая, Е.Э. Игнатьева «Методика

изготовления и аттестации стандартного образца состава низинного торфа», 2010; Л.И. Инишева, О.А. Голубина «Проведение полевых работ на болотных стационарах», 2011; О.А. Голубина «Использование торфа в сельском хозяйстве», 2011; Р.Т. Тухватулин, Л.И. Инишева, М.В. Гостищева «Оценка биологической активности гуминовых кислот (по изменению показателей обратимой агрегации эритроцитов крови), 2011; Л.И. Инишева, О.Н. Смирнов, Е.В. Порохина, Д.Н. Инишева, М.А.Сергеева «Торфяные болота Западной Сибири – их роль в биосфере», 2011. Мы очень благодарны своим московским коллегам за активное участие в учебном процессе.

В настоящее время в лаборатории агроэкологии ТГПУ для успешной работы и учебы имеются все условия: аккредитованная химическая и микробиологическая лаборатории; мелиоративно-болотные стационары; картографический материал; библиотека по торфяной тематике, составленная на основе книг, подаренных лаборатории профессором ТГУ Т.П. Славниной и профессором ТПУ С.И. Смольяниновым; компьютерный и учебный классы.

В 2010 г. лаборатория агроэкологии прошла повторную аккредитацию в «Системе аккредитации аналитических лабораторий (центров)» и внесена в ГОСРЕЕСТР аккредитованных лабораторий (№ РОСС RU.0001.516054). Область аккредитации: анализ почв, грунтов, торфов, воды и продукции переработки торфа, агроэкологический мониторинг торфяных месторождений и болотных экосистем.

Просветительская деятельность. С 2002 г. ежегодно на базе ТГПУ проводится Школа молодых ученых «Болота и биосфера». В 2010 г. была проведена седьмая всероссийская школа с международным участием, посвященная вопросам функционирования болотных экосистем, физико-химическим и биологическим свойствам болотных образований, биогеохимическому круговороту веществ. Проведение Школы было поддержано грантом РФФИ 10-05-060559.

В 2008 году было выпущено 2 тематических (торфяное направление) номера журнала «Вестник ТГПУ», в котором удалось опубликовать до 30 статей наших коллег.

В 2010 г. организован музей торфа при ТГПУ, открытие которого состоялось 13 сентября. Все это легло на плечи сотрудников лаборатории, и они справились с этой задачей. Много вложили труда в становлении музея О.А. Голубина, А.Г. Мясникова.

Чтобы быть в курсе всех работ по торфу, проводимых в Москве, участвовать во всех мероприятиях и знакомиться с новыми технологиями по переработке торфа, ТГПУ вошел в состав членов НП «Торфяное общество РФ», созданного по инициативе Комитета Государственной Думы по энергетике Российского союза промышленников и предпринимателей, Торговой промышленной палаты РФ. Это позволило принять участие в подготовке рекомендаций по внесению изменений по совершенствованию законодательства

и нормативной правовой базы развития торфяной промышленности. В настоящее время с нашим участием осуществляется подготовительная работа по разработке Стратегии использования торфяных месторождений России.

Перспективы дальнейших исследований. Нам представляется, что в ближайшие 5 лет мы продолжим заниматься динамикой биогеохимических процессов в торфяных залежах разного генезиса в стационарных условиях и в лабораторных экспериментах. Но наряду с микробиологическими методами биологическое состояние торфяных болот может быть оценено с помощью определения активности ферментов.

Выяснено, что активность ферментов является даже более устойчивым и чувствительным показателем биологической активности, чем интенсивность микробиологических процессов. Трансформация органических веществ, мобилизация элементов питания в торфяных залежах осуществляются с помощью ферментов, как выделяемых в данный момент живыми организмами, так и находящихся в адсорбированном состоянии, поэтому определение активности ферментов даёт полное представление о биологическом состоянии болот.

Многие авторы, основываясь на многочисленных работах, рассматривают активность ферментов как интегральное выражение биологических и физико-химических факторов и считают возможным учитывать этот фактор при изучении эволюции торфяных болот. Этому направлению мы полагаем придать в будущем «второе дыхание», так как исследование ферментативной активности болот в процессе их торфогенеза позволит выйти на энзимодиагностику их функционирования.

Использование ферментативного метода биологической диагностики предопределено также тем, что определение ферментативности ферментов менее трудоёмкое и имеет большую точность: для гидролаз – до 3–5 %, оксидоредуктаз – 7–10 %. Ко всему прочему, эти методы достаточно устойчивые и чувствительные.

Для познания прошлого и современного этапа торфогенеза весьма актуальным будет детальное исследование ферментативной активности стратиграфии торфяного профиля, каждый слой которого характеризуется сочетанием определённого химического состава субстрата и активностью ферментов.

И, наконец, кинетический подход, состоящий в количественном описании протекания метаболической реакции на основе молекулярных представлений и законов химической кинетики, является перспективным также и для изучения ферментативной активности торфов и торфяных залежей. Ранее проведённые исследования кинетики ферментативных процессов почв [6] позволяют утверждать о реальности применения этого метода для характеристики активности энзимологических процессов.

Надо полагать, будут продолжены исследования и по изучению круговорота углерода в торфяных болотах. Сочетая это направление с другими исследованиями, можно будет выйти на моделирование природных процессов, в частности процесса трансформации органического вещества в торфяных залежах и прогноз эмиссии парниковых газов.

Наши планы могут состояться, если будет возможность объединения усилий сотрудников нашей лаборатории, других ученых и их молодых коллег!

Список литературы

1. Инишева Л.И. Проблемы рационального использования торфяных ресурсов (Результаты исследований Проблемной лаборатории агроэкологии за 10 лет работы) // Болота и биосфера: матер. 6-ой научной Школы (10–14 сент. 2007 г., Томск). – Томск: Изд-во ТГПУ, 2007. – 212 с.
2. Болотные стационары Томского государственного педагогического университета / Л.И. Инишева, В.Ю. Виноградов, О.А. Голубина, Ларина Г.В., Порохина Е.В., Шинкеева Н.А., Шурова М.В. – Томск: Изд-во ТГПУ, 2010. – 148 с.
3. Инишева Л.И., Аристархова В.Е., Порохина Е.В., Боровкова А.Ф. Выработанные торфяные месторождения, их характеристика и функционирование. – Томск: Изд-во ТГПУ, 2007. – 225 с.
4. Таргульян В. О. Специфика почвы как поверхностно-планетарной оболочки биосферной планеты // Экология и почвы. Избранные лекции VIII–IX Всероссийских школ (1998–1999 гг.). – М.: Полтекс, 1999. – 312 с.
5. Inisheva L.I., Zemtsov A.A., Novikov S.M. Vasyugan Mire (Natural Conditions, Structure and Functioning). – Tomsk: Tomsk State Pedagogical University Press, 2011. – 162 p.
6. Алиев С.А. Экология и энергетика биохимических процессов превращения органического вещества почвы. – Баку: ЭЛМ, 1978. – 252 с.

INVESTIGATION OF BIOGEOCHEMISTRY PROCESSES IN PEAT DEPOSIT OF DIFFERENT GENESIS (TO 15-years OF LABORATORY “AGROECOLOGY”)

L.I. Inisheva

In 2012 is performed 15 years of the laboratory "Agroecology" TGPU. Results of the research are presented for the last 5 years. The prospect of the future studies is Motivated.

СОВРЕМЕННОЕ ЗАБОЛАЧИВАНИЕ И СКОРОСТЬ АККУМУЛЯЦИИ УГЛЕРОДА В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ РОССИИ

К.И. Кобак^{*}, Л. И. Инишева^{**}, И.Е. Турчинович^{*}

^{*} Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург

^{**} Томский государственный педагогический университет, г. Томск,

E-mail: inisheva@mail.ru

Проанализированы скорость аккумуляции углерода в болотных экосистемах России. Определены современные скорости аккумуляции углерода и линейного прироста торфа некоторых типов болот России по модели Климo в модификации И. Турчинович. Отмечено, что процесс заболачивания становился более активным.

Введение. Начиная с позднего плейстоцена, для которого концентрация углекислого газа в атмосфере известна на основании результатов анализов пузырьков воздуха из антарктических и гренландских ледяных кернов (200 ppmv), содержание CO₂ увеличивалось. За последние 17–18 тыс. лет атмосфера аккумулировала не менее 170 миллиардов тонн углерода (C) и средняя скорость аккумуляции составляла 20–30 миллионов тонн C/год (Sundquist, 1993).

Пул органического углерода увеличился с 625 миллиардов тонн (Гт) углерода (существовавший 18000 лет назад) до 2100 Гт C в настоящее время (Ковак et al., 1988). В увеличении почвенного пула C, несомненно, оказалась велика роль развития болот и накопления в них торфа.

По современным оценкам мировые запасы аккумулированного в болотах (на площади 6,41 млн км²) углерода составляет от 329 до 528 Гт C (Инишева, Головацкая, 2002). В России общая площадь оторфованных и заболоченных земель – 3,691 млн км², или 21 % территории страны, и содержание углерода в них – 100,93 Гт (Вомперский и др., 1999).). Согласно другим оценкам, только болота (в границах нулевой залежи) занимают площадь 1,68 млн км² (Новиков, Усова, 2000). По запасам торфа Россия занимает первое место в мире. Ежегодно в мире заболачивается около 66000 га земли (Инишева, 2010).

Как ни парадоксально, но о скорости накопления торфа и углерода и темпах заболачивания в раннем голоцене (разные временные интервалы) мы имеем более полные представления, чем об уровне болотообразовательного процесса за последние 100 лет. Результаты анализа имеющихся данных свидетельствуют о том, что существуют диаметрально противоположные точки зрения на проблему современной трансгрессии болот и интенсивности аккумуляции в них торфа и углерода (Кузьмин, 1993).

Трансгрессия болот и накопление торфа в голоцене. По оценке М.И. Нейштадта (1984), средняя скорость заболачивания за весь голоцен составляла на территории России 15000 га/ год, по нашим оценкам (Кобак et al., 1998), – 18000 га/год. Совершенно очевидно, что скорость трансгрессии болот так же, как и их вертикальный рост, не были одинаковыми

в разных районах и в разные временные отрезки голоцена. Так, в Карелии на основе большого фактического материала удалось реконструировать основные этапы развития болот, изменения их типов и растительности (Елина и др., 1984). Начавшийся в бореале болотообразовательный процесс активизировался в атлантическое время. Позднее в суббореале сильное похолодание с одновременным снижением количества осадков привело к уменьшению горизонтального роста болот и прироста торфа. Средняя скорость заболачивания за голоцен оценивается авторами как 400 га/год, колебания составляли от 150 до 755 га/год. Наиболее интенсивное болотообразование отмечено 7000–5000 лет В.Р., когда сформировалось более 40 % болотных массивов современной территории Карелии (3,63 млн га), и скорость заболачивания составляла 670–755 га/год. В суббореальное время (4900–4000 лет В.Р.) число и площади вновь образующихся болот было минимальным – 150 га/год и близко к интенсивности болотообразования в последнем тысячелетии (130 га/год). После суббореального минимума 4000–3000 лет В.Р. произошел некоторый подъем и последовал новый спад. После 2000 лет В.Р. процесс болотообразования вновь активизировался.

Нетто-аккумуляция углерода в болотах Карелии, по нашим расчетам, уменьшалась в течение голоцена от 34,5 гС/м² год (бореальное время) до 9–10 гС/м² год (в субатлантике). В атлантическое время она составляла 27 гС/м² год, а в суббореале – 17 гС/м² год (Кобак et al., 1998). Такой же характер процесса заболачивания и торфонакопления наблюдался и на северо-западе европейской части России. Изучение трансгрессии верховых болот свидетельствует о том, что с XVIII столетия скорость наступления болот на суходолы возрастала, достигая к началу 90-х годов XX столетия 44,6 см/год, а на некоторых болотных массивах – 166,3 см/год (Кузьмин, 1993). Нетто-аккумуляция углерода олиготрофными болотами северо-запада, по нашей оценке, составляла 45 гС/м² год (в бореале и атлантике), 43 гС/м² год в суббореале и 18 гС/м² год в субатлантическое время (Ковак et al., 1988).

Исследования на территории Западной Сибири показывают, что начало активного болотообразовательного процесса относится к предбореальному времени. Оно было обусловлено окончанием Сартанского оледенения и потеплением климата, но протекало на незначительных территориях и лишь в хорошо выраженных микропонижениях. В бореале процесс торфообразования активизировался, а в атлантике (особенно второй половине атлантического периода) наступление болот на суходолы шло со скоростью 40–60 см/год (Гаджиев, Смоленцев, 2000). За 4000–5500 лет (от бореала до суббореала) сформировалась большая часть болотных массивов Западной Сибири. В северной тайге, тундре и лесотундре скорость торфонакопления в бореале была максимальной за весь голоцен, достигая 1,4–1,6 мм/год, что в два раза превышало интенсивность накопления торфа в северных экосистемах Европейской части России (Васильев, 2000).

В суббореальное время в связи с похолоданием и увеличением сухости климата темпы трансгрессии болот на суходолы снизились до 5–10 см/год, а скорость торфонакопления уменьшилась до 0,4 мм/год. Происходила консервация погребенных под слоем торфа подзолов во вновь развивающейся мерзлоте. Последние 2,5 тысячелетия характеризуются самыми низкими темпами роста болот (4 см/год), а интенсивность торфонакопления в северной тайге не превышает 0,2 мм/год (Гаджиев, Смоленцев, 2000, Васильев, 2000).

Похожие результаты были получены и при исследованиях болотных массивов таежной зоны Западно-Сибирской низменности (междуречье Оби и Васюгана, 59°23' с.ш., 76°54' в.д.). По мере роста торфяной залежи, начиная с предбореального времени (около 9500 лет Р.В.), скорость ее нарастания постоянно уменьшалась. Наиболее интенсивным накопление торфа было на границе предбореала и бореала, когда средний прирост составлял 2,04 мм/год (предбореал)–0,86 мм/год (бореал). Аккумуляция углерода в торфе была максимальной в предбореале (137 гС/м² год) и достаточно высокой (45,5 гС/м²год) в бореальное время (Глебов и др., 2000). Современный (субатлантика) прирост торфа этих болот составляет 0,3 мм/год, а аккумуляция углерода – 11,2 гС/м²год. Авторы приходят к выводу о явном замедлении процесса торфонакопления и (основываясь на результатах моделирования) его возможном прекращении через 1000 лет (или ранее), когда уменьшающаяся скорость прироста составит 0,15 мм/год, что ниже минимального прироста, отмеченного в суббореальное время (0,21 мм/год).

Анализ скорости торфонакопления Северной Евразии в зональном аспекте за голоцен свидетельствует о том, что, несмотря на различия, в историях болотообразовательного процесса Европы и Западной Сибири прослеживается ряд общих черт. Прежде всего, для северных торфяников как Европы, так и Западной Сибири начало голоцена (предбореальное и бореальное время) характеризуется высокими темпами торфонакопления – до 1,4–1,6 мм/год в Западной Сибири и 0,8 мм/год на европейском севере. В Западной Сибири заболачиванием была охвачена в основном северная часть, а на юге существовали лишь немногочисленные торфяники (Лисс и др. 2001). Новосанчуговское похолодание и – после короткого потепления – последовавший ряд новых похолоданий привели к тому, что в период 7000–6000 лет В.Р. на севере наблюдался локальный минимум торфонакопления. В это же время в южных районах – южно-таежной подзоне и лесостепи – установлены локальные максимумы торфообразования как в Европе, так и в Западной Сибири.

Климатический оптимум голоцена на севере характеризовался максимальным потеплением и увеличением влажности климата, обусловившим возрастание интенсивности торфонакопления в болотах лесотундры и северной тайги. В этот период отмечена

вероятность полной деградации мерзлоты на севере. Есть основания полагать, что именно тогда сформировалась основная площадь современных болотных массивов севера (Васильев, 2000). Похолодание, начавшееся 4,5 тыс. лет назад, обусловило уменьшение скорости торфонакопления в северных регионах европейской части и Западной Сибири. В Западной Сибири 3500 лет назад эта скорость снизилась до 0,1–0,2 мм/год и далее слабо варьировала до наших дней. В это время происходило промерзание торфяников и, несмотря на последовавшие потепления климата, мерзлота, находившаяся в термоизолирующем слое торфа, не протаивала. Лишайниковые сообщества тундрового типа, сформировавшиеся на поверхности торфяников, распространились до 61° с.ш. Небольшие потепления обуславливали протаивание мочажин и формированию бугристых комплексов в центральных частях болотных массивов, а также трансгрессии торфяников на прилежащие суходолы. По периферии болотных массивов возникали грядово-мочажинные болота, которые в течение последних 3000 лет остаются частично промерзшими. В целом в северных регионах наблюдалась в голоцене сходная тенденция уменьшения скорости торфонакопления от бореала до субатлантики. Интенсивность торфонакопления в Западной Сибири была значительно выше, чем на европейском севере, особенно в ранние временные отрезки голоцена (9000–7000 лет В.Р.).

В среднетаежной зоне Европы и Западной Сибири вариации скорости торфонакопления находились в противофазе (Васильев, 2000). Максимальные скорости (до 1,1 мм/год в Западной Сибири и 1,4 мм/год в Европе) зафиксированы в бореальное время, но на более поздних этапах максимумы и минимумы скорости чаще всего не совпадают. Абсолютные значения скорости, как правило, заметно выше в болотах европейской части. Однако, изучение процессов накопления углерода в торфяных залежах Васюганского болота (торфяная колонка «Водораздел», расположенная в средней тайге центральной части Обь-Иртышского междуречья) показало, что средняя многолетняя аккумуляция углерода составляла 30–40 гС/м² год (Пологова, Лапшина, 2002). Вертикальный прирост колебался в залежах верхового типа от 0,60 до 2,62 мм/год (табл.1), что выше средних значений для Западной Сибири и значительно выше обычно приводимых значений для европейской средней и южной тайги (Вомперский и др., 1999). В бореальный период (9000–8000 лет назад) в условиях постепенного потепления климата на исследованной территории Васюганского болота установлен пик аккумуляции углерода – 70 гС/м² год при величине прироста 1,79 мм/год. Столь большие различия в уровне аккумуляции углерода в болотах средней тайги Европы и Азии могут быть объяснены особенностями сибирского климата.

В лесостепной зоне и подзоне южной тайги Западной Сибири климатический оптимум голоцена сопровождался аридизацией климата (Хотинский, 1977), что привело к снижению

скорости торфонакопления. В торфяниках Европы это не зафиксировано. Однако, за время, начавшееся более 4000 лет назад (4000 В.Р.) в лесостепной зоне скорость торфонакопления синхронно возрастала в торфяных болотах и Европы и Азии. 3700–3500 лет В.Р. в этой зоне фиксируется развитие олиготрофных торфяников, чему могло способствовать только увеличение влажности климата. Избыток атмосферной влаги создавал олиготрофные условия прежде всего в центральной части, оттесняя к краю болотного массива грунтовые воды.

Таблица 1

Вертикальный прирост торфа и накопление углерода в голоцене (средние за голоцен значения) в некоторых болотных массивах России

Район исследования	Вертикальный прирост торфа, мм/год	Накопление углерода, г/м ² год	Автор
Западная Сибирь (среднее для лесной зоны)	0,62	36,5	Лапшина, 2004
Южная тайга и подтайга	0,74–0,80	41,0 (24,9–56,7)	Лапшина, 2004
Лесные болота (согры)	0,36		Гидрология..., 2009
Выпуклые верховые	1,13 0,24		Лапшина, 2004; Новиков, Батуев, 2010
Средняя тайга	0,56	24,8 (15,4–43,9)	Лапшина, 2004
Центры крупных верховых болот.	0,35–0,40		Гидрология ..., 2009
Васюганское болото (верховые)	0,6–2,62	30–40	Пологова, Лапшина, 2002
Северная тайга	0,39 (0,1–0,78)	11,4 (7,1–15,4)	Лапшина, 2004
Плоскобугристые микроландшафты	0,20 0,22		Лапшина, 2004 Гидрология..., 2009
крупнобугристые тундра	0,39 0,15–0,24		Гидрология..., 2009 Новиков и др., 1999;
Полигональные	0,05		Новиков, Батуев, 2010
Европейская территория России Карелия	0,85		Вомперский и др. 1999
Южная тайга ЕТР	0,55		Вомперский и др., 1999
Северо-Запад (среднее за 9500 лет)	0,59		Кузьмин, 1993
Никольско-Лютинская болотная система: среднее, генетические центры, полосы слияния.		11,8–35,8 13,4–40,9 10–24,6	Кузьмин, 1993
Ширинская болотная система (ген. центры)		9,0–29,0	

Торфонакопление в южной тайге и лесостепи очень четко реагировало на серию похолоданий субатлантического периода (2000–1700 лет В.Р., 1500–1400 лет В.Р., 700–600 лет В.Р.), увеличиваясь в отдельных торфяниках до 1,5–2 мм/год. (Васильев, 2000). Накопленные данные позволяют сделать вывод, что в течение голоцена скорость

торфообразования в южных районах Сибири и Европы возрастала. Изменения скорости торфонакопления на севере и на юге находились в противофазе.

В суббореальное и субатлантическое время во всех районах заболачивание продолжалось в основном за счет разрастания ранее образовавшихся болот. Скорость радиального роста, как уже отмечалось, находилась в пределах 4 см/год (Гаджиев, Смоленцев, 2000), а аккумуляция углерода составляла 11,2 гС/м² год (Глебов, 2000, Васильев, 2000).

Результаты изучения вертикального прироста торфа в болотах России в голоцене по данным радиоуглеродных датировок (Вомперский и др., 2000) свидетельствуют о том, что в субатлантический период голоцена этот прирост явно активизировался на болотах южной тайги и хвойно-широколиственных лесов европейской территории России (по сравнению со средним приростом за голоцен). На аналогичных же болотах Западной Сибири (вне области распространения многолетней мерзлоты) установлено некоторое снижение прироста в это время (по сравнению со средним за голоцен). Полученные результаты прекрасно согласуются (и подтверждаются) с данными о снижении уровня торфонакопления в субатлантическое время в Западной Сибири.

Анализ скорости торфонакопления в болотах, расположенных на многолетне-мерзлых грунтах и снабженных радиоуглеродными датировками (базальный возраст 7680–10610 лет), также показал, что эта скорость во вторую половину голоцена (в суббореале и субатлантике) часто на порядок ниже (0,08 мм/год), чем в первую (0,55 мм/год), когда она соответствовала приросту немерзлых торфяников (Вомперский и др., 2000).

Влажное потепление в последние сто лет привело к увеличению прироста торфа и накоплению углерода в болотах средней тайги Западной Сибири. Сведения о современной скорости заболачивания и интенсивности накопления торфа и углерода в болотных экосистемах России далеко не полны и носят фрагментарный характер. Заболачиваемость Западной Сибири в субатлантике составляла, по оценке М.И. Нейштадта, 8000 га/год. За исследованные последние 2500 лет средняя скорость наступления болот на суходолы составляла 15 см/год. На основании результатов радиоуглеродного датирования было установлено, что она не была одинаковой: с 2500 до 1250 лет тому назад – 16,8 см/год, с 1250 до 820 лет назад – 20,9 см/год, а с 820 г. до настоящего времени – 9,1 см/год (Нейштадт, Малик, 1980; Neustadt, 1984).

Возникновение новых очагов устойчивого заболачивания, по мнению специалистов, в настоящее время в естественных условиях маловероятно (Кузьмин, 1993, Пьявченко, 1980, 1985). Однако, аэровизуальные наблюдения в Карелии, проведенные в 1978 г. в Калевальском и Кемском районах, свидетельствуют об интенсивном наступлении болот на

леса. Незаболоченная лесная площадь составляет там не более 20–30 % (Пьявченко, 1980). Подобная тенденция отмечена и в других типах леса, например Вепском лесу (Федорчук, 1999, личное сообщение).

Статистические данные свидетельствуют о том, что за последние 30 лет увеличение заболоченности отмечается в целом по России (кроме некоторых южных) (Сперанская Н.А., 2005, персональное сообщение). Совершенно очевидно, что современное заболачивание в большой степени обусловлено разрушением созданных ранее лесоосушительных систем. Есть основания полагать, что к настоящему времени вторичному заболачиванию подверглось не менее 1 млн. га (Константинов, 2000). Наглядным примером вторичного заболачивания является болото Бакчар в Западной Сибири (Инишева и др., 2003).

В последние годы отмечается четкая тенденция усиления трансгрессии болот на леса на северо-западе России. Как уже отмечалось, линейный рост болот, их наступление на окружающие суходолы составляет в настоящее время 30–50 см/год, а вертикальный прирост торфа равен в среднем 3 мм/год (Кузьмин, 1993). Вариации значений вертикального прироста находятся в интервале от 0,4–0,6 мм/год (для торфов древесной и древесно-травяной групп) до 10–12 мм/год (олиготрофные сфагновые торфа). Максимальные величины вертикального прироста отмечаются как в генетических центрах – 12,82 мм/год, так и на окраинах – 10,26 мм/год (Никольско-Лютинская болотная система), а среднее значение вертикального прироста торфа для некоторых сфагновых болот северо-запада (Никольско-Лютинская система, Ламмин-Суо, Ширинский Мох) за последние 100 лет составляет 7,14 мм/год. Активизация процесса торфонакопления в последние годы может быть объяснена климатическими причинами (Кобак и др., 1999, Ефимова и др., 2004).

Методы определения современной скорости аккумуляции углерода. По мнению специалистов для определения современной скорости аккумуляции углерода в болотных экосистемах могут быть использованы два основных метода (Турчинович и др., 2000, Инишева и др. 2003; Слут, 1984, 1996). Первый из них – это сведение баланса углерода в экосистеме, основанное на определении первичной продуктивности болотных растений (NPP), измерениях потоков газов – CO_2 и CH_4 (эмиссия с поверхности почв) и выноса углерода болотными водами. Второй – использование моделей процессов аккумуляции торфа и углерода, базирующихся на исторических сведениях о функционировании болотной экосистемы (вместе с данными о плотности торфяного профиля, его возрасте и т.д.) (Слут, 1996).

Согласно этой модели, болото можно представить в виде двух слоев: верхнего, деятельного слоя (акротелма) и нижнего (катотелма). За верхнюю границу акротелма принимают условную поверхность, проходящую на высоте средних отметок выпуклых и

вогнутых форм микрорельефа. Граница между акротелмом и катотелмом в болотах совпадает со средним многолетним минимальным (как правило, летним) положением уровня болотных вод. Обоснование разделения торфяной залежи на два разнородных слоя впервые было сделано в работах К.Е. Иванова (1948) и В. Д. Лопатина (1949).

Процесс накопления органического вещества в акротелме может быть представлен следующим образом:

$$dM_a / dt = P_a - A_a M_a - P_c, \quad (1)$$

где $M_a = P_a N_a$ – масса органического вещества на единице площади в акротелме, P_a – ежегодное поступление живого органического вещества на поверхность болота, N_a – глубина акротелма, P_c – поток органического вещества, ежегодно поступающего из деятельного слоя в нижний инертный слой – катотелм. Доля поступающего в катотелм вещества, определяемая отношением M_a/P_a , зависит от многих факторов (продуктивности болотных растений, климатических условий и т.д.) и это отношение имеет разные значения для болот разных типов.

Скорость деструкции органического вещества в акротелме также зависит от многих факторов. По мнению многих специалистов, она пропорциональна массе органического вещества, остающегося после разложения в изучаемом слое, а коэффициент пропорциональности A_a обычно принимают постоянной величиной для данного типа болота и растительности.

В нижнем инертном слое болота происходят аналогичные процессы, но интенсивность разложения органического вещества в анаэробных условиях катотелма на один-два порядка меньше, чем в акротелме. Накопление органического вещества в катотелме можно представить как:

$$dM_c / dt = P_c - A_c M_c, \quad (2),$$

где M_c – масса органического вещества торфа на единице площади, накопившегося к моменту времени t , A_c – параметр, который обычно принимают постоянной величиной для длительного интервала времени, в течение которого можно считать условия окружающей среды неизменными, P_c – аналог ежегодной продукции для акротелма.

Накопление органического вещества в верхнем слое болотной экосистемы происходит до тех пор, пока не установится постоянная толщина акротелма, которая сохраняется в течение длительного времени при отсутствии существенных изменений в окружающей среде. В этот период развития болотной экосистемы потоком органического вещества в катотелм можно пренебречь. Формирование акротелма занимает от нескольких десятилетий до сотен лет в разных типах болот. По нашим оценкам, наиболее быстро стационарный

деятельный слой устанавливается в болотах аапа и грядово-мочажинных комплексах, где время его формирования составляет 50–60 лет. Наиболее длительно этот процесс протекает в низинных болотах – 400–600 лет. Зная толщину акротелма и плотность органического вещества в нем, а также нетто-продуктивность растительного сообщества для данного типа болота, можно оценить значения постоянной распада A_a .

В стационарном состоянии с момента времени становления акротелма (T_a) поступление органического вещества в этот слой компенсируется его потерями в акротелме и стоком в нижний – катотелм. Это позволяет выразить уравнение (1) как $dMa/dt = 0$ и оценить величину потока органического вещества из акротелма в катотелм (P_c).

Значение P_c характеризует среднюю многолетнюю скорость торфонакопления в начальной стадии развития болота, когда формирование торфяной залежи только началось, и скорость потерь органического вещества в катотелме пренебрежимо мала. В начальный период болотообразования скорость торфонакопления определяется интенсивностью нетто-продуктивности болотных экосистем в тот период времени, а также процессами, происходящими в акротелме, параметры которого, как и скорости различных процессов в нем, отличаются от современных.

Результаты. Оценки современного потока органического вещества из деятельного слоя в катотелм являются основой для определения современной скорости аккумуляции и линейного прироста торфа некоторых типов болот России. В расчетах использованы значения нетто-продуктивности, толщины акротелма, плотности абсолютно сухого вещества в акротелме по литературным данным (Базилевич, 1993; Боч и др. 1994; Болота Западной Сибири, 1976; Елина и др., 1984; Кузьмин, 1993; Титлянова и др., 1988).

Приведенные в таблице 2 значения параметра A_a для исследуемых типов болот оценены нами с помощью модели вертикального роста болот.

Современная скорость аккумуляции углерода (при среднем содержании углерода в абсолютно сухом веществе 51,7 %) колеблется от 10,3 гС/м²год в полигональных болотах до 51,7 гС/м²год в низинных травяных болотах. Оценки выполнены без учета потерь органического вещества в толще торфяной залежи, образованной за время существования болота и мы полагаем, что они несколько завышены. В дальнейшем планируется уточнить параметры модели, характеризующие процессы в катотелме.

Суммарная аккумуляция углерода болотами России в настоящее время составляет 37,6 млн. т/год. Для расчетов использованы результаты определения площадей болот России С.М. Новикова и Л.И. Усовой (Новиков, Усова, 2000) и данные по распределению площадей этих болот по их типам (Боч и др., 1994; Botch et al., 1995; Kobak et al., 1998). По нашим

оценкам, максимальный вклад (46,8 %) в эту аккумуляцию вносят грядово-мочажинные болота, занимающие более 40 % площади современных болот (Botch et al., 1995).

Таблица 2

Поток органического вещества из акротелма в катотелм и максимально возможный линейный прирост торфа в некоторых типах болот России в современную эпоху

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

Примечания: * данные полевых наблюдений, р – расчетные данные, АСВ – абсолютно сухое органическое вещество.

Результаты определения современной скорости аккумуляции углерода в болотах балансовым методом весьма ограничены. Положительным примером могут служить наши исследования в Западной Сибири на отрогах Васюганского болота (болото Бакчар) (Инишева, 2003). Изучение в течение ряда лет первичной продуктивности (NPP), эмиссии газов с поверхности почв – CO₂ и CH₄ и выноса углерода болотными водами показало, что общий расход углерода в изученных болотных экосистемах значительно уступает уровню фотосинтетической нетто-аккумуляции – 77,4 гС/м²год и 125 гС/м²год соответственно (средние значения за весь период наблюдений). Большая часть потерь углерода обусловлена эмиссией диоксида углерода (в среднем 69 гС/м²год, или 55,2 % от NPP) и метана, доля которого значительно меньше (0,3–6,5 гС/м²год, или 2,7 % NPP). Определенный экспериментально вынос углерода болотными водами, содержащими растворенные органические вещества, составляет 5,5 % NPP (6,9 гС/м²год). Расчет баланса углерода свидетельствует о преобладании процесса аккумуляции углерода в торфяной залежи и прогрессирующем торфообразовательном процессе в настоящее время. По нашим оценкам, сделанным на основании результатов проведенных полевых исследований, средняя аккумуляция составляет 48 гС/м²год.

Подобные исследования, проведенные в Ленинградской области на верховом болоте Ламмин-Суо (без учета эмиссии метана), показали, что современная нетто-аккумуляция углерода составляет 12 % NPP (31,4 гС/м²год), вынос углерода болотными водами – 5 % NPP,

а следствием минерализации органического вещества на поверхности почв и в акротелме является эмиссия газов, равная 83 % NPP (Кобак, 1988). Полученные результаты свидетельствуют о положительном балансе углерода, но их явно недостаточно для окончательных выводов.

Закключение. Анализ палеоклиматических данных свидетельствует о том, что потепление климата на границе послеледниковья – голоцена было быстрым с геологической точки зрения. Скорость изменения температуры воздуха летом в северных и средних широтах Северного полушария составляла не менее 2,6 °С за 100 лет, и ранний голоцен, как известно, характеризовался активным торфонакоплением.

Эмпирические данные о климате последней четверти XX столетия показывают, что этот период был самым теплым не только за время инструментальных наблюдений, но и за последнюю тысячу лет. Средняя глобальная температура в рекордно теплые годы (1995, 1998, 2001) была на 0,4–0,6 °С выше, чем в конце XIX столетия. В высоких широтах Северного полушария (на Аляске, в Канаде и Северной Евразии) температура воздуха превышала средние многолетние значения более чем на 1,5–2 °С. В высоких широтах одновременно отмечено увеличение количества осадков в этих регионах и изменения в циркуляционном режиме, характерные для теплых эпох прошлого. Изменения температуры в начале XXI столетия под влиянием усиления парникового эффекта сопоставимы с ее изменениями на границе позднеледниковья-голоцена, и быстрое потепление климата на этой границе может быть представлено как возможный аналог флуктуации климата и окружающей среды в первой четверти XXI века (Анисимов и др., 2004). Учитывая это, можно предположить, что процесс болотообразования интенсифицируется в предстоящие десятилетия в северных регионах России, а интенсивность торфонакопления достигнет бореально-позднеатлантического уровня.

По прогнозу современная северная граница между полигональными и бугристыми болотами в Западной Сибири сместится к северу примерно на 100 км при глобальном потеплении на 1,4 °С и более чем на 400 км при увеличении температуры на 2,2 °С. Граница между бугристыми и олиготрофными болотами также переместится к северу на 400 км (при потеплении на 1,4 °С) и более чем на 500 км (или примерно на 5 градусов широты) при повышении средней глобальной температуры на 2,2 °С.

Торфонакопление в болотных экосистемах России составляет, по нашим оценкам, 37,6 млн. т С/год. Вполне вероятно, что эти оценки неполны и занижены (по меньшей мере, в 1,5–2 раза) из-за отсутствия сведений о некоторых болотных системах даже для России (Боч и др., 1994).

Список литературы

1. Анисимов О.А., Борзенкова И.И., Ванденберг Дж., Жильцова К.Д., Лобанов В.А., Сапелко Т.В. Быстрое потепление климата на границе позднеледниковья-голоцена как возможный аналог изменения климата и окружающей среды в первой четверти XXI века. // Метеорология и гидрология. – 2004. – №12. – С.31–41.
2. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии.– М.: Наука,1993. – 140 с.
3. Болота Западной Сибири /под ред. К.Е. Иванова, С.М. Новикова. – Л. : Гидрометеиздат, 1976. – 448 с.
4. Боч М.С., Кобак К.И., Кольчугина Т.П., Винсон Т.С. Содержание и скорость аккумуляции углерода в болотах бывшего СССР // Бюллетень МОИП, отд. Биол. – 1994. Т.99. – Вып.4. – С. 59–70.
5. Васильев С.В. Скорость торфонакопления в Западной Сибири //Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. – С. 56–59.
6. Вомперский С.Э. Роль болот в круговороте углерода // Биогеоценотические особенности болот и их использование: XI чтения памяти акад.В.Н.Сукачева.– М.: Изд-во РАН, 1994. – С.5–37.
7. Вомперский С.Э., Цыганова О.П., Ковалев А.Г., Глухова Т.В., Валяева Н.А. Заболоченность территории России как фактор связывания атмосферного углерода // Глобальные изменения природной среды и климата. – М.: Изд-во РАН, 1999. – С.124–145.
8. Вомперский С.Э., Цыганова О.П., Глухова Т.В., Валяева Н.А. Вертикальный прирост торфа на болотах России в голоцене по данным радиоуглеродных датировок //Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. – С. 53–55.
9. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири / под ред. С.М. Новикова. – СПб : Изд-во ВВМ, 2009. – 536 с.
10. Глебов Ф.З. Толейко Л.С., Климанов В.А., Карпенко Л.В., Дашковская И.С. Динамика палеорастительности, палеоклимата, накопления торфа и углерода в междуречье Оби и Васюгана (Западно-Сибирская низменность) // Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000.– С. 16–19.
11. Елина Г.А., Кузнецов О.Л., Максимов А.И. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. – Л. : Наука, 1984. – 128 с.
12. Елина Г.А. Динамика болотообразования на северо-западе России в голоцене // Биоценотические особенности болот и их рациональное использование: XI чтения памяти акад.В.Н. Сукачева. – М. : Изд-во РАН, 1994. – С. 61–84.
13. Ефимова Н.А., Жильцова Е.Л., Лемешко Н.А., Строкина Л.А. О сопоставлении изменений климата в 1981–2000 гг. с палеоаналогами глобального потепления // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 8. – С. 18–23.
14. Инишева Л.И., Земцов А.А., Лисс О.Л., Новиков С.М., Инишев Н.Г. Васюганское болото: природные условия, структура и функционирование. – Томск: ЦНТИ, 2003. – 212 с.
15. Инишева Л.И. // Болота и биосфера: Введение к сборнику матер. VII Всероссийской научной школы (13–15 сентября 2010 г., Томск). – Томск: Изд-во Томского педагогического ун-та, 2010. – С.3–4.
16. Инишева Л.И., Головацкая Е.А. Сток и эмиссия углерода в Васюганском болоте // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. – Томск, Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2002. – С. 123–133.
17. Кобак К.И. Биотические компоненты глобального углеродного цикла. – СПб: Гидрометеиздат, 1988. – 246 с.
18. Кобак К.И., Кондрашева Н.Ю., Лугина К.М., Торопова А.А., Турчинович И.Е. Анализ многолетних метеорологических наблюдений в Северо-Западном регионе России // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 1. – С.30–38.
19. Константинов В.К. Гидролесомелиоративная энциклопедия. – СПб: Гидрометеиздат, 2000. – 275 с.
20. Кузьмин Г.Ф. Болота и их использование // Сборник научных трудов НИИ торфяной промышленности. – СПб: 1993. – 140 с.
21. Лапшина Е.Д. Болота Западной Сибири: автореф. дисс ... д-р. биол. наук. – Томск, 2004. – 37 с.
22. Лисе О.Л., Березина Н.А. Болота Западно-Сибирской равнины. – М.: Наука, 1981. – 208 с.
23. Лопатин В.Д. О гидравлическом значении верховых болот // Вестник ЛГУ. – 1949. – № 2. – С.37–49.
24. Новиков С.М., Усова Л.И. Новые данные о площади болот и запасах торфа на территории России // Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. – С. 49–52.
25. Новиков С.М., Батуев В.И.. О реликтовых болотах севера Западной Сибири // Известия РГО. – 2010. – Т.142. – Вып.3. – С.37–43.

26. Новиков С.М., Усова Л.И., Малясова Е.С. Возраст и динамика болот Западной Сибири. // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования, – М.: ГЭОС, 1999. – С. 72–76.
27. Нейштадт М.И., Малик М.И. Прошлое, настоящее и будущее западносибирских болот // Природа. – 1980. – № 11. – С. 11–20.
28. Пологова Н.Н., Лапшина Е.Д.. Накопление углерода в торфяных залежах Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2002. – С. 174–179.
29. Пьявченко Н.И. Болотообразовательный процесс в лесной зоне // Значение болот в биосфере. – М.: Наука, 1980. – С.7–16.
30. Пьявченко Н.И. Торфяные болота, их природа и хозяйственное значение.– М.: Наука, 1985. – 152 с.
31. Титлянова А.А., Базилевич Н.И., Снытков В.А. Биологическая продуктивность травянистых экосистем. – Новосибирск: Наука, 1988. – 134 с.
32. Турчинович И.Е., Кобак К.И., Кондрашева Н.Ю., Торопова А.А. Моделирование многолетних скоростей торфонакопления разными типами болот северо-запада России // Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. – С. 60–62.
33. Хотинский Н.А. Голоцен северной Евразии. – М.: Наука, 1977. – 200 с.
34. Botch M.S., Kobak K.I., Vinson T.S., Kolchugina T.P. Carbon pools and accumulation in peatlands of the former Soviet Union // Global Biogeochem. Cycles. – 1995. – 9. – N 1. – P.37–46.
35. Clymo R.S. Limits to peat bog growth // Phil. Trans. Royal Soc. – 1984. – V.303b. – P. 605–654.
36. Clymo R.S. Assessing the accumulation of carbon in peatlands // Northern peatlands in global climate change. FDITA. –Helsinki: Publ. of Academy of Finland, 1996. – P.207–212.
37. Jenny H., Gessel S.P., Bingham F.T. Comparative study of decomposition rate of organic matter in temperate and tropical regions // Soil Sci. – 1949.– V.68. – P.419–432.
38. Hansen J., Keeling Ch., Harmon M. [et al.] Targent atmospheric carbon dioxide // NASA Publ. Report. – 2008.– 124 pp.
39. Kobak K.I., Kondrasheva N.Yu.,Turchinivich I.Ye. Changes in carbon pools of peatland and forests in northwestern Russia during the Holocene // Global and Planetary Change. – 1998. – N16–17. – P. 75–84.
40. Neustadt M.I. Holocene peatland development // Late Quaternary Environments of the Soviet Union. – Minneapolis: Univ. of Minnesota Press, 1984. – P. 201–206.
41. Oechel W.C., Billings W.D. Effect of global change on the carbon balance of arctic plants and ecosystems // Arctic ecosystems in a changing climate. – San Diego: Academ.Press, 1992. – P. 139–162.
42. Sundquist E.T. The global carbon dioxide budget // Science. – 1993. – 259. – P. 934–941.
43. Tolonen K., Vasander H., H.Damman A.W., Clymo R.S. Preliminary estimates of long-term carbon accumulation and loss in the 25 boreal peatlands // Suo. – 1993. –V.43. – N 4–5. – P. 277–280.
44. Vitt D.H., Beilman D.V., Halsey L.A. Spatial and temporal trends in carbon storage of peatlands of continental western Canada through the Holocene // Canadian Journ. of Earth Science. 2000. – 37. – P. 283–287.
45. Zoltai S.C., Taylor S., Jeglum J.K., Mills G.F., Johnson J.D. Wetlands of boreal Canada // Wetlands of Canada. – Montreal-Quebec: Polyscience Publication, 1988. – P. 97–154.

RECENT PALUDIFICATION AND CABON ACCUMULATION OF THE ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE BY PEATLANDS ECOSYSTEMS IN RUSSIA

К. И. Кобак, Л. И. Инисева, И.Ye. Турчинович

Many peatlands ecosystems play the role of the carbon net-sink in terms of the atmosphere, atmospheric carbon dioxide. The paludification rate in Russia and the carbon accumulation in turf were analyzed during the Holocene (and different its periods). The recent carbon net-accumulation rate was calculated dut to model by R.Clymo (modified by I.Turchinovich). It equel about 37,6 million of carbon per year. Now the paludification process became more active due to global climatic change and mainly due to the destruction of the former drainage system (secondary paludification).

ДЕСТРУКЦИОННЫЙ КОМПОНЕНТ ЦИКЛА УГЛЕРОДА В ЮЖНОТАЕЖНЫХ ВЕРХОВЫХ БОЛОТАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Н.Г. Коронатова

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск, Россия, e-mail:coronat@mail.ru

В работе представлены результаты, полученные при экспериментальной деградации торфа на разных глубинах залежи в трех верховых болотных экосистемах южной тайги Западной Сибири. Приведены оценки потерь углерода из всей торфяной толщи болот.

Введение. Биотический круговорот – базовый процесс в биосфере, обуславливающий существование жизни на Земле. Основные принципы описания биотического круговорота на основе системного подхода были сформулированы А.А. Ляпуновым и А.А. Титляновой в 70-х годах XX века [1]. Ими были выделены основные понятия, в настоящее время повсеместно используемые в биогеоценотических исследованиях – это понятие блоков, которые характеризуются запасом вещества и выражаются в единицах массы на единицу площади; и потоков, которые характеризуются интенсивностью процесса и выражаются в единицах массы на единицу площади за единицу времени. Потоки связывают блоки внутри экосистемы, а также обеспечивают поступление вещества в экосистему и выход из нее (входной и выходной потоки). Для построения баланса углерода экосистемы необходимо в полевых исследованиях получать количественные данные, позволяющие количественно описать основные блоки и потоки в ней.

Известно, что цикл углерода в болотах не замкнут и сопровождается накоплением торфа, в котором депонируется углерод, иными словами, круговорот углерода здесь характеризуется переходным режимом с накоплением вещества [2]. Это происходит потому, что скорость образования органического вещества продуцентами превышает скорость минерализации отмирающих частей растений и самого торфа. Свежий растительный опад поступает сверху и, если он не подвергается минерализации, превращается в торф, обуславливая рост торфяника вверх. Считается, что рост торфяника останавливается, когда величина чистой первичной продукции становится равной суммарной по всей толще минерализации торфа [3], а цикл углерода выходит на стационарный режим. В настоящее время круговорот углерода в верховых болотах остается не до конца понятным, о чем свидетельствует, например, невозможность построить баланс углерода для них [4]. Возможно, это связано с тем, что круговороты веществ осложнены внутренними циклами, такими как ретранслокация элементов [5] или внутриверховный цикл.

Параметры первичной продуктивности в верховых болотах Западной Сибири изучались разными исследователями, начиная с конца 50-х годов XX века [6-9 и др.], а наиболее обширный материал и его обобщение для болот всех зон и подзон Западной Сибири имеется

в работах Н.П. Косых с соавторами [10–18 и др.]. Процессы деструкции органического вещества в торфяных болотах, трансформация химического состава растительных остатков в ходе торфообразования обобщены в монографии Л.С. Козловской с соавторами [19]. Деструкция разных видов болотных растений и их фракций в различных болотных комплексах Западной Сибири подробно изучалась Е.К. Вишняковой (Паршиной) с соавторами [20, 21]. Наименее изученным вопросом остается деструкция торфа, данные по его разложению получены в основном в математических моделях. При их построении полагается, что основное разложение растительного материала происходит в верхнем аэробном торфяном слое, а ниже уровня болотных вод (УБВ) интенсивность деструкции крайне замедлена [3]. В модели динамики торфа верховых болот, построенной Frolking с соавторами [22], было показано участие подземных органов сосудистых растений в торфообразовании на всем протяжении зоны распространения корней. Число работ, посвященных изучению минерализации торфа в полевых исследованиях, невелико [23, 24].

Исходя из вышеизложенного, цель данной работы – выявить количественные характеристики деструкционной составляющей цикла углерода в верховых болотных экосистемах южной тайги Западной Сибири.

Объекты и методы. Полевой эксперимент проводился в южнотаежных экосистемах Бакчарского болотного комплекса (56°51 с.ш., 82°50 в.д.), который является частью Большого Васюганского болота: сосново-кустарничково-сфагновом ряме, транзитной осоково-сфагновой топи, переходной между рямом и топью экосистемой с кустарничково-пушицево-сфагновым сообществом (далее «переходная экосистема»). Глубина торфяной залежи составила 1,5–1,8 м. На ряме залежь сложена фускум-торфом с включением живых корней кустарничков до 1 % от массы торфа, в переходной экосистеме – сфагновым мочажинным торфом с содержанием живых корней пушицы до 5 %, в топи – сфагновым переходным торфом с содержанием остатков осоки 16 % и ее живых корней и корневищ – 12 %. Степень разложения торфа оценивалась визуально и была на глубине 40–60 см в топи – 20–30 %, в переходной экосистеме – 10–15 % и в ряме – 5–10 %.

Эксперимент был начат дважды – в 2006 г (эксперимент I) и 2007 г (эксперимент II), в июне, длительность эксперимента в каждом случае – несколько лет. Мешочки с торфом закладывались в ту же экосистему, откуда торф был изъят, но на другую глубину: 5–10 см (выше уровня болотных вод – УБВ) и 25–30 см (ниже УБВ), кроме того, в эксперименте II они закладывались также на глубину изъятия торфа (45–50 см). Образцы отбирались через определенные промежутки времени в повторности 5–8 штук. Подробное описание методики эксперимента можно найти в [25]. Содержание углерода определялось на CNHS/O-анализаторе Perkin Elmer.

Результаты исследования и обсуждение. В ходе эксперимента за два года масса образцов торфа уменьшилась в ряме на 45–55 % выше УБВ и на 1–6 % – ниже УБВ, в переходной экосистеме на разных глубинах – на 30 % в эксперименте I и на 5–10 % в эксперименте II, в топи на разных глубинах – на 8–20 %. Значительная потеря массы торфа в верхнем слое ряма сопровождалась увеличением его степени разложения до 40 % и более. В остальных случаях степень разложения не менялась.

Исходное содержание углерода (С) в торфах составило 48–50 %. Через три месяца содержание С в образцах как правило несколько снижалось, а в дальнейшем в топи и переходной экосистеме существенно не менялось, а в верхнем слое торфа на ряме увеличивалось на 1,5 % от исходного содержания. На основе данных об изменении массы, содержании углерода и плотности торфа на разной глубине были подсчитаны потери углерода из разных слоев торфяной залежи, которые приведены в таблице.

Таблица

Потери углерода (г/м² за 2 года) из 10-см слоев торфяной залежи на разной глубине при экспериментальном разложении торфа в болотных экосистемах

Слой торфа, см	Рям		Переходная экосистема		Топь	
	Эксп. I	Эксп. II	Эксп. I	Эксп. II	Эксп. I	Эксп. II
0–10	298	306	172	57	81	48
20–30	13	70	122	40	114	102
40–50	н.д.*	28	н.д.	50	н.д.	85

Примечание. * н.д. – нет данных.

Результаты, полученные в двух независимых экспериментах, сходны для ряма и топи. При этом в верхнем слое ряма были наибольшие потери, что объясняется складывающимися в нем наилучшими условиями для деструкторов: здесь никогда не было переувлажнения за время проведения экспериментов, он лучше остальных прогревался в летнее время. Полученные для этого слоя данные скорее характеризуют разложение торфа в условиях понижения уровня болотных вод, т.е. осушения. В то же время очес, в который были заложены образцы торфа, не имел визуальных признаков деструкции. В топи более высокие значения потерь С были в нижнем слое. В переходной экосистеме получены сходные оценки потерь для разных глубин, но они существенно отличались в двух экспериментах. Видимо, причина заключалась в методических погрешностях, поскольку в узкой краевой экосистеме гидротермические условия и качество изъятых торфа могло меняться на протяжении небольшого расстояния. Здесь в обоих экспериментах потери С из верхнего слоя в 1,4 раз превышали потери из нижнего.

В эксперименте II также определялись потери углерода в слое 40–50 см. Значительно меньшими по сравнению с вышележащими слоями они были только в ряме. В топи и переходной экосистеме полученные данные были сравнимы с потерями из слоя 20–30 см. По-видимому, это связано с частично аэробными условиям ниже УБВ в зоне распространения корней трав [22], в отличие от ряма, где ниже УБВ складываются анаэробные условия. На основе оценок изменения массы торфа за второй год разложения, были установлены потери углерода при деструкции торфа из всей толщи, которые составили около 570, 390 и 320 г С/м² в год в ряме, переходной экосистеме и топи соответственно (рисунок).

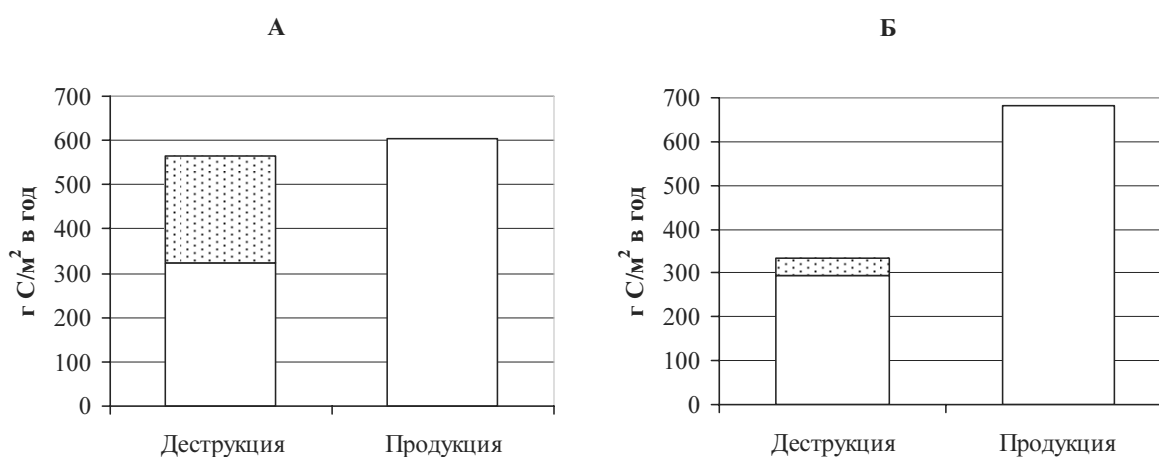


Рисунок. Потери углерода при деструкции и поступление углерода с чистой первичной продукцией (по данным Н.П. Косых и др. [12]) в двух экосистемах: А – ряма, Б – топь. Заштрихованная часть столбца «деструкция» обозначает потери из верхнего 20-см слоя торфяной залежи, не заштрихованная часть – потери из остальной толщи

На ряме потери в верхнем слое высоки в связи с указанными выше причинами, а в топи – низки в связи с обводненностью поверхностного слоя торфяника. Данные, полученные для торфа ниже 20 см, можно рассматривать как отражающие реальные процессы, протекающие в торфяных залежах сфагновых болот. Здесь потери в трех экосистемах были в пределах 250–310 г С/м² в год, что составляет примерно половину от чистой первичной продукции этих экосистем.

Величина эмиссии углерода CO₂ из Бакчарского болота была установлена А.В. Наумовым и составила 171 г/м² в год без учета зимнего потока [26]. То есть потери при эмиссии оказались в 1,5 раза ниже полученных в данном эксперименте. Существование расхождения и отсутствие корреляции между данными, полученными при экспериментальной деструкции торфа и при измерении эмиссии CO₂ на одних и тех же участках, упоминается также в работе [24], где оценки потерь, полученные в полевом

эксперименте, также превышали величину эмиссии, измеренную камерным методом. Вероятно, такое расхождение может объясняться существованием внутреннего цикла углерода, который заключается в том, что часть выделяющегося CO₂ не достигает атмосферы, поскольку ассимилируется плотной дерновиной сфагновых мхов [26].

Заключение. Таким образом, потери углерода из верхнего 20-см слоя залежи варьировали в разных экосистемах в зависимости от их режима увлажнения. Потери в нижележащей толще были сходны и составили половину от величины чистой первичной продукции экосистем, и в полтора раза превысили значение эмиссии углерода углекислого газа здесь. Представленные данные о потерях углерода из всей залежи являются оценочными. Они могут быть завышены, поскольку расчет на всю толщу торфа велся по данным, полученным для слоя 40–50 см. Однако, более глубокие слои, вероятно, были более холодными, а значит, процесс деструкции в них протекал медленнее. С другой стороны, на глубине плотность торфа может быть выше, что увеличило бы значение потерь. Также следует иметь в виду, что выходящий поток углерода в болотах складывается не только из деструкции торфа, но и минерализации растительного опада на поверхности и в приповерхностном слое, что не было учтено в данной работе, а также из выноса органических веществ с болотными водами, величина которого, однако, считается небольшой.

Список литературы

1. Ляпунов А. А., Титлянова А. А. Системный подход к изучению круговорота вещества и потока энергии в биогеоценозе // О некоторых вопросах кодирования и передачи информации в управляющих системах живой природы. – Новосибирск, 1971. – С. 99–188.
2. Титлянова А.А., Тесаржова М. Режимы биологического круговорота. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е., 1991. – 150 с.
3. Clymo R.S. The limits to peat bog growth. Philos. Trans. Rl Soc.– London. – 1984.– Series B. 303. – P. 605–654.
4. Наумов А.В., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Углеродный баланс в болотных экосистемах Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. – 2007 – 14. – № 5. – С. 771–779.
5. Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Биологический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 381 с.
6. Тюремнов С.Н. О торфяных месторождениях Западно-Сибирской низменности // Тр. Томск. ун-та. – 1958. – Вып. 141. – С. 125–129.
7. Пьявченко Н.И. Лесное болотоведение (Основные вопросы). – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 192 с.
8. Пьявченко Н.И. О продуктивности болот Западной Сибири // Растительные ресурсы. – 1967. – Т. 3. – Вып. 4. – С. 523–533.
9. Храмов А.А., Валуцкий В.И. Лесные и болотные фитоценозы Восточного Васюганья (Структура и биологическая продуктивность)/ Под ред. А.В. Куминовой. – Новосибирск: Изд-во Наука. Сиб отд-е, 1977. – 222 с.
10. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П. Биологическая продуктивность болот южного Васюганья // Чтение памяти Ю.А. Львова. – Томск, 1995.
11. Косых Н.П. Динамика запасов фитомассы и продукция болот северной тайги // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: Матер. межд. полевого симпозиума (Ноябрьск, 18-22 августа 2001 г). – Новосибирск, 2001. – С. 94–97.
12. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Блейтен В. Продуктивность болот южной тайги Западной Сибири // Вестник ТГУ. Приложение № 7. – 2003. – С.142–152.

13. Kosykh N.P., Koronatova N.G., Naumova N.B., Titlyanova A.A. Above- and below-ground phytomass and net primary production in boreal mire ecosystems of Western Siberia // *Wetlands Ecology and Management*. – 2008. – Vol. 16. – P. 139–153.
14. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Биологическая продуктивность болот лесотундры Западной Сибири // *Вестник ТГПУ*. – 2008. – Вып. 4. – С. 53–57.
15. Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Parshina E.K. 2009. The carbon and macroelements budget in the bog ecosystems of the middle taiga in Western Siberia // *International Journal of Environmental Studies*. – Vol. 66. – P. 485–493.
16. Косых Н.П. Биологическая продуктивность болот лесостепной зоны // *Вестник ТГПУ*. – 2009. – Вып. 3. – С. 87–90.
17. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Фитомасса, продукция и разложение растительных остатков в олиготрофных болотах средней тайги Западной Сибири // *Вестник ТГПУ*. – 2009. – Вып. 9. – С. 63–69.
18. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Кирпотина Л.В. Продуктивность осоковых болот Горного Алтая // *Вестник ТГПУ*. – 2010. – Вып. 3. – С. 87–91.
19. Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. – Л.: Наука, 1978. – 176 с.
20. Паршина Е.К. Разложение растительного вещества в лесотундре // *Сибирский экологический журнал*. – 2007. – №5. – С. 781–787.
21. Паршина Е.К. Разложение растительных остатков на верховых болотах средней тайги // *Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: Матер. II Межд. полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 24 августа - 02 сентября 2007 г.) / Под ред. акад. С.Э. Вомперского*. – Томск: Изд-во НТЛ, 2007. – С. 119–121.
22. Frohling S. et al. Modelling northern peatland decomposition and peat accumulation // *Ecosystems*. – 2001. – Vol. 4. – P. 479–498.
23. Louis V.L.S.T. et al. Mineralisation rates of peat from eroding peat islands in reservoirs // *Biogeochemistry*. – 2003. – 64. – P. 97–110.
24. Grover S.P.P., Baldock J.A. Carbon decomposition processes in a peat from the Australian Alps // *Europ. J. Soil Sci.* – 2010. – V. 61. – P. 217–230.
25. Коронатова Н.Г. Исследование разложения торфа в болотах методом инкубации сухих и влажных образцов // *Динамика окружающей среды и глобальное изменение климата*. – 2010. – №1. – С. 65–71.
26. Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности /Под ред. В.А. Казанцева. – Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-я РАН, 2009. – 207 с.

DECOMPOSITION COMPONENT OF CARBON CYCLE IN SOUTH TAIGA OMBROTROPHIC MIRES OF WESTERN SIBERIA

N.G. Koronatova

The paper presents data on the experimental peat decomposition at different depths of the peat deposits in three ombrotrophic mire ecosystems of the southern taiga of Western Siberia. The estimates of carbon loss from the entire peat deposits of the mires are evaluated.

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЯДА МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ТОРФАХ И ГУМИНОВЫХ КИСЛОТАХ ГОРНОГО АЛТАЯ

Г.В. Ларина^{*}, М.В. Шурова^{**}, О.В. Кузнецова^{*}, А.В. Ченчубаев^{*}, Ж.Е. Турсунбеков^{*}

^{*}Горно-Алтайский государственный университет, г. Горно-Алтайск, Республика Алтай,
e-mail: gal29977787@yandex.ru

^{**}ГА НИИ СХ, Майма, Республика Алтай, e-mail: imergen@yandex.ru

В статье представлены результаты исследований содержания основных зольных элементов (макроэлементов) и ряда микроэлементов в торфе Горного Алтая и в гуминовых кислотах торфа. Проведена оценка вклада гуминовых кислот (ГК) в связывание ряда микроэлементов (Cu, Zn, Pb, Cd) региональным торфом.

Введение. С 2007 по настоящее время студентами и преподавателями ГАГУ совместно с аккредитованной лабораторией агроэкологии ТГПУ (научный рук. д. с-х. н., проф. Инишева Л.И.), аналитической лабораторией ГА НИИ СХ проводятся комплексные экспедиции по Горному Алтаю с целью выявления и исследования месторождений торфа, органоминеральных отложений и гумусированных глин. Указанные работы по Горному Алтаю ранее не проводились, в связи с чем указанная сырьевая база является практически не изученной.

В условиях Республики Алтай, приоритетным направлением развития которой является рекреация и туризм, разработка достаточно локальных торфяных месторождений из востребованных инновационных направлений [1] является рентабельной для получения бальнеотерапевтических, оздоровительных и медицинских препаратов. Освоение месторождений и проявлений в Горном Алтае требует предварительного изучения качества сырья: содержание битумов, гуминовых веществ, микроэлементов (как биофильных, так и токсичных), радионуклидов, а также санитарно-бактериологических показателей.

Результаты проведенных нами исследований группового состава органического вещества торфа Горного Алтая представлены в ряде публикаций [2–4]. С учетом вышесказанного актуальным является выявление количественного содержания и распределения ряда микроэлементов (Cu, Zn, Pb, Cd) в торфах и в их основных органических компонентах – ГК различных торфяных месторождений Горного Алтая.

Объекты и методы. Для химического анализа образцы торфа отбирались из каждого генетического горизонта торфяной залежи с помощью торфяного бура ТБГ-1. Пробоподготовка, определение валового содержания микроэлементов и количества подвижных форм микроэлементов выполнялось методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе типа ТА по аттестованной методике [5]. Контроль правильности результатов осуществляли по ГСО водных растворов ионов Cu, Zn, Pb, Cd. Ботанический состав и степень разложения определяли по ГОСТ [6], зольность исследуемых образцов определяли

по ГОСТ 11306-83 [7]. Групповой состав органического вещества торфа исследовали методом Инсторфа [8], химический состав золы определяли по [8].

Результаты исследования и обсуждение. По сравнению с масштабными залежами верховых и низинных торфов в Западной Сибири, торфяные месторождения в Горном Алтае имеют ограниченные ареалы распространения при самых различных глубинах залегания: от 20–30 см до 600–650 см. Детально нами обследованы Турочакское торфяное месторождение (т.м.) и Кутюшское т.м., которые расположены в Северо-Восточном Алтае. В настоящее время проводятся текущие исследования физико-химических свойств торфов и выделенных из них ГК различных месторождений и проявлений Центрального Алтая. В процессе исследования торфов и гуминовых кислот торфа для ряда месторождений была выявлена повышенная зольность. Так, зольность низинного торфа Турочакского месторождения находится в интервале от 12,3 % до 37 %. Нативные ГК, извлеченные из турочакского торфа, также характеризуются повышенной зольностью, которая составляет от 6 % до 35 %. Химический состав золы некоторых торфов и нативных гуминовых кислот Горного Алтая приведен в таблице 1.

Общеизвестно, что гуминовые вещества, содержащиеся в почве, сапропеле, торфе, буром угле, являются основным источником аккумуляции широкого спектра металлов – от таких распространенных, как кремний, алюминий, железо, кальций, магний до редких и радиоактивных [9]. Значительные исследования проведены по концентрации металлов гуминовыми веществами. Установлено, что в гуминовых кислотах всегда содержится от 1 до 5 % золы, в составе которой обнаруживается SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , MgO [10].

Таблица 1

Химический состав золы некоторых торфов и нативных гуминовых кислот

Образцы торфа, образцы ГК	Содержание в золе, %				
	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO
Торф Северо-Восточного Алтая	31,6–37,2	26,0–30,2	11,3–25,0	9,1–16,8	5,7–7,7
ГК торфа С-В Алтая	36,3–63,2	12,6–30,6	28,2–52,6	10,0–35,3	9,4–38,9
Торфа [9]	9,9–54,6	4,1–50,8	4,7–43,0	4,4–42,4	0,5–18,0

В топливном торфе зола является балластом. В нашем случае торф Горного Алтая является ценным ресурсным потенциалом – содержание основных специфических веществ (ГК и ФК) значительно и достигает 50–58% [4]. В болотных биогеоценозах основными геохимическими процессами являются: перераспределение химических элементов внутри торфяных залежей, концентрация и аккумуляция элементов, поступающих в болотные экосистемы извне, а также вынос элементов за пределы болот [11]. В связи с этим первый этап наших исследований заключался в определении количественного содержания Cu , Zn ,

Pb, Cd в исследуемых образцах горного торфа. Выявленные уровни содержания микроэлементов в торфах представлены в таблице 2.

Таблица 2

Содержание металлов в торфах Горного Алтая, Западной Сибири и Европейской части России, мг/кг торфа

Металл	Торф Северо-Восточного Алтая (n=31)	Торф Центрального Алтая (n=7)	Торф Горного Алтая (n=38)	Торф Западной Сибири	Торф Европейской части России
Zn	$\frac{6,21-44,12}{22,13}$	$\frac{0,22-8,78}{3,44}$	12,78	$\frac{0,08-129,0}{5,47}$	18,48
Cu	$\frac{1,58-13,67}{7,30}$	$\frac{0,001-17,30}{3,16}$	5,23	$\frac{0,3-135,0}{10,8}$	8,57
Cd	$\frac{0,12-0,57}{0,34}$	$\frac{0,03-0,69}{0,25}$	0,30	–	–
Pb	$\frac{1,34-10,0}{4,09}$	$\frac{0,88-10,6}{3,87}$	3,98	$\frac{0,7-18,0}{4,9}$	2,92

В числителе приведен интервал содержания элемента, в знаменателе – средняя величина. Среднее содержание цинка, меди и кадмия в торфах Северо-Восточного Алтая больше, чем в исследуемых образцах торфа Центрального Алтая. Содержание свинца во всех исследуемых образцах для указанных районов фактически одинаково.

Содержание и характер распределения Cu, Zn, Pb и Cd в горном торфе имеет свои особенности по сравнению с однотипными равнинными аналогами. Исследуемый горный торф характеризуется меньшим содержанием цинка, чем торф Западной Сибири и европейской части России – 12,78 мг/кг по сравнению с 15,47 и 18,48 мг/кг соответственно. Содержание Cu преобладает в западносибирских и европейских торфах. Горные торфа занимают промежуточное положение по содержанию Pb между указанными представителями.

В таблице 3 полученные результаты для регионального торфа сопоставлены с литературными данными для почв Горного Алтая. Характерной особенностью для исследуемых низинных торфов является низкое содержание в них Cu, Zn и Pb относительно содержания в почвах региона. Проведенными фундаментальными исследованиями М.А. Мальгина и его научной школы [12,13] установлено высокое региональное содержание меди в почвах Горного Алтая – 40,6 мг/кг. Указанные авторы объясняют этот факт малой подвижностью этого элемента в почвах: ионы меди легко осаждаются сульфид-, гидроксид-ионами, а также связываются гумусовыми кислотами.

Характерной особенностью для исследуемых горных торфов является низкое содержание в них цинка и меди относительно содержания в почве (табл. 3). Вероятно, имеет место взаимодействие указанных ионов с водорастворимыми органическими компонентами

торфа (в частности, с активными фульвокислотами) в условиях кислой болотной среды. При этом образуются растворимые фульватные комплексы с халькофильными элементами: Zn, Cu, Pb. Указанное является причиной миграции микроэлементов за пределы торфяного профиля. В результате горный торф характеризуется незначительным содержанием цинка, меди и свинца – 12,78 мг/кг; 5,23 мг/кг и 3,98 мг/кг соответственно.

Для почв различных районов Горного Алтая содержание указанных металлов находится на уровне фона. Почвы Горного Алтая не подвержены антропогенному загрязнению, содержание в них Zn, Cu, Cd и Pb меньше ОДК (ориентировочно допустимых концентраций [13]).

Таблица 3

Среднее содержание ряда химических элементов в торфах и почвах, мг/кг

Регион	Zn	Pb	Cu	Cd
Торф Алтайской горной области	12,78	3,98	5,23	0,30
Почвы Алтайской горной области [12,13]	58,3 ± 0,7	19,1 ± 0,9	40,6 ± 0,6	0,01–0,11
Почвообразующие породы Алтайской горной области [12,13]	55,7 ± 1,6	19,9 ± 1,3	45,1 ± 1,3	0,01–2,2
ОДК* ГН 2.1.7.020-94	110,0	65,0	66,0	1,0

Примечание. * ОДК – ориентировочно-допустимые концентрации.

Иной характер распределения имеет кадмий. Он единственный из указанных элементов концентрируется в торфе. В исследуемых образцах содержание Cd повышается от 2,7 до 30 кратного количества относительно фонового интервала для почв Горного Алтая. Согласно литературным данным аккумуляция Cd в почве зависит от ее состава, свойств, реакции среды и наличия гумуса. В связи с этим представляется очевидным, что имеют место благоприятные условия для прочной фиксации Cd за счет сорбции органоминеральных комплексов кадмия глинистой фракцией болотных вод [14]. Также не исключена возможность в связывании Cd органическим веществом торфа.

В связи с выявленным концентрированием кадмия в торфе относительно его содержания в почвах нами было исследовано количественное содержание подвижных форм микроэлементов в торфах. Подвижность элементов в торфе определяется условиями торфообразования, химическим составом растений-торфообразователей, а также геохимическими условиями исследуемой горной области. Средние содержания подвижных форм Cu, Zn, Pb и Cd определены на глубину деятельного горизонта (0–40 см). Содержание подвижных элементов в торфах варьирует в пределах 1,3–36 %. Наиболее подвижным элементом является Zn – содержание подвижных форм его составляет 36 % от валового

количества Zn в торфе, содержание подвижных форм Pb составляет 18,1 % от валового количества.

При значительном накоплении Cd в торфе содержание его подвижных форм составляет около 10 % от его общего количества, то есть основная масса Cd фиксирована в исследуемом органогенном сырье. Минимальное количество подвижных форм выявлено у меди – 1,3 %, основное ее количество прочно связано с гуминовыми кислотами торфа (табл. 4). По степени подвижности элементов в торфе они образуют следующий ряд:

$$\text{Zn (36 \%)} > \text{Pb (18,1 \%)} > \text{Cd (9,6 \%)} > \text{Cu (1,3 \%)}$$

Иной характер распределения указанные микроэлементы имеют в гуминовых кислотах исследуемых торфов. В таблице 4 приведены выборочные данные для ГК Северо-Восточного Алтая. Наибольшая доля связанных с гуминовыми кислотами микроэлементов характерна для Cu: в среднем на ГК приходится 75 % от ее валового содержания в торфе, что согласуется с литературными данными [12,13].

Таблица 4

Содержание микроэлементов в гуминовых кислотах торфа

Глубина залегания торфа, см	Содержание микроэлементов в составе ГК, мг/кг – в числителе; содержание от валового количества элемента в торфе, % – в знаменателе			
	Zn	Cd	Pb	Cu
Турочакское торфяное месторождение				
50–375	$\frac{2,347}{10,6}$	$\frac{0,052}{15,3}$	$\frac{0,253}{6,2}$	$\frac{4,42}{60,6}$
Кутюшское торфяное месторождение				
25–250	$\frac{5,435}{24,5}$	$\frac{0,013}{3,7}$	$\frac{0,598}{14,6}$	$\frac{4,423}{60,6}$
Среднее по Северо-Восточному Алтаю	$\frac{3,891}{17,6}$	$\frac{0,033}{9,7}$	$\frac{0,426}{10,4}$	$\frac{5,469}{74,9}$

Гуминовые кислоты удерживают в среднем 17,6 % Zn от его валового содержания в исходном торфе. Указанные величины для ГК торфа Турочакского и Кутюшского торфяных месторождений достаточно различаются между собой: 10,6 % и 24,5 % соответственно, что связано с различным составом и структурными особенностями гуминовых кислот низинного Турочакского и переходного Кутюшского торфов.

Вклад ГК в связывание Pb составляет 10,4 %. Согласно литературным данным в почвах и торфах Pb адсорбируется преимущественно глинистыми минералами, гидроксидами железа и алюминия [14]. Полученные нами результаты выявили отсутствие ведущей роли ГК торфа в связывании Pb: лишь 10,4 % от общего содержания Pb в торфе фиксировано гуминовыми кислотами.

Выявленное накопление кадмия в торфах объясняется его поглощением глинистой фракцией. С гуминовыми кислотами, согласно нашим исследованиям, он связан в минимальных количествах – 0,033 мг/кг. В процентном выражении содержание Cd соизмеримо с содержанием Pb в гуминовых кислотах торфа: 9,5 % и 10,4 % соответственно.

Заключение.

1. Исследована зольность и химический состав золы торфа Северо-Восточного и Центрального Алтая. Установлены изменчивость в показателях зольности и количество основных зольных элементов для низинных и переходных торфов.

2. Установлена различная зольность нативных гуминовых кислот торфа и однотипный ряд представителей зольных элементов при средней вариабельности количественных показателей.

3. Выявлены особенности распределения микроэлементов Cu, Zn, Pb и Cd в торфе Горного Алтая по сравнению с равнинными аналогами. Содержание микроэлементов в торфах является проявлением специфики торфогенеза в условиях горного рельефа, климата и вертикальной поясности региона.

5. Доля подвижных форм указанных микроэлементов в торфе составляет Zn (36 %) > Pb (18,1 %) > Cd (9,6 %) > Cu (1,3 %)

6. Для гуминовых кислот горного торфа отсутствует концентрирование токсичных элементов: свинца и кадмия.

7. На долю органической меди, связанной с гуминовыми кислотами торфа, приходится от 60,6 % до 89,2 % от валового содержания Cu в исходном торфе, что определяется особенностями молекулярной структуры и геохимической обстановкой в исследуемом горном регионе.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства образования и науки РФ 5.1161.2011 (ТГПУ) и при финансовой поддержке Гос. Задания № 4.3706.2011 (ГАГУ).

Список литературы

1. Бернатонис П.В., Бернатонис В. К. Геолого-экономическая оценка месторождений торфа // Инновационные аспекты добычи, переработки и применения торфа: материалы межд. конф., посвященной 115-летию Национального исследовательского Томского политехнического университета. – Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2011. – С. 69–71.
2. Савельева А.В., Ларина Г.В. Характеристика органического вещества торфов Горного Алтая // Болота и биосфера: материалы VII Всерос. с международным участием научной школы (13–15 сент. 2010 г., Томск). – Томск: Изд-во Томского гос. пед. ун-та, 2010. – С. 232–235.
3. Характеристика торфа, органоминеральных отложений и глин Горного Алтая, перспективные направления их использования // Инновационные аспекты добычи, переработки и применения торфа: материалы межд.

- конф. посвященной 115-летию Национального исследовательского Томского политехнического университета. – Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2011. – С. 85–89.
4. Казанцева Н.А., Инишева Л.И., Ларина Г.В., Шурова М.В. Характеристика группового состава торфа эвтрофного болота Республики Алтай // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы IV Всерос. конф.; под ред. Н.Г. Базарновой, В.И. Маркина. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2009. – Кн. 1. – С. 161–163.
 5. МУ 31-11/05 Количественный химический анализ проб почв, тепличных грунтов, илов, донных отложений, сапропелей, твердых отходов. ФР.1.34.2005.02119. – 45 с.
 6. ГОСТ 28245.2-89. Методы определения ботанического состава и степени разложения. Введен 01.07.90. – М., 1989.
 7. ГОСТ 11306-83. Методы определения зольности. Введен 01.01.1985. Взамен ГОСТ 7302-73. – М., 1984.
 8. Технический анализ торфа / Е. Т. Базин, В.Д. Копенкин, В.И. Косов [и др.]; под общей ред. Е.Т. Базина. – М.: Недра, 1992. – 431 с.
 9. Аронов С.Г., Нестеренко Л.Л. Химия твердых горючих ископаемых. – Харьков: Изд-во Харьковского гос. ун-та, 1960. – 372 с.
 10. Александрова Л.Н. Современные представления о природе гумусовых веществ и их органоминеральных производных // Проблемы почвоведения. – М.: Изд-во АН СССР, 1962.
 11. Инишева Л.И. Болотоведение: учебник для вузов. – Томск: Изд-во ТГПУ, 2009. – 210 с.
 12. Ельчинина О.А. Биогеохимические аспекты экологической оценки наземных экосистем Алтая: автореф. дисс ... д-р. с.-х. наук. – Новосибирск, 2009. – 34 с.
 13. Мальгин М.А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае. – Новосибирск : Наука, 1978. – 271 с.
 14. Некрасов О.А., Дергачева М. И. Содержание микроэлементов в черноземах обыкновенных и их гуминовых кислотах (на примере Южного Урала) // Вестник ТГУ. Биология. – 2011. – № 4 (16). – С. 7–16.

THE CONTENT AND DISTRIBUTION OF SOME MICROELEMENTS IN PEAT AND HUMIC ACIDS OF ALTAI MOUNTAINS (GORNYY ALTAI)

G.V. Larina, M.V. Shurova, O.V. Kuznetsova, A.V. Chenchubayev, Z.E. Tursunbekov

The paper presents the results of the research on the content of basic ash constituents (macroelements) and some micro-elements in the peat of Altai Mountains and in humic peat acids. The contribution assessment of humic acids in binding some elements (Cu, Zn, Pb, Cd) in the regional peat is carried out.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТООБРАЗОВАНИЯ

Л.К. Малик

Институт географии РАН, г. Москва, Россия

Рассматриваются факторы, способствующие развитию болотообразовательного процесса на Западно-Сибирской равнине, особенности и этапы формирования олиготрофных болот в лесной и лесотундровой зонах. Предлагаются мероприятия по регулированию стока рек Западно-Сибирской равнины.

Гидрологические особенности окружающих болота территорий, способствующие созданию условий переувлажнения, играют большую роль не только в начальный период заболачивания земель, но и на последующих стадиях развития болотного массива. В свою очередь, в результате роста болот и торфяной залежи происходит изменение водного режима не только самих болот (характера их питания и стока болотных вод), но и гидрологических условий прилегающих к болотам территорий.

Начинаются эти изменения с повышения уровня грунтовых вод в понижениях и западинах с растущими торфяниками. По мере выравнивания рельефа за счет накопления торфа уменьшаются уклоны поверхности грунтовых вод. Формирующийся впоследствии на определенной стадии развития болота выпуклый рельеф торфяника приводит к появлению уклонов грунтовых вод, направленных от центра к периферии, а также (когда уровень грунтовых вод поднимается до поверхности болота) аналогичных уклонов поверхностных вод. Это затрудняет поверхностный и грунтовый сток с суходолов, окружающих болота, повышает уровень грунтовых вод на прилегающих территориях и содействует распространению процесса заболачивания на более высокие участки суши.

Размеры зоны влияния торфяников на окружающие ландшафты могут быть очень велики. В подзоне среднетаежных лесов в условиях незначительных амплитуд колебаний отметок поверхности (не более 0,5 м), однотипного характера песчаных отложений и неглубокого залегания уровня грунтовых вод (не более 3 м) не заболоченные лесные территории испытывают под влиянием роста торфяников воздействие повышения уровня грунтовых вод на довольно значительных площадях.

В бассейнах рек с повсеместным заболачиванием и интенсивно развивающимися процессами накопления торфа происходит активное заполнение наносами и торфяниками речных долин, их выполаживание и повышение базиса эрозии.

Таким образом, болота ослабляют и без того малую эрозионную деятельность речной сети Западной Сибири, вызывая ее дряхление и дальнейшее ухудшение условий дренирования местности. Увеличение площадей болот способствует также сокращению об-

ластей питания подземных вод, что влечет за собой изменение соотношения величин подземного и поверхностного стока в реки.

Болотные массивы, их слабо проницаемый инертный горизонт, сдерживают фильтрацию воды в подстилающие болота грунты, и основная часть влаги стекает с болот не русловым стоком через систему болотных водотоков, а путем фильтрации в относительно небольшом верхнем слое торфяной залежи.

Однако, несмотря на ограниченность дренирующей роли болотных рек в отводе воды за пределы болотных систем, в ряде случаев степень обводненности отдельных участков болот и в связи с этим интенсивность их роста в различных направлениях целиком зависят от дренирующей активности болотных рек.

Так, в зависимости от наличия или отсутствия рек на окраинах болот, отводящих воду за пределы болотных массивов, происходит или рост торфяной залежи в высоту, или разрастание болота вширь, т. е. болотные водотоки могут сдерживать «расползание» болот и тем самым снизить темпы заболачивания окружающих суходолов.

Как уже указывалось, на определенном этапе развития формирующегося в котловине или понижении рельефа торфяника его поверхность приобретает выпуклую форму и сток направляется от центра болотного массива к периферии.

В этом случае, если на контакте болота с суходолом обеспечен хороший естественный дренаж в виде ручьев и речек, отводящих воду во внешние водоприемники, то разрастания болота по площади не происходит или оно идет очень медленно. Центральная же часть массива продолжает повышаться, возрастают уклоны поверхности и уровня грунтовых вод, особенно на окраинах, увеличивается проточность, уменьшается увлажненность торфяника, появляется представленная сосной древесная растительность, наиболее густая на окраинах болота, дренируемых реками.

Эта стадия развития болотного массива (по классификации [1]), характеризующаяся вторичным облесением, может при благоприятных условиях сохраняться очень долго, особенно при небольших размерах болота и невысоких темпах роста его в высоту.

Ухудшение дренирующего действия ручьев или речек на окраинах болота, например из-за зарастания, вызывает на этих участках подъем уровня грунтовых вод, сопровождающийся гибелью древесной растительности, усиленным торфонакоплением, повышением поверхности и выравниванием рельефа болотного массива.

В том случае, если на периферии активно растущего болота нет сформировавшейся сети, отводящей воду за пределы болотного массива, то происходит переобводнение его окраин. Это происходит за счет стока вод с центральных частей, а также за счет стока грунтовых и поверхностных вод с суходольных площадей в котловину, занятую болотом

(последнее возможно до тех пор, пока поверхность минеральных грунтов выше поверхности торфяной залежи). В результате окраины болотных массивов оказываются чрезвычайно переувлажненными, и уровни грунтовых вод на них располагаются у поверхности или на поверхности болота.

Разрастание болотных массивов по площади вследствие активно протекающего в Западной Сибири болотообразовательного процесса тесно связано с современной активной речной сетью. При достижении болотами границ хорошо дренируемых реками участков их рост в горизонтальном направлении происходит уже параллельно этим участкам, и очертания границ болотных массивов приобретают характерные контуры, связанные с рисунком речной сети.

Захватит ли болотообразовательный процесс долину реки, произойдет ли ее отмирание (полное заторфовывание и выполаживание склонов или превращение реки в болотный водоток) зависит от многих факторов, в том числе гидрологических, определяющих пропускную способность русел и высоту стояния уровней воды.

Междуречные пространства Западно-Сибирской равнины характеризуются обилием западин, блюдц и озер незначительной глубины. Количество последних достигает в пределах лесотундровой и лесной зон примерно 700 тыс. и почти все они (99 %) имеют площадь водного зеркала меньше 1 км² [2]. В ряде районов акватория озер превышает площадь суши [3]. Особенно велики скопления озер на Ямале, в Сургутском Полесье, в некоторых частях междуречья Обь – Иртыш. Эти многочисленные депрессионные понижения служат местными базисами эрозии, затрудняющими поверхностный и грунтовый сток в реки.

Именно поэтому при относительно глубоком врезе долин крупных рек густота речной сети на Западно-Сибирской равнине невелика и овражно-балочная сеть на междуречных пространствах почти не развита. Зонами активных эрозионных процессов являются долины рек и приречные участки, где формируются лога и овраги. На водоразделах же, несмотря на сильную увлажненность, при плоском рельефе энергия потоков настолько мала, что линейная эрозия оказывается невозможной и речная сеть не образуется [4].

В условиях Западной Сибири, несмотря на относительно большое в лесных и лесотундровых заболоченных районах количество осадков, густая речная сеть формироваться не может, так как определяющим фактором ее развития является рельеф территории.

Влияние климатических условий на процессы формирования речной сети, конечно, сказывается. Оно отражается на характере распределения густоты речной сети по территории, возрастающей от южных засушливых районов к северным. Однако в пределах

лесной и лесотундровой заболоченных зон распределение густоты речной сети имеет региональный характер и тесно связано с рельефом.

Так, наибольшая густота наблюдается в районах возвышенностей и на предгорных равнинах, где ее коэффициенты достигают $0,40 \text{ км/км}^2$. В сильно заболоченных низменных районах речная сеть очень разрежена – около $0,20 \text{ км/км}^2$ при средней ширине междуречий до 15 км, т. е. при максимальном удалении от реки до 8 км. Однако в бассейнах рек Сургутского Полесья, характеризующихся очень малым эрозионным врезом рек, густота речной сети достигает $0,38 \text{ км/км}^2$.

Важнейшими факторами дренирующего воздействия рек, определяющими интенсивность их работы в качестве естественных дрен в период открытого русла, являются высота и длительность их заполнения паводочными водами. Чем меньше высота уровней и продолжительность их стояния, тем глубже базис дренирования по отношению к обширным междуречным пространствам и тем продолжительней период относительно активной дренирующей работы рек.

Длительно повышенное стояние уровней воды в реках ухудшает условия стока, так как оно замедляет скорость стекания воды в речную сеть. В условиях избыточного увлажнения это вызывает повышение уровня грунтовых вод и активизацию процессов заболачивания.

Между тем, рекам переувлажненных районов Западной Сибири свойственно растянутое весенне-летнее половодье, захватывающее большую часть безледного периода, причем половодья характеризуются интенсивным повышением уровней весной, большой длительностью стояния и спада высоких уровней, близких к наивысшим за год.

На Оби и Иртыше длительность стояния паводочных уровней достигает в их среднем и нижнем течении 3–4 месяцев, а в многоводные годы даже 5 месяцев, что является наибольшей продолжительностью для крупных рек России. Продолжительность половодья западносибирских рек связана в первую очередь с рельефом территории, для которого характерны, как указывалось, незначительные уклоны поверхности водосборов и русловой сети. Этот фактор определяет интенсивность стока, пропускную способность русел и в значительной степени условия движения водных масс в речной сети.

Наличие множества меандр и разветвлений приводит к замедлению процессов руслового стока. С интенсивным меандрированием связано также подмывание и разрушение пойм, надпойменных террас и коренных берегов, особенно интенсивное в период весенних половодий.

Обрушение залесенных берегов (как и молевой сплав леса) способствует формированию лесных заломов, подпруживающих реки на несколько десятков

километров. Все эти особенности западносибирских рек значительно снижают активность сброса ими снеговых и дождевых вод и способствуют обильному в течение почти всего безледного периода переполнению русел паводочными водами.

Очень большое влияние на ослабление пропускной способности речных русел и на увеличение длительности половодья оказывают подпорные явления, наблюдающиеся в различных звеньях речной сети и охватывающие не только нижнее, но и нередко и среднее течение рек. Изучение подпорных явлений в избыточно увлажненных районах Западно-Сибирской равнины позволило выделить ряд важнейших взаимосвязанных факторов, определяющих условия возникновения, дальность распространения в русловой сети и продолжительность подпоров.

К ним относятся, во-первых, климатические факторы – направление продвижения фронта снеготаяния и характер развития климатических и, следовательно, гидрологических процессов. Во-вторых, гидрологические – уклоны, амплитуды колебаний уровней, мощность и время формирования волн половодья, а также разновременность вскрытия ледяного покрова на реках различного порядка и, в-третьих, геоморфологические – рельеф бассейна, определяющий уклоны водотоков, характер долины и поймы реки.

Не менее сложное взаимоотношение формирования волн половодья наблюдается на реках второго, третьего и более низких порядков. Например, Конда подпирается Иртышом и в свою очередь подпирает во время прохождения на ней половодья воды своих притоков, например, левобережного притока Мулымьи. Таким образом, в период прохождения весенне-летних половодий на реках Западно-Сибирской равнины создается сложная система взаимных подпоров, оказывающих большое влияние на интенсивность сброса реками паводочных вод.

Изучение режима затопления на реках различного порядка с целью установления воздействия пойм на внутригодовое распределение стока, увеличение продолжительности половодья и связанное с этим ухудшение условий дренирования западносибирскими реками своих водосборов – одна из главных проблем в комплексе вопросов, интересующих гидрологов в связи с затоплением пойм. С этих позиций, учитывая важность для Западной Сибири упомянутой проблемы, мы детально рассмотрим некоторые её практические аспекты.

Для достижения ощутимых результатов (снятия части подпоров, уменьшения затопления пойм, общей продолжительности и высоты половодий на реках) необходимы водохранилища многолетнего регулирования стока, т. е. с весьма значительными полезными объемами, позволяющими увеличить водность рек в маловодные годы за счет многоводных.

Целесообразность создания подобных водохранилищ в верхней части бассейна Оби требует специального изучения, поскольку оно может привести к затоплению южных районов Западно-Сибирской равнины и Алтая и нанести невосполнимый ущерб различным отраслям народного хозяйства.

Поднимаемый вновь вопрос об изъятии стока из Оби и ее притоков, очевидно, может разрешить в определенной степени проблему сокращения площадей затопления при создании водохранилищ в верховьях крупных рек и на верхних отрезках их средних течений, способствуя одновременно осушению территории Западной Сибири. Но совершенно очевидно, что в случае сооружения на Оби и Иртыше водохранилищ для переброски вод, они не должны располагаться в зонах с прогрессивным заболачиванием и в районах геологических структур, перспективных на нефть и газ. Вопрос очень серьезный и требует основательной проработки.

Перераспределение стока – наиболее эффективное средство и для снижения высоты и времени затопления пойм. Этому может способствовать и проведение ряда мер в самих поймах. К ним относятся обвалование русел, усиление дренирующей роли пойменных проток путем их расчистки и углубления, сооружение каналов для более быстрого спуска паводочных вод, посадка кустарников и деревьев на прирусловых валах для увеличения его высоты и для осаждения взвешенных наносов.

Наряду с регулированием стока более активной дренирующей работе рек будет способствовать также ряд мероприятий меньшего масштаба – спрямление излучин, расчистка русел от древесины и карчей, уменьшение многоруканности. Все эти меры приведут к омоложению речной сети, активизации ее деятельности и в совокупности с местными мелиоративными мероприятиями на водоразделах – к уменьшению переувлажненности, прекращению процессов заболачивания и до некоторой степени восстановлению на Западно-Сибирской равнине прошлой природной обстановки, когда обширные площади были покрыты древесной растительностью.

Однако проектирование крупных гидротехнических и местных мелиоративных мероприятий, направленных на осушение больших площадей болот, в свою очередь, выдвигает ряд проблем, требующих для их разрешения проведения научно-исследовательских работ различных направлений. К ним относятся прогноз изменения водного режима рек и климатических условий, изучение возможных изменений границ многолетней мерзлоты, а также некоторых компонентов природной среды (почвенного и растительного покрова). В условиях ожидаемого потепления климата эти процессы еще и не предсказуемы.

Следует также учитывать, что природное осушение территории может привести к увеличению повторяемости засух, наблюдающихся в настоящее время даже в таежной зоне. Недостаток воды в весенне-летний период может вызывать излишнее переосушение торфяных болот. Это указывает на необходимость планирования на отдельных территориях обводнительных мер. Это особенно относится к южным заболоченным районам Западной Сибири. Например, в Барабе, остро нуждающейся в осушительных мероприятиях, гряды и в настоящее время страдают от недостатка влаги. Поэтому в комплекс благоустройства территории Западно-Сибирской равнины должны входить мероприятия не только по сбросу, но и по задержанию стока, особенно на повышенных элементах рельефа.

Список литературы

1. Галкина Е.И. Болотные ландшафты и принципы их классификации // Сб. науч. работ Ботанического ин-та им. В. Л. Комарова (1941–1943). – Л.: Изд-во АН СССР, 1946.
2. Доманицкий А.П., Дубровина Р.Г., Исаева А.И. Реки и озера Советского Союза: Справочные данные. – Л.: Гидрометеиздат. 1971.
3. Рихтер Г.Д. Озера Западно-Сибирской низменности // Природа. – 1957. – № 9.
4. Львович М.И. Реки СССР. – М.: Мысль, 1971.

HYDROLOGICAL FEATURE OF OLIGOTROPHIC MIRE-FORMATION

K.L. Malik

This article describes factors, promoting development peatforming process on West-Siberian plain, particularities and stages of the shaping oligotrophic mires in forest and forest - tundra zone. The actions are offered on regulation of the sewer of the rivers West-Siberian plain.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПРОПЕЛЕЙ И ПРОДУКТОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ЭКОНОМИКИ

Г.В. Плаксин*, А.К. Чернышев**, В.И. Зайнчковский***, В.А. Левицкий****, О.И. Кривонос***, Д.В. Скачков***

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем переработки углеводов СО РАН, г. Омск, e-mail: plaksin@ihcr.ru

**Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Омская государственная медицинская академия", г. Омск, e-mail: dr_chak@omskmail.ru

***Институт ветеринарной медицины и биотехнологии Федерального Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Омский государственный аграрный университет», г. Омск, e-mail: zavet54@mail.ru

****ООО "ВЕГА-2000-Сибирская органика", г. Омск, e-mail: sapropel@siborganics.com

Изложены результаты исследований по изучению химического состава сапропелей месторождений Омской области, их физико-химической переработке и использованию продуктов переработки в различных отраслях экономики.

Введение. Сапропели – донные отложения пресноводных водоемов – являются ценным органическим и органоминеральным сырьем для различных отраслей экономики. Запасы сапропеля с естественной влажностью в России оцениваются, по различным источникам, от 38 до 250 млрд. м³, с влажностью 60 %(масс.) от 40 до 92 млрд. т [1]. В озерах Западной Сибири сосредоточены огромные залежи сапропелей, но запасы их практически неизвестны, геологическая разведка проведена для ограниченного количества водоемов. Так, в Тюменской области из более 300 тыс. больших и малых озер обследовано 497 и предполагаемые запасы сапропеля в них составляют 1398,7 млн. т. В Новосибирской области разведанные запасы сапропеля определяются в 25 млн. м³, а предполагаемые 2,5 млрд. м³ [2]. Запасы сапропеля в Омской области оцениваются в 156–186 млн. тонн (300–350 млн. м³) [3]. В работе представлены результаты исследований химического состава сапропелей Омской области, продуктов их физико-химической переработки и использованию продуктов переработки в различных отраслях экономики.

Объекты и методы. В качестве объектов исследования использованы *сапропели* 17 озер Знаменского, Тарского, Тюкалинского и Саргатского районов Омской области. Предложена схема переработки сапропелей, включающая на первых этапах экстракцию сапропелей органическими растворителями или растворителями, находящимися в сверхкритическом состоянии (например, диоксид углерода), и дальнейшую термическую обработку или каталитическое терморазложение.

Комплексом химических и физико-химических (газовая и жидкостная хромато-масс-, ИК-, ЯМР- и электронная спектроскопия, электронная микроскопия, EDS и РФА методы, порометрия и адсорбционные методы и др.) методов анализа изучены органическое и

минеральное вещество нативных сапропелей а также жидкие, твердые и газообразные продукты переработки сапропелей.

Результаты исследования и обсуждения. *Химический состав и свойства нативных сапропелей.* Исследованные сапропели [4, 5] содержат от 8,5 до 84,0 (в % масс.) органического вещества (ОВ). Органическое вещество исследованных сапропелей имеет следующий элементный состав (в % масс. на сухое вещество): углерод – 41,8–53,8; водород – 5,4–7,6; кислород – 18,6–37,4; азот – 4,8–24,1; сера – 0,7–2,5. Сапропели отличаются низким содержанием углерода и повышенным содержанием азота. ОВ содержит следующие группы веществ (в % масс.): битумы – 2,1–4,4; гуминовые вещества – 40,1–47,0; легкогидролизуемые – 23,9–31,2; трудно гидролизуемые – 5,7–8,7; негидролизуемый остаток – 10,8–19,0. В нативных сапропелях обнаружено до 17–20 аминокислот с суммарным содержанием 3,22–8,27 г/кг_{св}.

Исследованные сапропели относятся к кремнеземистому типу, содержание макроэлементов в минеральной компоненте составляет (в % масс.): оксид кремния – 51,3–67,3; оксид кальция – 1,4–15,0; оксид железа (Fe^{2+}) – 0,8–3,3; общий (пятиокись) фосфор – 0,04–0,68. Кроме указанных макроэлементов в составе минеральной части обнаружены следующие микроэлементы (мг/кг): марганец (117–873), хром (4,03–39,8), никель (9,36–25,6), цинк (23,4–75,4), кадмий (0,20–0,82), молибден (0,29–1,37), кобальт (3,52–13,1), медь (8,36–18,7). В следовых количествах обнаружены селен, олово, стронций, иттрий, рубидий, титан, бром, хлор, цезий, бериллий, скандий, свинец, вольфрам.

Химический состав и свойства продуктов переработки сапропеля. Выход липофильных (ЛВ) и водорастворимых веществ (ВРВ) в процессе экстракции сапропелей оз. Жилой Рям жидким диоксидом углерода в диапазоне температур 20, 25 °С и давлении 80–200 атм. составляет 1,6–2,0 % и 0,1–2,2 % на ОВ, соответственно. Анализ водорастворимой части экстракта показал наличие аминокислот 0,06–1,2 мг/кг ОВ, в липофильной части 15,64–435 мг/кг ОВ. В ВРВ идентифицировано 14 аминокислот с содержанием до 14,2 % от общего содержания органических веществ в ВРВ. Содержание витамина Е в ВРВ достигает 129,42 мг/кг ОВ, а витамина В₂ – 2,77 мг/кг ОВ. В продуктах СКЭ также обнаружены ферменты (креатинин, супероксидсмутаза, щелочная фосфатаза, кислотная фосфатаза, аспаратаминотрансфераза, аланинаминотрансфераза, креатининкиназа МВ, α-амилаза, лактатдегидрогеназа, гамма-глутамилтрансфераза, глутатионпероксидаза), триглицериды, фосфолипиды и пептиды. Суммарное содержание БАВ в водорастворимых экстрактах составляет 43,45 мг/л.

Установлено, что предварительная экстракция сапропелей сверхкритическим диоксидом углерода приводит к интенсификации процессов дальнейшей их термической

переработки. В процессе термической переработки выход жидких продуктов из экстрагированных сапропелей достигает 80 % масс. на ОВ, в то время как для нативных сапропелей выход не превышает 32 %. Жидкие продукты, полученные при термической переработке экстрагированных представлены, преимущественно, тетрагидронафталином (цис- и транс-), предельными и непредельными углеводородами C_{12} - C_{24} , в то время как жидкие продукты термической переработки нативных сапропелей содержат, главным образом, фенол и его производные, азотсодержащие гетероциклические соединения.

При терморастворении нативных и экстрагированных сапропелей в среде протондонорных растворителей максимальный выход жидких продуктов для экстрагированных сапропелей достигается при меньших температурах. С увеличением температуры процесса, увеличивается содержание в жидких продуктах тяжелых полиароматических соединений и их алкил- и кислород-замещенных. Синтезированы и исследованы органические гидрофобные широкопористые материалы с удельной поверхностью до $6 \text{ м}^2/\text{г}$ и с суммарным объемом пор до $0,36 \text{ см}^3/\text{г}$. Эти материалы перспективны для получения нефтяных сорбентов – для сбора нефти и нерастворимых в воде нефтепродуктов и органических веществ с поверхности воды и водоемов, а также любой твердой поверхности. Нефтяные сорбенты обладают нефтеемкостью до $2,5\text{--}6,0 \text{ Г}_{\text{нефти}}/\text{Г}_{\text{сорбента}}$, влагоемкостью до $1,0\text{--}1,5 \text{ Г}_{\text{воды}}/\text{Г}_{\text{сорбента}}$, плавучестью не менее 72 часов.

В результате термической обработки сапропелей получены твердые пористые углеродсодержащие продукты с удельной поверхностью до $200 \text{ м}^2/\text{г}$, суммарным объемом пор до $0,24\text{--}0,91 \text{ см}^3/\text{г}$ и преимущественным радиусом пор $2000\text{--}10000 \text{ \AA}$. Дальнейшая паровоздушная активация позволяет увеличивать суммарный объем пор до $1,40 \text{ см}^3/\text{г}$. Пористые углеродсодержащие материалы из сапропеля перспективны в качестве сорбентов в процессе водоподготовки питьевой воды, для очистки природных, технологических и бытовых сточных вод от водорастворимых загрязнений органическими веществами и нефтепродуктами, рекультивации почв, носителей катализаторов и в ряде других сорбционных и каталитических процессах.

Установлено, что основными компонентами газов термической деструкции органического вещества сапропелей являются: % об. CO ($4,4\text{--}10,7$ %), CO_2 ($49,8\text{--}93,1$ %), CH_4 ($4,1\text{--}10,8$ %), H_2S ($2,5\text{--}5,3$ %), H_2 ($1,8\text{--}12,6$ %). С повышением температуры процесса уменьшается содержание CO_2 и увеличивается содержание остальных газов CO , CH_4 , H_2S , H_2 . При температуре процесса $500 \text{ }^\circ\text{C}$ в газовых продуктах обнаружены дополнительные компоненты: C_2H_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_3H_6 , C_4H_{10} и др. Расчетная теплотворная способность газов составляет $1700\text{--}10800 \text{ кДж/кг}$.

Применение сапропелей и продуктов переработки. Изучение эффективности использования в качестве удобрений сапропеля натурального в подтаёжной и южной лесостепной зонах Омской области показало (СибНИИ СХ), что использование сапропелей позволяет усовершенствовать систему применения удобрений под сельскохозяйственные культуры для различных почвенно-климатических условий Омской области и обеспечить повышение почвенного плодородия и продуктивности культур на 10–15 % [6].

Сапропель используется в качестве кормовой добавки в рационах крупнорогатого скота, свиней и птицы. Использование сапропеля в рационах кормления подсвинков на откорме благотворно влияет на повышение продуктивности, а также качества мяса и сала [7].

Введение сапропеля Омской области в рацион кур-несушек способствовало повышению сохранности, улучшению качества яиц, экономии кормов и снижению их стоимости. При введении этого же сапропеля в рацион цыплятам-бройлерам при свободном доступе к кормам в количестве 10 и 15 % улучшается их жизнеспособность на 2,0–2,6 %. В группах, получавших сапропель, живая масса бройлеров для всех возрастных периодов была выше, а среднесуточный прирост живой массы в опытных группах был выше на 1,9–2,2 г. по сравнению с контрольной. Введение пропиленгликолевого экстракта сапропеля в рацион цыплят мясных пород способствовало повышению интенсивности роста цыплят на 5,6–10,0 % и снижению затрат корма на 1 кг прироста живой массы на 6,0–8,5 %. Эффективность производства мяса бройлеров при использовании экстракта сапропеля выше на 14,3–17,0 % по сравнению с контролем [8].

Применение в ветеринарии сапропеля и продуктов его переработки позволили создать продукты, обладающие выраженными антиоксидантными, противосептическими, антипротозойными, аскарицидными, репеллентными, стимулирующими и антитоксическими свойствами. Так, например, на основе сапропелевого дегтя созданы экспериментальные образцы лекарственных средств. Мазь дегтярная используется для лечения животных с заболеванием кожи бактериального и клещевого происхождения. Эмульсия из сапропелевого дегтя в разных препаративных формах оказывает лечебный эффект при послеродовых эндометритах, наружных гнойно-некротических процессах, а также обеспечивает репеллентное действие. Щелочный гидролизат сапропеля (ЩГС) оказывал благотворное влияние на обмен веществ, состояние красной крови и повышал прирост массы тела телят на 15–20 %. Применение ЩГС ослабленным и с признаками диареи телятам и поросётам оказывало лечебный и профилактический эффект. Положительный результат получен при сочетании ЩГС с симптоматическими и этиотропными веществами. Положительные результаты получены при применении пропиленгликолевого экстракта сапропеля «ЭС-2» как

неспецифического стимулятора в профилактике болезней и комплексной терапии животных [9–11].

Заключение. Изучено применение сапропеля и продуктов его переработки в медицине и фармакологии. Показано, что экстракты сапропеля и продуктов его термической переработки обладают фармакологической активностью и антиоксидантными свойствами, и их можно рассматривать в качестве перспективных лечебных компонентов как парафармацевтических форм (мази, гели, кремы), так и в качестве лекарственных форм энтерального и парентерального применения. Имеется опыт применения линимента сапропелевого в гнойной хирургии у пациентов с термическими ожогами и кожными ранами, супозитариев сапропелевых при хроническом простатите [12].

Список литературы

1. Штин С.М. Озерные сапропели и их комплексное освоение / под ред. И.М. Ялтанца. – М.: Изд. Московского горного ун-та, 2005. – 373 с.
2. Бакшеев В.Н. Сапропель вчера, сегодня и завтра. – Тюмень: Блиц-Пресс, 1998. – 80 с.
3. Шмаков П.Ф. Сапропелевые ресурсы озер Омской области и их рациональное использование/ П.Ф. Шмаков, А.Г. Третьяков, В.А. Левицкий // Кормовые ресурсы Западной Сибири и их рациональное использование: Сб. Научных трудов ИВМ ОмГАУ. – Омск: Областная типография, 2005. – С. 51–70.
4. Плаксин Г.В. Термохимическая переработка озерных сапропелей: состав и свойства продуктов/ Г.В. Плаксин, О.И. Кривонос // Российский химический журнал. – 2007. – № 4. – С. 140–147.
5. Кривонос О.И. Разработка нового подхода к комплексной переработке сапропелей: Автореф. ... дис. канд. хим. наук. – Омск, 2012.
6. Храмцов И.Ф. Эффективность применения сапропеля в земледелии Омской области/ И.Ф. Храмцов, Н.А. Воронкова, А.И. Мансапова, О.Ф. Хамова // Сапропель и продукты его переработки: Матер. междунаучно-практической конф. (4–5 декабря 2008, Омск). – Омск, 2008. – С. 4–45.
7. Шмаков П.Ф. Мясная продуктивность подсвинков крупной белой породы при использовании в рационах сапропеля/ П.Ф. Шмаков, Е.Г. Шилов, В.А. Левицкий // Кормовые ресурсы Западной Сибири и их рациональное использование: Сб. научных трудов ИВМ ОмГАУ. – Омск: Областная типография, 2005. – С. 109–118.
8. Левицкий В.А. Сапропель и продукты его переработки в кормлении птицы// Кормовые ресурсы Западной Сибири и их рациональное использование: Сб. научных трудов ИВМ ОмГАУ. – Омск: Областная типография, 2005. – С. 103–108.
9. Зайнчковский В.И. Применение сапропеля и продуктов его переработки в ветеринарии/ В.И. Зайнчковский, В.Д. Конвай, Е.И. Воцатынский [и др.] // Сапропель и продукты его переработки: Матер. междунаучно-практической конф. (4–5 декабря 2008, Омск). – Омск, 2008. – С. 4–45.
10. Миловская Г.А. Гуматом – универсальный стимулятор живых систем/ Г.А. Миловская, Д.В. Скачков // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность!: мат. IV Всерос. молодежной науч.-техн. конф. с между. участием (15–17 ноябр. 2011 г., Омск): 2 кн. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – С. 229–231.
11. Мартыненко Н.М. Новое средство защиты животных на основе омского сапропеля/ Н.М. Мартыненко, Е.А. Мартыненко, Д.В. Скачков // Динамика систем, механизмов и машин: VII Междунар. науч.-техн. конф. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009. – С. 416–420.
12. Сапропель и продукты его переработки: Матер. междунаучно-практической конф. (4–5 декабря 2008 г., Омск). – Омск, 2008. – 110 с.

THE USE OF THE SAPROPELS AND PRODUCTS OF THEIR TREATMENT IN VARIOUS INDUSTRIES

G.V. Plaksin, A.K. Chernishev, V.I. Zaynchkovski, V.A. Levitski, O.I. Krivonos, D.V. Skachkov

The results of the study of chemical composition of the sapropels of Omsk district are exposed. The question of the sapropels physical and chemical processing and the use of the obtained products in different industries are considered.

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ РЕДОКС-АКТИВНЫХ ГУМИНОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

А.В. Савельева, Н.В. Юдина

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, E-mail: anna@ipc.tsc.ru, natal@ipc.tsc.ru

Механохимическая модификация ГК с оксигидроксидами железа увеличивает содержание фенольных гидроксидов, что свидетельствует о протекании твердофазной реакции. Структурные преобразования отмечены в периферической части гуминовых макромолекул, включающих алкильные и углеводные заместители.

Введение. Гуминовые кислоты (ГК) являются высокомолекулярными, поликонденсированными ароматическими биополимерами нерегулярного строения, окруженными по периферии различными функциональными группами. Наличие в составе карбоксильных, гидроксильных, карбонильных, азот и серосодержащих групп обуславливает реакционную способность ГК в реакциях окисления-восстановления и комплексообразования, определяет формы существования редокс-активных металлов в окружающей среде и влияет на процессы миграции тяжелых металлов в водных и почвенных экосистемах и их биодоступность для живых организмов [1].

Указанные свойства определяют возможность практического применения ГК в качестве редокс-, комплексообразующих агентов при проведении рекультивации загрязненных металлами сред и биостимуляторов в сельском хозяйстве. Для усиления требуемой функции ГК перспективным направлением является их твердофазная механохимическая модификация.

Целью работы являлось исследование влияния условий твердофазной механохимической модификации на состав и окислительно-восстановительные свойства ГК.

Объекты и методы. В качестве объектов исследования были выбраны ГК верхового торфа Томской области. Гуминовые кислоты выделяли из торфа после удаления водорастворимых и легкогидролизуемых компонентов, обрабатывая его 0,1 н. NaOH из расчета 150 мл раствора на 1г навески. Оксигидроксида железа (ОГЖ) были получены из минерального осадка, отобранного из отстойника с водозабора Томского Академгородка. Осадок подвергали 3-часовой термической обработке при температурах 25 и 250 °С, соответственно были получены ОГЖ-25 и ОГЖ-250. Концентрация ОГЖ в модифицированных ГК составляла 1–3 % мас. Не прореагировавшие реагенты ОГЖ удаляли переосаждением модифицированных ГК в 0,1 н растворе NaOH.

Методом потенциометрического титрования растворов ГК было определено количество функциональных групп. Растворы ГК с концентрацией 0,05 г/л титровали 0,1 н раствором HCl, для поддержания постоянной ионной силы раствора использовали 3 н

раствор NaCl. Полученную смесь титровали на иономере И – 160. На полученных кривых титрования были выявлены три четких перегиба в области pH $10 \div 11$ (фенольные гидроксилы), pH $6,5 \div 9,5$ (карбоксильные группы при ароматическом кольце), pH $2,5 \div 6,5$ (карбоксильные группы при углеводородных цепочках). Расчет точки эквивалентности проводили с помощью численной интерполяции.

Фрагментный состав ГК был определен ЯМР ^{13}C – спектроскопией. Регистрацию спектров в растворе осуществляли на радиоспектрометре Bruker 300 (Германия) при рабочей частоте 100 МГц с использованием методики Фурье-преобразования с накоплением. Ширина развертки спектра составляла около 26000 Гц, время регистрации сигнала спада свободной индукции (ССИ) – 0,6 с, интервал между импульсами (Td) – 8 с, при ширине импульса 90° , длительность накопления спектра 24 ч. При регистрации был использован внешний стандарт MeOH/D₂O ($\delta = 49,0$ м.д.). Навеску препарата 50–70 мг растворяли в $0,7 \text{ см}^3$ 0,3 М NaOD.

Молекулярно-массовое разделение ГК проводили методом гель – хроматографии на сефадексе G-75 с использованием в качестве элюирующего агента 2 М раствор мочевины. Оптическую плотность регистрировали на спектрофотометре СРЕКОЛ-21 при длине волны 465 нм.

Механохимические твердофазные реакции ГК с ОГЖ осуществляли на планетарной мельнице-активаторе АГО-2С (разработка ИХТТМ СО РАН) в течение 2 мин. со скоростью вращения барабанов 1350 об/мин.

Результаты исследований и обсуждение. Анализ содержания кислородсодержащих групп показал, что ГК верхового торфа обогащены фенольными гидроксилами и карбоксильными группами при ароматическом кольце (табл. 1). Механоактивация ГК без реагентов приводит к снижению содержания фенольных гидроксидов и карбоксильных групп при ароматическом кольце и незначительному увеличению содержания карбоксильных группы при углеводородных цепочках. Модификация ГК с ОГЖ-250 увеличивает содержание фенольных гидроксидов. Обогащение данными группами возможно вследствие взаимодействия ГК с термически обработанным оксидом железа кристаллической структуры, что может свидетельствовать о протекании твердофазной химической реакции.

Поскольку ГК являются полидисперсными веществами, различающимися молекулярной структурой, поэтому одной из важных их характеристик являются молекулярно-массовое распределение.

Таблица 1

Влияние механообработки ГК на содержание функциональных групп

Образец	Содержание, мг-экв/г		
	Ar-OH	Ar-COOH	Alk-COOH
ГК	7,2	6,2	0,7
ГК МА	6,2	3,1	1,0
ГК + 1 % ОГЖ – 25	7,7	4,3	1,3
ГК + 3 % ОГЖ – 25	8,1	4,0	0,9
ГК + 1 % ОГЖ – 250	8,9	1,9	0,9
ГК + 3 % ОГЖ – 250	8,6	4,7	0,9

Примечание. МА – механоактивация, Ar-OH – фенольные гидроксилы, Ar-COOH – карбоксильные группы при ароматическом кольце, Alk-COOH – карбоксильные группы при углеводородных цепочках.

На основании анализа гель-хроматограмм растворов ГК можно выделить две основные фракции в высоко- и низкомолекулярной области (рис. 1). Исходные ГК имеют один широкий максимум и небольшие пики в низкомолекулярной области. Механоактивация без реагентов приводит к разукрупнению макромолекул ГК, максимум смещается в более низкомолекулярную область. ГК торфа, модифицированные с ОГЖ-250, отличаются от ГК МА еще большим смещением основного максимума в низкомолекулярную область.

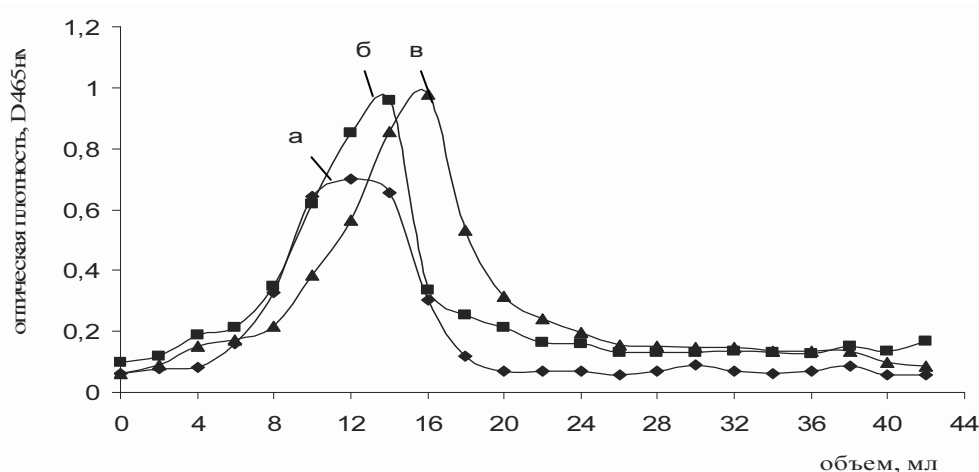


Рисунок 1. Молекулярно-массовое распределение ГК: а – ГК, б – ГК МА без реагентов, в – ГК с 1 % ОГЖ-250

Между объемом выхода и средней \bar{M}_w ГК пропускаемых через сефадекс, существует зависимость [2], которая выражается эмпирической формулой

$$\lg \bar{M}_w = 5,624 - 0,752 (V_e/V_0)$$

С помощью этой формулы нами были рассчитаны средние молекулярные массы модифицированных ГК. Анализ полученных данных показал, что средняя молекулярная

масса исходных ГК верхового торфа достигает 32000 Да. Механоактивация ГК как в присутствии ОГЖ так и без него снижает \overline{M}_w в 1,5–2 раза. При этом оптическая плотность модифицированных ГК значительно выше, чем в исходных, что может свидетельствовать об изменении их состава в процессе механоактивации.

Для исследования изменений в составе продуктов, полученных механохимическим способом, применяли ЯМР ^{13}C спектроскопию. В соответствии с детальной расшифровкой в спектрах отмечено отчетливое проявление алифатических и ароматических углеродных атомов, связанных с кислородом и представляющих разнообразные функциональные группы – гидроксильные, карбоксильные, фенольные, спиртовые, углеводные. Во всех спектрах также отмечены сигналы химических сдвигов 168–162 м.д., соответствующие атомам углерода в связях с неорганическими карбонатами. В таблице 2 приведен фрагментный состав исходных ГК и продуктов, полученных после механоактивации с разными формами оксигидроксида железа.

Таблица 2

Распределение углерода по структурным фрагментам (в % от общего содержания углерода) в исходных препаратах ГКВ и продуктах механохимического синтеза с оксигидроксидами железа

Образцы ГК	Содержание атомов углерода в структурных фрагментах (относит. интенсивности, % отн.)							
	C=O	COO	C _{ар} O	C _{ар} C,H	C _{алк} O	CH ₃ O C _{α,β} -O-4	C _{алк}	C _{неорг}
ГК	1,1	8,2	8,3	11,7	16,7	19,5	30,0	3,4
ГК МА	2,1	10,1	9,7	9,5	20,3	20,6	25,7	1,9
ГК + 1 % ОГЖ – 25	1,0	9,5	7,6	15,3	19,1	22,5	20,1	5,3
ГКВ с 1 % ОГЖ – 250	2,0	10,2	8,1	11,0	15,1	23,1	25,1	5,4

Механоактивация вызывает существенные изменения в структурном составе ГК: почти в 2 раза снижается содержание неорганических карбонатов, уменьшается доля углерода в ароматических, алкильных фрагментах. При этом возможный разрыв эфирных связей приводит к увеличению количества групп CH₃O-, C_{α,β}-O-4. Возрастание доли углеводных фрагментов, что может быть связано с частичным расщеплением гликозидной связи в полисахаридах. Общей тенденцией после механоактивации ГК является деалкилирование, карбоксилирование и окисление алкильных фрагментов. Отличительная особенность механоактивации ГК без реагента заключается в уменьшении доли углерода в ароматических фрагментах и наибольшим приростом карбоксильных групп, что согласуется с данными ИК-спектроскопии.

В препаратах, полученных после механоактивации в присутствии ОГЖ, отмечается общая тенденция снижения содержания $C_{ар}O$ -фрагментов, что может быть связано с конверсией фенолов в хиноны. Использование в качестве добавок при механоактивации ГК аморфной формы ГК с 1 % ОГЖ-25, приводит к значительным изменениям в ароматическом каркасе и периферической части молекулы. При этом наблюдается значительное увеличение содержания углерода в ароматических и окисленных алкильных фрагментах и снижение доли кетонных и хинонных групп.

Использование при механоактивации ГК в качестве добавки ОГЖ-250, в котором обнаруживаются его кристаллические и парамагнитные формы, приводит к снижению степени окисления алифатических заместителей, повышается содержание карбоксильных, кетонных и хинонных групп. Изменения в ароматическом каркасе молекулы ГК незначительны.

На основании фрагментного состава по разности интегральных интенсивностей в диапазонах $C_{ар}O$ - и CN_3O -фрагментов в спектрах ЯМР¹³C ГК рассчитано содержание атомов углерода в фенольных группах (табл. 3). После механообработки без реагентов в ГК верхового торфа повышается количество атомов углерода в фенольных гидроксилах, механообработка ГК в присутствии оксигидроксидов железа снижает их долю. В ГК низинного торфа содержание фенольных гидроксидов изменяется незначительно.

Согласно установленной в [3] корреляции между фрагментным составом ГК и физиологической активностью, характеризующейся соотношением гидрофильно-гидрофобных свойств, рассчитывался показатель $\Phi = (C_{соон} + C_{онфен} + C_{алкО})/C_{ар}C,Н$ (табл. 3). Из таблицы 3 видно, что физиологическая активность ГК исходного верхового торфа и обработанного без реагентов в 1,5 раза выше, чем после механообработки с оксигидроксидом железа. Однако физиологическая активность ГК после модификации незначительно увеличивается.

Таблица 3

Содержание атомов углерода в фенольных группах гуминовых кислот и их физиологическая активность

Образцы ГК	Содержание С-ОНфен % отн	Физиологическая активность
	ГК В	ГК В
ГК	7,8	2,21
ГК МА	8,9	2,30
ГК + 1 % ОГЖ-25	5,8	2,80
ГКВ с 1 % ОГЖ-250	5,1	2,61

Заключение. Механохимические твердофазные реакции ГК с оксигидроксидами железа приводят к увеличению количества кислородсодержащих групп по сравнению с механообработкой без реагентов, что может свидетельствовать о протекании твердофазной химической реакции. Структурные преобразования отмечены в периферической части макромолекул ГК, включающих алкильные и углеводные заместители. Модифицированные ГК характеризуются уменьшением доли углерода в ароматических, алкильных фрагментах и кетонных, хиноидных группировках. При этом возможный разрыв эфирных связей приводит к снижению количества групп CH_3O -, $\text{C}_{\alpha,\beta}\text{-O}$ -4.

Список литературы

1. Саловарова В.П., Козлов Ю.П. Эколого-биотехнологические основы конверсии растительных субстратов. – М.: Мир, 2001. – 240 с.
2. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса: Учебн. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 272 с.
3. Федорова Т.Е. Количественная спектроскопия ЯМР¹³С, ¹⁷О и физиологическая активность гуминовых кислот. Автореф. ... канд. хим. наук. – Иркутск, 2000. – 23 с.

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ РЕДОКС-АКТИВНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ГУМИКИ DERIVATIVES

A.V. Savelyeva, N. V. Yudina

The mechanochemical modification of humic acids with iron oxyhydroxides increases the amount of phenolic hydroxyl groups confirming the occurrence of solid-state reaction. The structural transformations are observed in the peripheral part of the humic macromolecules including alkyl and carbohydrate fragments.

СОЗДАНИЕ СТАНДАРТНОГО ОБРАЗЦА СОСТАВА НИЗИННОГО ТОРФА КАК СРЕДСТВА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ РАБОТ

В.Г. Сычев, Г. А. Ступакова, Г.Е.Мерзлая, М.О. Смирнов, Е.Э. Игнатьева

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии, г.Москва, e-mail:
vniia@list.ru

В статье обозначен подход по улучшению метрологического обеспечения аналитических работ при агроэкологическом мониторинге, представлена методика изготовления стандартного образца состава низинного торфа. Ее особенностью является отбор участка с торфяной залежью однородного ботанического состава, степени разложения и зольности и получение образца торфа массой до 200 кг многократным бурением на одну и ту же глубину с последующим исследованием однородности и стабильности материала стандартного образца и аттестацией на содержание агрохимических показателей. Методика позволяет получить образец, обеспечивающий требуемую точность анализов торфяного материала.

Современные тенденции по улучшению метрологического обеспечения предусматривают системный подход к планированию процессов испытаний объектов агромониторинга и контроля качества агропродукции. ГНУ ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова Россельхозакадемии на протяжении 20 лет занимается разработкой основных элементов системы метрологического обеспечения аналитических работ в лабораториях агропромышленного комплекса.

Одной из составных частей системы метрологического обеспечения аналитических работ при агроэкологическом мониторинге является разработка стандартных образцов (СО) почв.

Стандартные образцы (СО) почвы – это средство измерения в виде природного вещества (почвы), несущее в себе достоверную информацию о характеристике материала. Используемые в агропромышленном комплексе СО почв включают в себя информацию о ряде характеристик (физико-химические показатели, показатели плодородия, показатели безопасности). СО почв применяют для оценки точности результатов измерений, аттестации методик измерений, при градуировке, калибровке и поверке средств измерений. Для метрологического обеспечения работ при агроэкологическом мониторинге и в рамках системы Государственной службы стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов [1, 2] ГНУ ВНИИА имени Д.Н.Прянишникова Россельхозакадемии более 20 лет разрабатывает и внедряет в лаборатории АПК отраслевые, государственные и межгосударственные стандартные образцы почв. Номенклатуру СО почв, разрабатываемых в ГНУ ВНИИА имени Д.Н.Прянишникова можно условно разделить на 4 подсистемы (СО состава агрохимических показателей и показателей токсикологического загрязнения почв, СО валового состава почв, СО засоленных почв, СО торфянистых почв). Основная работа по разработке СО почв ведется в подсистеме состава агрохимических показателей и

показателей токсикологического загрязнения почв (фосфор, калий, сера, органическое вещество, величина рН, азот нитратов, азот обменного аммония, бор, цинк, медь, марганец, никель, хром, кобальт, молибден, свинец, кадмий, ртуть, мышьяк). Ежегодно для пополнения банка стандартных образцов проводится анализ и прогнозирование потребностей в СО почв. В соответствии с этим формируются программы создания СО и планируются к разработке согласно первоочередной номенклатуре новые типы СО [3]. В настоящее время в институте разработано, внедрено и находится в обращении 62 Межгосударственных, Государственных и Отраслевых СО разных типов почв. В стадии разработки находятся стандартные образцы почв загрязненных нефтепродуктами. Ведутся активные работы по международному сотрудничеству, создаются Межгосударственные СО, ведется работа по созданию СО почв в рамках Международной программы «КООМЕТ» с Государственными метрологическими учреждениями стран Евро-Азиатского содружества. СО КООМЕТ используются в странах-членах КООМЕТ без дополнительных исследований и формальных процедур допущения к применению. Практический выход такого сотрудничества – это, прежде всего, повышение метрологического уровня и качества измерений в приоритетных направлениях сотрудничества, таких как испытание объектов окружающей среды, осуществление оценки собственного уровня аналитических работ по отношению к зарубежным партнерам.

Торф – это органический материал, образуемый в результате отмирания и неполного распада болотных растений в условиях повышенного увлажнения при недостатке кислорода.

Торф используется в сельском хозяйстве в качестве удобрения (приготовления компостов для улучшения плодородия почв); для подстилки сельскохозяйственным животным; а также как исходное сырье для получения биологически активных веществ и средств защиты растений.

При оценке залежей низинного торфа и его использованию возникает потребность в их исследовании по показателям экологической безопасности и удобрительной ценности. В этой связи представляет интерес изготовление стандартного образца состава низинного торфа как средства метрологического обеспечения при проведении аналитических работ.

Стандартный образец состава низинного торфа предназначен для обеспечения единства измерений и требуемой точности анализов торфяного материала.

Стандартный образец состава низинного торфа относится к разряду стандартных образцов природного материала и аттестуется на содержание различных агрохимических показателей. Исследования стандартного образца выполняются в соответствии с [4–9]. В существующей методике использован способ изготовления стандартного образца состава почв [10]. Указанный способ включает следующие этапы: отбор почвенного материала; сушку и измельчение почвенного материала; усреднение почвенного материала.

В предлагаемой методике по созданию СО торфа представляется возможным использовать сушку и измельчение материала, а также его усреднение, представленные в указанном способе, а именно высушивание исходного материала на воздухе; измельчение на размольной машине; ручное усреднение. При ручном усреднении используют клеенку или полиэтиленовую пленку размером 3х3 м, которую расстилают на полу (материал распределяют равномерным слоем на клеенке (пленке), к углам которой прикрепляют веревки и поочередно тянут на себя углы, собирая, таким образом, массу материала в центре, затем материал распределяют равномерным слоем по поверхности клеенки.

Что касается отбора материала, то в указанном способе этот этап требует детального описания, отсутствующего в нем, где нечеткость предлагаемых операций не позволяет добиться требуемой точности эксперимента. В данном способе предлагается лишь отбор нескольких участков, предположительно удовлетворяющих заданным требованиям, на которых отбирают по одному смешанному образцу почвы. Далее выполняют анализ по наиболее важным показателям, после чего решают вопрос о выборе участка для отбора почвенного материала стандартного образца. Материал для стандартного образца отбирают с участка площадью примерно 10 м² на глубину пахотного горизонта. Представляется необходимым точная регламентация способа выделения площадки и взятия проб. С целью разработки способа получения стандартного образца, обеспечивающего требуемую точность анализов торфяного материала, предлагается описываемая ниже новая методика.

Торфяной материал берется в количестве, необходимом для межлабораторной аттестации, в которой принимают участие не менее 20 лабораторий в масштабе страны [7]. В связи с этим общая масса образца торфяного материала должна составлять не менее 200 кг. При взятии образца следует исключить верхний слой (0,2 м) в связи с тем, что именно такой является возможная глубина наслоения, образуемого в течение примерно 200 лет (условная продолжительность интенсивного развития промышленности, негативно влиявшего на состояние экосистем).

Репрезентативность (представительность) участка обеспечивается использованием данных геологической разведки. Важным является выбор мощной торфяной залежи однородного ботанического состава, степени разложения и зольности. Образцы берут пробоотборочным буром многократным бурением на одну и ту же глубину (от 0,5 до 1,0 м).

Межлабораторную аттестацию стандартного образца состава низинного торфа предлагается проводить на содержание следующих агрохимических показателей: массовой доли влаги, зольности, рН, гидролитической кислотности, общего фосфора, общего калия, подвижной формы железа, подвижной формы фосфора, подвижной формы калия, массовой доли хлора, обменного кальция и обменного магния.

Таким образом, методика изготовления стандартного образца состава низинного торфа включает отбор материала в естественных условиях, его сушку и измельчение, а также усреднение. Особенностью методики является то, что на репрезентативном (представительном) по данным геологической разведки месторождении выбирают участок с торфяной залежью низинного типа однородного ботанического состава, степени разложения и зольности. На этом участке на глубине, исключая верхний антропогенный слой от поверхности в 0,2 м, отбирают образец пробоотборочным буром многократным бурением на одну и ту же глубину (от 0,5 до 1,0 м) до получения образца общей массой 200 кг. В последующем проводят исследование материала СО торфа и его аттестацию на содержание важнейших агрохимических показателей. Предлагаемая методика получения стандартного образца состава низинного торфа позволяет получить образец, обеспечивающий требуемую точность анализов торфяного материала.

Список литературы

1. ФЗ РФ от 26.06.2008 № 102 «Об обеспечении единства измерений».
2. Постановление Правительства РФ от 02.11.2009 № 884 «Об утверждении Положения о Государственной службе стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов».
3. Ступакова Г.А., Игнатьева Е.Э., Панкратова К.Г., Салтыкова А.С., Митрофанов Д.К. Стандартные образцы почв, как средство метрологического обеспечения аналитических работ при агроэкологическом мониторинге. – София, 2011. – Т. 2. – С. 405–412.
4. ГОСТ 8.315-97 ГСИ. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения.
5. РМГ 52-2002 ГСИ. Общие методические рекомендации по применению положений ГОСТ 8.315 при разработке и применении стандартных образцов.
6. ГОСТ 8.531-2002 ГСИ. Стандартные образцы состава монолитных и дисперсных материалов. Способы оценивания однородности.
7. ГОСТ 8.532-2002 ГСИ. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Межлабораторная метрологическая аттестация. Содержание и порядок проведения работ.
8. ГОСТ Р 8.691-2010. ГСИ. Стандартные образцы материалов (веществ). Содержание паспортов и этикеток.
9. МИ 3300-2010 ГСИ. Рекомендации по подготовке, оформлению и рассмотрению материалов испытаний стандартных образцов в целях утверждения типа.
10. Методические указания по изготовлению, исследованию и аттестации стандартных образцов состава (агрохимических показателей) почв. – М.:ЦИНАО, 1985.

CERTIFIED REFERENCE MATERIAL OF LOW-MOOR PEAT FOR METROLOGICAL SUPPORT OF ANALYTICAL MEASUREMENTS

V.G. Sychev, G.A. Stupakova, G.E. Merzlaya, M.O. Smirnov, E.E. Ignat'eva

An approach to improving the metrological support of analytical measurements during agroecological monitoring is denoted, and a procedure for the preparation of certified low-moor peat reference material is described. It involves the selection of a peat accumulation with homogeneous botanical composition, degree of peat decomposition, and ash content; the sampling of peat by multiple boring to the same depth until a sample of 200 kg is obtained; the homogeneity and stability study of the candidate reference material; and its certification for agrochemical parameters. The procedure provides for the preparation of certified reference material ensuring the required accuracy of peat analyses.

БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ТОРФАХ И ИХ АНАЛИЗ

Т.Н. Цыбукова

Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск,
e-mail: tansib@rambler.ru

В статье описана роль биогенных элементов, необходимых для жизнедеятельности человека. Перечислены наиболее токсичные элементы. Описаны современные методы анализа, позволяющие определять содержание этих элементов в торфах. Приведены данные по элементному составу системы: растения-торфообразователи – торфяная залежь – болотные воды.

Введение. Академик В.И.Вернадский показал тесную связь химического состава земной коры и живых организмов и на основе геохимии, биологии и биохимии создал новую науку – *биогеохимию*. Академик А.П.Виноградов открыл закон распределения химических элементов в литосфере и биосфере, а также установил, что количественное содержание элементов в живом веществе обратно пропорционально их порядковому номеру в таблице Д.И.Менделеева [1].

Геохимические барьеры – это те участки земной коры, где на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрирование. *Биогеохимические барьеры* – это отдельный класс в природном, техногенном и техногенно-природном типах геохимических барьеров.

При изучении влияния биогеохимических барьеров на динамику химических элементов в малых миграционных циклах, а также для больших регионов часто используют данные о содержании элементов не во всем организме, а в основных частях. Выделяют следующие факторы накопления химических элементов организмами [2]: 1) биогеохимические, определяемые биогеохимическими особенностями; 2) ландшафтно-геохимические; 3) кристаллохимические.

Рассмотрим подробнее биогеохимические факторы:

1. Определенным видам растений и животных свойственны определенные концентрации химических элементов: содержания в растениях могут отличаться даже в десятки раз; в различных видах животных (особенно с учетом скелетных образований) различия могут достигать нескольких порядков.

2. Концентрация большинства элементов в различных органах одного организма различна.

3. Концентрация элементов изменяется с возрастом и фазой развития организма (иногда изменяется и форма нахождения элементов).

4. Содержание элементов зависит от биологических закономерностей связи между элементами (при этом велика роль строения ионов).

5. У многих организмов существует биологический барьер накопления; отсутствие барьера может привести в экстремальных условиях к гибели организма.

Установлено, что многие заболевания обусловлены повышенным или пониженным содержанием в организме какого-либо элемента и это часто связано с особенностями биогеохимической провинции. Они получили название «эндемических заболеваний» [3]. Так, например, яркие проявления эндемического зоба наблюдаются в провинциях с одновременным недостатком иода и кобальта (Нечерноземье). А для Приморья с его повышенным содержанием иода во многих продуктах питания и воде заболевания щитовидной железы встречаются гораздо реже.

Биогенные элементы [4, 5]. Масса тела человека на 96 % состоит из С, О, Н, N; 3 % приходится на Са, Р, К, S; 1 % массы приходится на Na, Cl, Fe, I, Mg, Co, Zn и др.

Органогены (С, О, Н, N, P, S) – элементы, которые составляют структурные образования клетки, образуют прежде всего прочные ковалентные связи.

Макроэлементы (P, S, Na, К, Mg, Cl), составляют 10^{-2} % от массы – в основном играют роль пластического материала в построении тканей, поддерживают рН среды, осмотическое давление, состояние коллоидов и др.

Микроэлементы, составляют 10^{-3} – 10^{-12} % от массы – вместе с ферментами, гормонами, витаминами и другими биологически активными веществами участвуют в процессах размножения, роста, обмена жиров, белков, углеводов:

в живом организме – Mn, Cu, Zn, Co, Mo, Fe, I (биогены);

в растениях – Mn, Cu, Zn, Co, Mo, B (биофилы). Они либо связаны с белками, либо находятся в ионном состоянии и существуют в основном в виде комплексов.

Ультрамикроэлементы, составляют менее 10^{-12} % от массы – это остальные элементы таблицы Д.И. Менделеева.

Основные функции биогенных элементов известны достаточно давно: Mn – активизирует синтез гемоглобина, жирных кислот, улучшает усвоение глюкозы; Cu – регулирует окислительно-восстановительные процессы клеточного дыхания, улучшает всасывание железа; Zn – входит в состав инсулина, улучшая его секрецию; компонент большого количества ферментных систем; Co – стимулирует процессы кроветворения, родовую деятельность; способствует усвоению железа, кальция, фосфора; Mo – необходим для обмена азота и меди; Fe – входит в состав гемоглобина (перенос кислорода к тканям); I – необходим для нормальной работы щитовидной железы.

Синергизм – такое явление, когда присутствие одного элемента усиливает активность другого. Так, Fe и Cu являются синергистами в отношении кроветворения.

Антагонизм – явление, когда действие одного элемента направлено против действия другого. Например, повышая содержание Cu в организме, можно уменьшить содержание Mo, и наоборот, если животные получают с пищей мало Mo, то в печени накапливается Cu и появляются типичные симптомы отравления ею.

Токсичные элементы. Элементы-загрязнители часто называют «тяжелые металлы», т.к. в эту группу, прежде всего, входят химические элементы с массой 50 а.е.м. и более, хотя к токсичным относят также более легкие (Be, F, Cl) и неметаллы (галогены, As, Sb, Se). Поэтому корректнее использовать термин «токсичные элементы». Установлено, что некоторые заведомо токсичные элементы в малых количествах играют положительную роль в обмене веществ у растений и живых организмов, так например: Cd стимулирует рост животных; Pb необходим для углеводного обмена; As химически близок к фосфору и потому способен замещать его при гликолизе и брожении, участвует в процессах нуклеинового обмена, кроветворения и синтеза гемоглобина; Be стимулирует обмен веществ некоторых живых организмов; F-ион фтора замещает гидроксид-ион в основном фосфате кальция костной ткани, в неминерализованных тканях и ферментах (на территориях, бедных фтором, распространен эндемический кариес зубов).

Следует отметить, что в настоящее время обосновывается биологическая роль селена и хрома. Селен (микрореконцентрации), так же, как и цинк, считается важным компонентом антиоксидантных ферментов, которые защищают организм от высокоактивных метаболитов («свободных радикалов»). Селен вводят в лекарственные препараты для лечения болезней сердца, неврологических заболеваний и возрастных заболеваний глаз. Микроколичества ионов Cr^{3+} участвуют в процессах усвоения глюкозы, активируют гормон инсулин. Получены данные о противоопухолевом действии соединений Cr^{3+} .

В литературе Mn, Cu, Zn, Co, Mo известны прежде всего как «биогены» и «биофилы». Однако их можно встретить и среди «тяжелых металлов», т.к. в завышенных дозах эти же элементы токсичны. Выходит, что **понятие «токсичные элементы» не столько качественная категория, сколько количественная** [6]. Хотя, безусловно, в первую очередь при экологическом мониторинге природных объектов следует устанавливать содержание в них ртути, свинца, кадмия, сурьмы, мышьяка, хрома, скандия, лантаноидов. Эти данные нужны для определения степени чистоты питьевой воды, продуктов питания, почв и торфов. Данные необходимы для медицинской практики (например, возможности использования торфов в санаторно-курортном лечении), агрохимии и других отраслях народного хозяйства.

Торф является ценным биологически активным сырьем, т.к. кроме перечисленных выше микроэлементов, в вытяжках из торфов обнаружен широкий спектр карбоновых

кислот, аминокислот, гуминовых веществ и других соединений. На основе продуктов гидролиза и химической идентификации получены ценные препараты для лечения кожных, стоматологических и гинекологических заболеваний. Широко известное средство «Торфэнал», полученное экстракцией из торфа биологически активных веществ сжиженным диоксидом углерода, характеризуется высоким терапевтическим эффектом при лечении больных экземой, псориазом, атропическим плоским лишаем и др. [7].

Микроэлементы-биогены, содержащиеся в получаемых препаратах и в лекарственных растениях, таких как багульник, аир болотный, мхи, произрастающие на болотах, также увеличивают их бальнеологический эффект.

Объекты и методы. Для изучения элементного состава природных объектов в настоящее время используют различные методы, и немало современных лабораторий оснащены высокочувствительными и эффективными приборами.

1. Масс-спектрометрия основана на разделении ионов по массе и заряду при их прохождении через магнитное или электрическое поле. Спектрометр AGELENT позволяет с точностью до 5 % определять Li, Na, Rb, Cs, Sr, Ba, Al, P, As, Sb, Bi, Mo, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, V, Th, Sc, U, Cr (чувствительность достигает 10^{-7} г).

2. Метод атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС) с дуговым источником возбуждения и многоканальным анализатором эмиссионных спектров (МАЭС) основан на измерении интенсивности спектральных линий в спектрах излучения атомов (2000–5000 °С). Использование современного атомно-эмиссионного комплекса «Гранд» со спектроаналитическим генератором «Везувий-3» отличает высокая чувствительность (10^{-10} – 10^{-12} г) и малое количество анализируемой пробы (30–50 мг). Определяют элементы Ag, Al, B, Be, Bi, Ca, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Pb, Sb, Ti, Zn [8].

3. Метод инверсионной вольтамперометрии (ИВ): методика заключается в предварительном концентрировании определяемых микроэлементов (Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Sb, Au) на электроде и последующей регистрации вольтамперных кривых их растворения при линейно меняющемся потенциале. Используют полярограф ППТ-1 и 4-х канальный полуавтоматический анализатор с хлорсеребряными электродами сравнения и ртутно-пленочными индикаторными электродами [8]. Пробоподготовка, как правило, трудоемкая, однако точность определения высокая.

4. Нейтронно-активационный метод (НАА): для данного метода характерна высокая чувствительность (до 10^{-14} г), сходимость результатов при анализе природных объектов и малое количество анализируемой пробы (100–200 мг). Образцы анализируют на ядерном реакторе, снабженном анализаторной системой «CANBERRA» с детектором из чистого германия. Образцы (сухой измельченный торф, листья растений или упаренные пробы воды)

упаковывают в алюминиевую фольгу и вместе со стандартными образцами облучают в вертикальном канале в потоке тепловых нейтронов $2,2 \cdot 10^{13}$ н/см² · сек в течение 7 часов.

Измерения проводят в два этапа:

- а) время охлаждения 7 суток – определяют Na, Ca, As, Sb, Br, U, Au, La, Sm, Yb, Lu;
- б) время охлаждения 24 суток – определяют Rb, Sr, Ba, Fe, Zn, Co, Cr, Se, Ag, Sc, Eu, Ce, Tb, Hf, Th, Ta [8].

5. Атомно-абсорбционный спектральный анализ основан на измерении поглощения света определенной длины волны при прохождении его через пламя, где содержится анализируемый элемент. Поглощение происходит вследствие перехода электронов в атомах элемента, находящихся в пламени, на более высокие энергетические подуровни. Применение комплексов SOLAAR позволяет определять Na, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Cu, Co, Zn, Ni, Cr, Cd, Pb, As.

У исследователей часто возникают ограничения, связанные с непростой пробоподготовкой. Для многих методов состав пробы должен быть строго регламентирован (например, ионы определяемых элементов должны находиться в определенной форме). Поэтому при выборе метода анализа необходимо учитывать такие характеристики, как многоэлементность, универсальность, селективность и чувствительность. Метод должен позволять анализировать пробы сложного (солевого, органического, коллоидного) состава, формы нахождения элементов в которых могут быть самыми различными: ионы, комплексы, коллоиды.

Исследование системы «растения-торфообразователи – торфяная залежь – болотные воды» на содержание элементов проводили с помощью нейтронно-активационного анализа (НАА) [9].

Для комплексной оценки торфяного сырья на содержание микроэлементов в системе геохимически сопряженных олиготрофных ландшафтов были проведены исследования на отрогах Васюганского болота (п. Польшанка Бакчарского района) в пределах бассейна реки Ключ. Для анализа были отобраны образцы торфа в слое 0–50 см, также из колодцев были взяты болотные воды. Кроме того были отобраны образцы растений-торфообразователей: сфагнум-фускум – доминант наземного покрова олиготрофных болот и багульник (брали отдельно листья и стебли). Для полноты анализа исследовали на содержание элементов еще воду из реки Ключ.

Результаты анализа. Осоково-сфагновая топь находится ближе к центру болота, мощность залежи – 2,5 м. Располагающийся между высоким рямом (п.3) и осоково-сфагновой топью (п.2) сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз (низкий рям, п.2) характеризуется средними концентрациями элементов в торфе. В этом пункте отмечена

самая большая глубина торфа (3 м) и залежь имеет смешанный топяной вид строения. Данные таблицы показывают, что существенных изменений концентрации элементов в болотных водах к окрайке болота не происходит.

Таблица

Содержание микроэлементов в исследованных образцах

Элемент (%)		Na, 10 ⁻²	Ca, 10 ⁻²	Fe, 10 ⁻²	Zn, 10 ⁻⁴	Co, 10 ⁻⁴	Cr, 10 ⁻⁴	Br, 10 ⁻⁴	Se, 10 ⁻⁶	Ag, 10 ⁻⁶	U, 10 ⁻⁶	Sb, 10 ⁻⁶
Торф	п. 1	4,7	74,0	35,0	70,2	1,3	14,9	23,7	110,0	39,0	19,9	42,0
	п. 2	9,1	62,0	34,0	102,5	1,2	18,7	24,8	9,9	39,0	19,9	38,0
	п. 3	6,4	145,0	67,5	67,7	2,2	16,9	26,7	53,7	39,0	71,3	58,0
Растения (п.3)	листья	0,95	49,0	2,22	32,26	0,10	0,81	2,06	0,35	8,22	0,70	3,20
	стебли	0,38	11,6	0,83	20,35	1,40	36,00	33,30	0,10	6,60	0,02	2,38
	мох	1,68	29,6	5,36	29,39	0,25	1,98	7,04	0,35	1,43	0,70	12,50
Болотные воды (плот.ост.)	п. 1	81,0	314,0	140,0	330,6	4,1	19,5	99,5	33,0	39,0	19,9	370,0
	п. 2	45,0	144,0	78,0	181,0	2,3	20,6	85,1	120,0	39,0	19,9	270,0
	п. 3	6,3	483,0	160,0	73,9	3,9	13,6	95,6	66,0	57,0	19,9	120,0
р. Ключ (187 г/мл)		136,0	990,0	150,0	108,1	1,7	22,9	130,0	85,0	39,0	190,0	240,0

Несколько возрастает содержание Se, но в основном концентрация микроэлементов сравнима и, следовательно, формы нахождения рассмотренных элементов в торфе – преобладающе необменные, а в болотных водах установились равновесные концентрации. Об отсутствии процесса концентрирования рассматриваемых элементов в мигрирующем потоке из центра болот к руслу реки Ключ свидетельствуют и результаты анализа состава воды.

Соотношение содержания элементов в растениях-торфообразователях и поверхностном слое торфа позволяет сделать вывод о повышенном содержании большинства элементов в торфе (за исключением Cr и Br). Co, Cr и Br лучше концентрируются в стеблях багульника; Ca, Zn, Ag и U концентрируются в большей степени в листьях. В сфагнум-фускуме отмечено максимальное содержание Na, Fe и Sb. Содержания Se сравнимы во всех образцах.

Выводы.

1. Роль многих микроэлементов жизненно важна для человека и растений.
2. Современные инструментальные методы анализа позволяют с большой точностью определять содержание многих микроэлементов в различных природных объектах.
3. Элементы избирательно накапливаются в разных частях болота в соответствии с его геохимическими зонами.
4. Болотные воды характеризуются повышенным содержанием элементов.

5. Листья, стебли багульника и сфагнум-фускум по-разному концентрируют в себе макро- и микроэлементы.

Данные для исследований были предоставлены лабораторией Агроэкологии ТГПУ.

Список литературы

1. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. – М.: Академия, 2003. – 400 с.
2. Алексеенко В.А., Воронец С.Н. Основные факторы накопления химических элементов на биогеохимических барьерах // Биокосные взаимодействия в природных и антропогенных системах: сб. науч. трудов. – СПб: ВВМ, 2011. – 512 с.
3. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник в 6 томах. – М.: Недра, 1994-1999 гг.
4. Асатиани В.С. Химия нашего организма. – М.: Наука, 1989. – 303 с.
5. Фаращук Н.Ф., Яснецов В.С., Якушев П.Ф. Медицинское значение химических элементов и неорганических соединений. – Смоленск: Наука, 1998. – 68 с.
6. Эмсли Дж. Элементы. – М.: Мир, 1993. – 256 с.
7. Лиштван И.И. Физико-химические свойства торфа, химическая и термическая его переработка // Химия твердого топлива. – 1996. – №3. – С. 3–23.
8. Применение высокочувствительных методов в анализе торфов для оценки их экологического состояния / Л.И. Инишева, Т.Н. Цыбукова, Р.Ф. Зарубина [и др.] // Журнал аналитической химии. – 1996. – Т. 51. – №3. – С. 1–4.
9. Характеристика элементного состава торфяного сырья олиготрофного болота / Т.Н. Цыбукова, Л.И. Инишева [и др.] // Химия растительного сырья. – 2000. – №4. – С. 29–34.

THE NUTRIENTS IN PEAT AND THEIR ANALUSES

T. N. Tsybukova

This article describes the role of nutrients necessary for human life. The most toxic elements have been listed. The modern methods of analysis for defining the content of these elements in peats have been described. The data on the elemental composition of the system have been provided: peat-forming plants-peat deposit-marsh water.

IMPACT OF DIFFERENT SECONDARY TRANSFORMED PEAT-MOORSH SOILS ON THE UREASE ACTIVITY OF ACROTELM AND CATOTELM

L. W. Szajdak*, K. Styła**

Institute for Agricultural and Forest Environment Polish Academy of Sciences, Poland

E-mail: szajlech@man.poznan.pl*, styła.katarzyna@gmail.com**

The object of this study was to characterize the urease activity in two layers: active layer (acrotelm) and inactive layer (catotelm) of the four different of secondary transformed peat-moorsh soils used as meadow. The investigations were carried out on the transect of peatland 4.5 km long, located in the Agroecological Landscape Park in Turew, 40 km South-West of Poznań, West Polish Lowland along the Wyskoć ditch. The following material was taken from four chosen sites marked as Zbęchy, Bridge, Shelterbelt and Hirudo used as meadow. Samples of peat-moorsh soils were collected from the depth of 0–50 cm (acrotelm) and 50–100 cm (catotelm). Our results have revealed the impact of the peatland located on the secondary transformed peat-moorsh soils on the changes of urease activity in acrotelm and catotelm of peat-moorsh soil. The highest activities of urease were measured in acrotelm similar to the concentrations DOC.

Peat has traditionally been characterized in the Russian literature as possessing a hydrologically active, low-density upper layer, and a higher density, hydrologically inactive lower layer. This classification was formalized by Ingram [1] who identified the upper layer as the acrotelm and the lower layer as the catotelm. The acrotelm contains roots and decomposing plant material, typically possesses a relatively a high hydraulic conductivity ($\sim 1 \text{ cm s}^{-1}$), and crucially is defined as the zone through which the water table fluctuates. The catotelm is the water saturated anaerobic zone that comprises layers of defense peat with small pore spaces and hydraulic conductivity 3-5 orders of magnitude lower [2–5].

The object of this study was to characterize the urease activity in two layers: active layer (acrotelm) and inactive layer (catotelm) of the four different of secondary transformed peat-moorsh soils used as meadow.

The investigations were carried out on the transect of peatland 4.5 km long, located in the Agroecological Landscape Park host D. Chłapowski in Turew (40 kilometers South-West of Poznań, West Polish Lowland). Peat-moorsh soils were described and classified according to the Polish hydrogenic soil classification [6, 7] and the World Reference Base Soil Notation [8] (Tables 1, 2). The sites investigated were located along Wyskoć ditch. The soils were taken from four chosen sites marked as Zbęchy, Bridge, Shelterbelt and Hirudo. Samples of peat-moorsh soils were collected in June in 2008 year from the depth of 0–50 cm (acrotelm) and 50–100 cm (catotelm) from 10 sites in every plot. Sample were air-dried and crushed to pass through a 1 mm mesh sieve. These 10 sub-samples were mixed in order to prepare a “mean sample”. Soil samples were used for the determination urease activity, pH (in 1M KCl), total organic carbon – TOC, dissolved organic carbon – DOC, total nitrogen – N total. Soil pH was measured in soil-1M KCl (1:10 v/v) suspensions by potentiometric method. The total organic carbon (TOC) was analyzed on Total

Organic Carbon Analyzer (TOC 5050A) with Solid Sample Module (SSM-5000A) produced by Shimadzu (Japan). Dissolved organic carbon (DOC) was analyzed on TOC 5050A equipment produced by Shimadzu (Japan). For the investigation of DOC, soil sample were heated in redistilled water in 100°C for two hours under a reflux condenser. Extracts were separated by the mean filter paper and analyzed on TOC 5050A facilities Twice-distilled water from silica glass equipment was used [9]. N-totals were evaluated by the Kjeldahl method. The urease activity was determined spectrophotometrically by the method of Hoffmann & Teicher [10]. 2.5 g air-dried peat-soil was placed in a vessel calibrated for the volume of 100 ml. 1.5 ml of toluene was added. After 15 minutes 10 ml of urea solution (10 %) and 20 ml of the citric buffer (pH=6.7) were added. The mixture was incubated at 37°C for 3 hours. After the incubation was added distilled water to the volume of 100 ml. Next the mixture was centrifuged at 4000 g for 10 minutes and filtered. The assays mixture consisted of 2.0 ml of test solution, 9.0 ml of distilled water, 4.0 ml of the sodium phenolate and 1.0 ml of the sodium hypochlorite solution. After 20 minutes the flask with the contents were top up with distilled water and stirred. The absorbance was measured at $\lambda_{\max} = 630$ nm using a UV-VIS spectrophotometer UV mini 1240 Schimidzu (Japan). Distilled water used as blank. Enzyme activity was expressed as $\mu\text{mol urea h}^{-1} \text{g}^{-1}$ soil (on dry mass basis).

Peatlands have long been recognized as unbalanced ecosystems, in which the rate of production of organic material exceeds that of its decomposition. The vast accumulation of peat (partially decayed plant remains) within these peatlands attests to an ecosystem with exceptionally low rates of decomposition [11].

Tables 1, 2 show different kinds of peat-moorsh soil (type of peat-moorsh) of the four different of secondary transformed peat-moorsh soils used as meadow.

At present, the soils belong to the type of moorsh soil and the subtype of moorsh-peat soil [8] with different degree of decomposition: Zbęchy – weakly degree of moorsh process, Bridge and Hirudo - medium degree of moorsh process and Shelterbelt – medium and strongly degree of moorsh process. Superficial layer represented moorsh: Zbęchy from 0 to 10 cm, Bridge and Hirudo from 0 to 20 cm, Shelterbelt from 0 to 32 cm. The below layer presented peat layer: Zbęchy from 10 to 275 cm, Bridge from 20 to 215 cm, Shelterbelt from 32 to 205 cm and Hirudo from 20 to 150 cm. Sublayer represented gyttja: Zbęchy from 275 cm, Bridge from 215 cm, Shelterbelt from 205 cm and Hirudo from 150 cm).

Table 3 shows pH values, and the concentrations of TOC, DOC and total nitrogen, in acrotelm and catotelm of the four different of secondary transformed peat-moorsh soils used as meadow.

All the soils represented slightly acidic (Bridge and Hirudo) to neutral (Zbęchy and Shelterbelt) properties. The highest pH values were measured in Zbęchy and Shelterbelt (from 6.13

to 6.63) and the lowest Bridge and Hirudo (from 5.68 to 5.98). In Bridge and Hirudo were confirmed a high pH value on the depth 50-100 cm (from 5.90 to 5.98) and whereas in Zbęchy and Shelterbelt on the depth 0–50 cm (from 6.63 to 6.66).

An important feature of peat is the content of organic matter, which indicates advancement of the muck-forming process [12]. We were noted the highest content of TOC in Bridge, Shelterbelt and Hirudo and whereas the lowest in Zbęchy. The concentration of TOC in Bridge, Shelterbelt and Hirudo ranged from 264.5 to 310.9 g kg⁻¹ and in Zbęchy from 139.2 to 236.5 g kg⁻¹. A high content of TOC were confirmed on the depth 50–100 cm (from 236.5 to 310.9 g kg⁻¹) and low on the depth 0-50 cm (from 139.2 to 287.6 g kg⁻¹). Moreover, the upper layer (0-50 cm) is characterized by the significantly lower total organic carbon. Mineralization of organic matter proceed faster in the upper stratum of the soil [12].

Table 1

Some properties of peat-moorsh soils

<i>Sampling sites</i>	<i>Depth cm</i>	<i>Type of peat-moorsh</i>
ZBĘCHY	0–10	Mtni Moorsh soil with peat 10 YR 3/1 very dark gray, grain structure, in mass moorsh - grain sand, fresh, clear of layer boundary.
	10–60	Otni 1 Alder swamp peat, low peat, 10YR 2/1 black, amorfic-pieces of the structure, fresh, strongly decomposed - R3, clear of layer boundary.
	60–100	Otni 2 Sedge with wooden peat, low peat, 10YR 3/2, amorfic-pieces of the structure, strongly decomposed - R3, humid, clear of layer boundary.
	100–125	Otni 3 Sedge-reed peat, low peat, 10YR 3/1 very dark gray, pieces of the structure, strongly decomposed - R3, humid, clear of layer boundary.
	125–175	Otni 4 Sedge peat with wood, low peat, 7.5YR 3/2, amorfic-fibrous structure, strongly decomposed - R3, wet, clear of layer boundary.
	175–200	Otni 5 Sedge-reed peat, low peat, 7.5YR 3/2, medium decomposed - R2, amorfic-fibrous structure, wet, clear of layer boundary.
	200–225	Otni 6 Sedge peat, low peat, 7.5YR 3/3, strongly decomposed - R3, amorfic-fibrous structure, wet, clear of layer boundary.
	225–250	Otni 7 Sedge peat, low peat, 7.5YR 4/3, medium decomposed - R2, amorfic-fibrous structure, wet, gradual of layer boundary.
	250–275	Otnigy Sedge peat with gyttja, low peat, 7.5YR 4/4, weakly or medium decomposed – R1/R2, amorfic-fibrous structure, wet, clear of layer boundary.
	>275	Dgy Calcareous gyttja, 10YR 7/2, pieces of the structure, wet, in mass - shell ammonoids.
		Moorsh soil, moorsh-peat soil, weakly degree of moorsh process MtlIcc built of low peat, medium and strongly decomposed, calcareous gyttja, World Reference Base (WRB, 1998) soil notation: Sapri-Eutric Histosol.
BRIDGE	0–20	Mtni Moorsh soil with peat, grain structure, 10YR 2/1 black, fresh, clear of layer boundary.
	20–75	Otni1 Sedge peat, low peat, 10YR 2/1 black, wet, strongly decomposed - R3, amorfic-fibrous structure, clear of layer boundary.
	75–137	Otni 2 Sedge peat, low peat, 10YR 2/1 black, wet, strongly

		decomposed - R3, amorfic-pieces of the structure, clear of layer boundary.
	137–150	Otni 3 Sedge-reed peat, low peat, 10YR 2/2 very dark brown, wet, strongly decomposed - R3, clear of layer boundary.
	150–175	Otni 4 Reed swamp peat, low peat, 10YR 3/4, wet, medium decomposed - R2, fibrous structure, clear of layer boundary.
	175–190	Otni 5 Sedge peat, low peat, 10YR 2/1 black, wet, strongly decomposed - R3, amorfic-fibrous structure, clear of layer boundary.
	190–215	Otni 6 Reed swamp peat, low peat, 10YR 3/6, medium decomposed - R2, wet, fibrous structure, gradual of layer boundary.
	215–225	OgyD Organic-mineral gyttja, 10YR 7/2, wet, pieces of the structure, gradual of layer boundary.
		Dgy Calcareous gyttja, 10YR 7/1, wet, pieces of the structure.
	>225	Moorsh soil, moorsh-peat soil, medium degree of moorsh process MtIcc built of low peat, medium and strongly decomposed, calcareous gyttja, World Reference Base (WRB, 1998) soil notation: Sapri-Eutric Histosols.

Table 2

Some properties of peat-moorsh soils

<i>Sampling sites</i>	<i>Depth cm</i>	<i>Type of peat-moorsh</i>
SHELTERBEL T	0–32	Mtni Moorsh soil, grain structure, 10YR 2/1 black, fresh, clear of layer boundary.
	32–75	Otni 1 Sedge peat with wooden, 10YR 2/1 black, humid, strongly decomposed - R3, pieces of the structure, clear of layer boundary.
	75–100	Otni 2 Sedge peat, 10YR 3/2, wet, strongly decomposed - R3, amorfic-fibrous structure, clear of layer boundary.
	100–125	Otni 3 Sedge peat, 10YR 3/2, wet, medium decomposed - R2, amorfic-pieces of the structure, clear of layer boundary.
	125–137	Otni 4 Sedge peat, 10YR 2/2, wet, amorfic-fibrous structure, strongly decomposed - R3, clear of layer boundary.
	137–150	Otni 5 Sedge peat with wooden, 10YR 3/4, wet, medium decomposed - R2, amorfic-pieces of the structure, clear of layer boundary.
	150–175	Otni 6 Sedge peat, 10YR 3/2, wet, amorfic-fibrous structure, medium decomposed - R2, clear of layer boundary.
	175–195	Otni 7 Sedge peat, 10YR 2/2 very dark brown, wet, amorfic-fibrous structure, medium decomposed - R2, clear of layer boundary.
	195–205	Otni 8 Sedge peat, 10YR 3/3, wet, amorfic-fibrous structure, medium decomposed - R2, clear of layer boundary.
	205–225	Dgy 1 Calcareous gyttja, 2,5 YR 6/2, wet, pieces of the structure, in mass -muscle snail, clear of layer boundary.
	225–275	Otni/Dgy Gyttja with peat, 10YR 3/2, wet, pieces of the structure, clear of layer boundary.
>275	Dgy 2 Calcareous gyttja, 2.5YR 4/2, wet, pieces of the structure.	
		Moorsh soil, moorsh-peat soil, strongly degree of moorsh process MtIcc built of low peat, medium and strongly decomposed, calcareous gyttja, World Reference Base (WRB, 1998) soil notation: Sapri-Eutric Histosols.
HIRUDO	0–20	Mtni Moorsh soil, grain structure, 10YR 2/1 black, humid, clear of layer boundary.

	20–55	Otni 1 Alder swamp peat, 10YR 2/1 black, humid, strongly decomposed - R3, pieces of the structure, clear of layer boundary.
	55–80	Otni 2 Sedge peat with wooden, 10YR 2/2 very dark brown, strongly decomposed - R3, humid, pieces of the structure, clear of layer boundary.
	80–95	Otni 3 Sedge peat with wooden, 10YR 2/1 black, strongly decomposed - R3, humid, pieces of the structure, visible in mass piece of burnt of wood, clear of layer boundary.
	95–120	Otni 4 Sedge peat, 10YR 3/3, strongly decomposed - R3, humid, amorfic-pieces of the structure, clear of layer boundary.
	120–150	Otni 5 Sedge peat, 10YR 3/4, medium decomposed - R2, humid, pieces of the structure, clear of layer boundary D Loose sand 10YR 6/2, wet, silted, single-grain structure.
	>150	Moorsh soil, moorsh-peat, medium degree of moorsh process MtIcc built of low peat, medium and strongly decomposed, loose sand, World Reference Base (WRB, 1998) soil notation: Sapri-Eutric Histosols.

Table 3

Some properties and the contents of chemical compounds of different of secondary transformed peat-moorsh soils

Sampling sites	Depth, cm	Moisture, %	pH 1M KCl	C/N	TOC, g kg ⁻¹	DOC, g kg ⁻¹	N total, g kg ⁻¹
ZBĘCHY	0–50	57.03	6.66	9.0	139.2± 3.25	8.78± 1.93	15.45± 1.13
	50–100	79.68	6.13	12.8	236.5± 3.72	8.52± 0.19	18.36± 0.91
BRIDGE	0–50	70.77	5.88	13.2	287.6± 4.64	10.84±0.39	21.72± 0.67
	50–100	80.50	5.98	12.3	300.6± 4.47	9.59± 1.01	24.41± 1.03
SHELTERBELT	0–50	77.74	6.63	11.3	264.8± 25.83	9.54± 1.14	23.40± 1.01
	50–100	82.79	6.46	13.7	300.9± 1.74	8.00± 1.24	21.95± 0.11
HIRUDO	0–50	69.96	5.68	10.9	264.5± 13.66	13.31± 0.89	24.19± 0.47
	50–100	76.47	5.90	12.0	310.9± 0.74	9.94± 0.14	25.76± 0.59

Dissolved organic carbon (DOC) is an important component of the carbon cycle within peat soils are a vital store of terrestrial carbon. Dissolved organic matter is involved in a number of biogeochemical processes, including pH buffering, nutrient cycling, ionic balance, mineral weathering, metal leaching, pollutant toxicity, mobility and bioavailability [13–17]. The obtained results indicate the highest of concentration DOC in Hirudo (from 9.94 to 13.31 g kg⁻¹) and the lowest in Zbęchy, Bridge, and Shelterbelt (from 8.00 to 10.84 g kg⁻¹). High amounts of DOC were noted on the depth 0–50 cm and a low on the depth 50–100 cm. The concentration of DOC ranged from on the depth 0–50 cm from 8.78 to 13.31 g kg⁻¹ and on the depth 50–100 cm from 8.00 to 9.94

g kg^{-1} . Several possibilities have been proposed to explain the widespread increases of DOC concentration in peat soils: increasing air temperature, land management, changes in pH, increases and decreases, change in the amount and nature of flow, increases in atmospheric CO_2 , changes in atmospheric deposition, occurrence of severe drought and eutrophication [18]. According to Kalbitz et al. [19] DOC concentrations in deep soil horizons are typically low. It decreases with increasing soil depth and is lower in forest than in agricultural soils. Dissolved organic carbon decreases with depth due to retention by soil surfaces and is considered to be mostly derived from old organic matter with slow incorporation rate from recently-deposited sources [13–16].

The majority of the N in the peat is in a bound form and not available for plants. A minor proportion of the N is in soluble form, most of which consist of dissolved organic N (DON) and low concentrations of inorganic nitrogen – NH_4^+ and NO_3^- [20]. Authors were observed the highest amounts of total nitrogen on the depth 50–100 cm (from 18.36 to 25.76 g kg^{-1}) and the lowest on the depth 0–50 cm (from 15.45 to 24.19 g kg^{-1}).

The data presented in table 4 shows activity of urease in acrotelm and catotelm of the four different of secondary transformed peat-moorsh soils used as meadow. In our experiment the urea hydrolysis in two layers (acrotelm and catotelm) in moorsh-peat soils were investigated. Urease enzyme is responsible for the hydrolysis of urea fertilizer applied to the soil into NH_3 and CO_2 with the concomitant rise in soil pH. Soil urease originates mainly from plants and microorganisms found as both intra- and extra-cellular enzymes. Urease activity in soils is influenced by many factors. These include cropping history, organic matter content of the soil, soil depth, soil amendments, heavy metals, and temperatures [21]. The highest activities of urease was observed in Hirudo and whereas the lowest in Shelterbelt. Activities of this enzyme ranged from 15.36 to 34.49 $\mu\text{mol urea h}^{-1} \text{g}^{-1}$. Higher activities of urease were measured on the depth 0–50 cm (from 22.32 to 34.49 $\mu\text{mol urea h}^{-1} \text{g}^{-1}$) in comparison with the depth 50–100 cm (from 15.36 to 32.49 $\mu\text{mol urea h}^{-1} \text{g}^{-1}$). The highest activities of urease were measured in acrotelm similar as the concentrations DOC. Makoi & Ndakidemi [21] revealed decreased urease activities with increased soil depth with soil samples taken from horizons of different soil profiles. The stability of this enzyme in the system is affected by several factors. Extracellular urease associated with soil organo-mineral complexes is more stable than urease in the soil solution and those humus-urease complexes extracted from soil are highly resistant to denaturing agents such as extreme temperatures and proteolytic attack. On the other hand, urease extracted from plants or microorganisms is rapidly degraded in soil by proteolytic enzymes. This suggests that a significant fraction of ureolytic activity in soil is carried out by extracellular urease, which is stabilised by immobilisation on organic and mineral soil colloids [21].

Table 4

The urease activity of different of secondary transformed peat-moorsh soils

Sampling sites	Depth, cm	Urease activity, $\mu\text{mol urea h}^{-1} \text{g}^{-1}$
ZBĘCHY	0–50	30.49± 2.38
	50–100	24.24± 0.0
BRIDGE	0–50	33.05± 2.68
	50–100	23.44± 2.75
SHELTERBELT	0–50	22.32± 2.73
	50–100	15.36± 3.15
HIRUDO	0–50	34.49± 2.48
	50–100	32.49± 2.25

Our results have revealed the impact of the peatland located on the secondary transformed peat-moorsh soils on the changes of urease activity in acrotelm and catotelm of peat-moorsh soil. Besides, the highest of activity of urease in acrotelm agree with in the higher content of DOC, on that depth. In acrotelm (0–50 cm) were found high concentrations of DOC or low in catotelm (50–100 cm), similar as activities of urease. This work confirms, therefore, the increase of urease activity on that depth which at the same time has demonstrated favourable chemical properties of soil. Soil organic matter transformation is strongly effected by the activities of soil microorganisms, which use many enzymes in their metabolic pathways [22]. According to Makoi & Ndakidemi [21] such regularity is connected with the profile distribution of humus in the soil whose amount quickly decreases in the deeper genetic levels.

Conclusions. It was estimated biochemical and chemical properties in two layers: active layer (acrotelm) and inactive layer (catotelm) different of secondary transformed moorsh-peat soil used as meadow. The obtained results have revealed the impact of the peatland located on the secondary transformed peat-moorsh soils on the changes of urease activity in acrotelm and catotelm of peat-moorsh soil. The highest activity of urease was measured in acrotelm similar as the concentrations DOC.

Acknowledgements. This study was supported by the grants № N N305 3204 36 founded by the Polish Ministry of Education.

References

1. Ingram H. A. P. Soil layers in mires: function and terminology // *J. Soil Sci.* – 1978. – № 29.– P. 224–227.
2. Moore P. D. Biological processes controlling the development of modern peat-forming ecosystems // *Int. J. Coal Geol.* – 1995. – № 28. – P. 99–110.
3. Bragg O. M., Tallis J. H. The sensitivity of peat-covered upland landscapes // *Catena.* – 2001.– № 42. – P. 345–360.

4. Van der Schaaf S. A single well pumping and recovery test to measure in situ acrotelm transmissivity in raised bog // *J. Hydrobiol.* – 2004.– № 290. – P. 152–160.
5. Daniels S. M., Agnew C. T., Allot T. E. H., Evans M. G. Water table variability and runoff generation in an eroded peatland, South Pennines, UK // *J. Hydrol.* – 2008. – № 361.– P. 214–226.
6. Okruszko H. The principles of the identification and classification of hydrogenic soils according to the need of reclamation // *Biblioteczka Wiadomości Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach.* – 1976. – № 52. – P. 7–53 (in Polish).
7. *Systematyka Gleb Polski* // *Rocz. Gleb.* – 1989. – № 40(3/4).– P. 1–50 (in Polish).
8. *World Reference Base for Soil Resources* // *World Soil Resources Report 84*, 1998. FAO:ISRIC-ISSS, Rome. pp. 1–88.
9. Smolander A., Kitunen V. Soil microbial activities and characteristics of dissolved organic C and N in relation to tree species // *Soil Biol. Biochem.* – 2002. – № 34. – P. 651–660.
10. Wyczółkowski A. I., Dąbek-Szreniawska M. 2005. Enzymes participating in organic nitrogen mineralization. In Russel S., Wyczółkowski A. I. (eds): *Methods of the determination of enzymes activity in soil* // *Acta Agrophysica.* – № 120/3. – 37–61 pp. (in Polish).
11. Freeman C., Ostle N. J., Fener N., Kang H. A regulatory role for phenol oxidase during decomposition in peatlands // *Soil Biol. Biochem.* – 2004. – № 36. – P. 1663–1667.
12. Kulik M., Baryła R., Warda M. The effect of grassland utilisation on physicochemical properties of peat-muck soils and species composition of sward // *Agronomy Research.* – 2007.– № 5/2. – P. 147–154.
13. Marschner B., Bredow A. Temperature effects on release and ecologically relevant properties of dissolved organic carbon and biologically active soil samples // *Soil Biol. Biochem.* – 2002. – № 34. – P. 459–466.
14. Gregorich E.G., Barea M. H. Stoklas U. Georges P. St. Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils // *Geoderma.* – 2003. – № 113.– P. 237–252.
15. Matyka-Sarzyńska D. Dissolved soil organic matter and its estimation. In Matyka-Sarzyńska D., Walczak R. T. (eds): *Basic problems of agrophysic.* – Lublin: 2004. – 88–93 pp.
16. Dou F., Wright A. L., Hons F. M. Depth distribution of soil organic C and N after long-term soybean cropping in Texas // *Soil Till. Res.* – 2007. – № 94. – P. 530–536.
17. Worrall F., Gibson H. S., Burt T. P. Production vs. solubility in controlling runoff DOC from peat soils - The use of an event analysis // *J. Hydrol.* – 2008. – № 358. – P. 84–95.
18. Worrall F., Burt T. P. Changes in DOC treatability: Indications of compositional changes in DOC trends // *J. Hydrobiol.* – 2009. – № 366. – P. 1–8.
19. Kalbitz K., Schmerwitz J., Schwesig D., Matzner E. Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties // *Geoderma.* – 2003. – № 113. – P. 273–291.
20. Potila H., Sarjala T. Seasonal fluctuation in microbial biomass and activity along a natural nitrogen gradient in a drained peatland // *Soil Biol. Biochem.* – 2004. – № 36. – P. 1047–1055.
21. Makoi J. H. J. R., Ndakidemi P. A. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem // *Afric. J. Biotechnol.* – 2008. – № 7/3. – P. 181–191.
22. Brzezińska M. Soil microbiota and enzyme in relation to organic matter transformations. In Matyka-Sarzyńska D., Walczak R. T. (eds): *Basic problems of agrophysic.* – Lublin: 2004. – 23–40 pp.

Часть II

ВЫСТУПЛЕНИЯ УЧАСТНИКОВ ШКОЛЫ

ДЕСТРУКЦИЯ РАСТЕНИЙ-ТОРФООБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА ТОМСКОГО РАЙОНА

Л.Г. Абзалимова*, Е.В. Порохина*, Е.А. Головацкая**

* Томский государственный педагогический университет, Томск, lili112358@mail.ru

** Институт мониторинга климатических и экологических систем
СО РАН, Томск, golovatskaya@imces.ru

Приведены экспериментальные данные по разложению растений-торфообразователей в торфяной почве олиготрофного болота за два года. Дана количественная оценка скорости разложения основных видов-торфообразователей. Выявлено, что наиболее интенсивно разложение происходит в течение первого года.

Введение. В настоящее время изучение процессов трансформации органического вещества приобретает большое значение в связи с изменением климата и возрастанием уровня антропогенного воздействия на природные экосистемы. Следует отметить, что работ, посвященных динамике разложения растений-торфообразователей в болотах сравнительно немного, что подчеркивает актуальность проводимых исследований.

Целью данной работы было изучение скорости разложения растительных остатков растений-торфообразователей в олиготрофном болоте Томского района.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований послужили основные растения-торфообразователи сосново-кустарничково-сфагнового фитоценоза (ряма) и осоково-сфагнутой топи олиготрофного болота Кирсановское (Томский район, Томская область). В эксперименте были использованы 13 видов растений (табл. 1).

Таблица 1

Перечень исследуемого материала в фитоценозах болота «Кирсановское»

Фитоценоз	Закладываемые растения
Сосново-кустарничково-сфагновый (рям)	<i>Sphagnum angustifolium</i> (Russ. Ex Russ.) C. Jens; <i>Sph. magellanicum</i> Brid.; <i>Sph. fuscum</i> (Schmp.) Klinggr.; <i>Pinus sylvestris</i> L.; <i>Chamaedaphne calyculata</i> (L.) Moench.; <i>Ledum palustre</i> L.; <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.; <i>Rubus chamaemorus</i> L.
Осоково-сфагновая топь	<i>Andromeda polifolia</i> L.; <i>Menyanthes trifoliata</i> L.; <i>Carex rostrata</i> L.; <i>Eriophorum vaginatum</i> L.; <i>Scheuchzeria palustris</i> L.

Для определения скорости разложения растений-торфообразователей применялся метод закладки растительности в торф [1, 2]. Опыт был заложен в конце вегетационного периода 2008 года. Повторность опыта – 3-х кратная. Образцы с растительным материалом были извлечены в сентябре 2009–2010 г.

Результаты исследований и обсуждение. В результате проведенных исследований было выявлено, что в торфяной залежи ряма наиболее устойчивым к разложению является *Sphagnum fuscum* (13 %), а наименее устойчивым видом – *Rubus chamaemorus* (72 %). В

среднем разложение растительных остатков во второй год составляет лишь 33 % от общего разложения, в то время как за первый год потери массы растительных остатков составляют в среднем 67 % от общего разложения. Это связано с тем, что в первый год микроорганизмы активно разрушают наиболее легкодоступные компоненты углеводного и полипептидного комплексов, содержание которых со временем убывает, и соответственно в дальнейшем снижаются темпы разложения органического вещества. Интенсивность деструкции листьев исследуемых кустарничков примерно одинаковая и к концу первого года эксперимента потери массы составляют 27–32 % от исходной. К концу второго года эксперимента наблюдается более значимая разница в разложении листьев кустарничков. При этом наибольшее разложение отмечается у *Chamaedaphne calyculata* (48 %), а наименьшее – у *Vaccinium vitis-idaea* (34 %). Скорость разложения мхов через 24 месяца после закладки образцов в торф снижается в ряду *Sphagnum angustifolium* > *Sphagnum magellanicum* > *Sphagnum fuscum*.

Таким образом, в конце эксперимента исследуемые растения по скорости разложения располагаются в ряд: *Rubus chamaemorus* > *Sphagnum angustifolium* > *Pinus silvestris* > *Chamaedaphne calyculata* > *Ledum palustre* > *Vaccinium vitis-idaea* > *Sphagnum magellanicum* > *Sphagnum fuscum* (рис. 1).

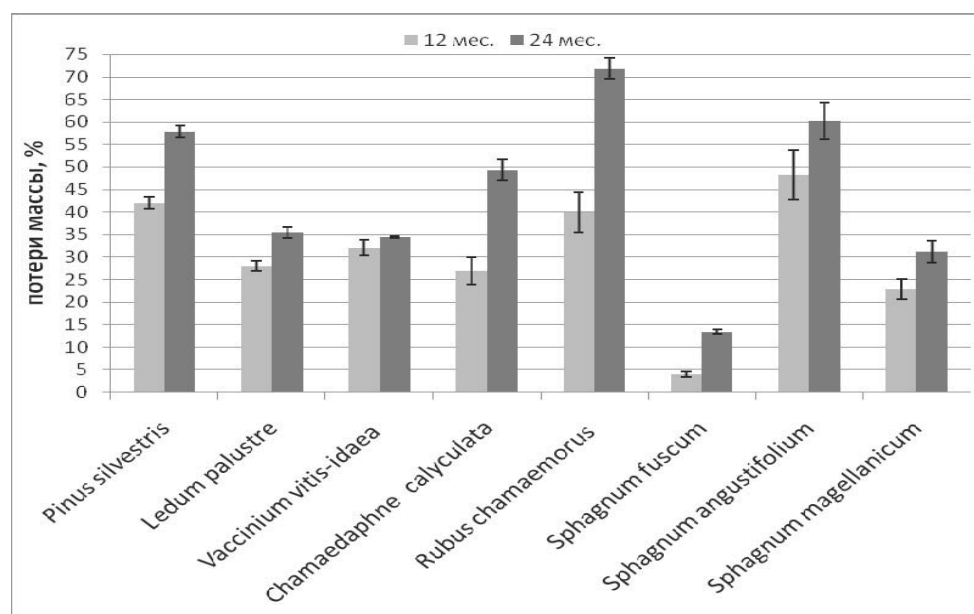


Рисунок 1. Разложение растительных остатков в ряме Кирсановского болота (потери массы приведены в % от исходного веса)

Согласно нашим исследованиям в условиях торфяной залежи осоково-сфагновой топи, как и в условиях ряма, наиболее активнее разложение отмечается за первый год. Убыль массы в первый год эксперимента в среднем составляет 75 % от общего разложения. В

первый год эксперимента наиболее устойчивым к разложению оказывается *Eriophorum vaginatum* (разложение составляет 24 % от исходной массы), а наибольшие потери массы у *Menyanthes trifoliata* (71 %). Результаты исследований показывают, что в течение второго года эксперимента скорость разложения в торфяной залежи осоково-сфагнутой топи значительно снижается, по сравнению с первым годом, но по-прежнему наиболее устойчивым к разложению остается *Eriophorum vaginatum* (36 %), а наибольшие потери массы наблюдаются у *Menyanthes trifoliata* (76 %) (рис. 2).

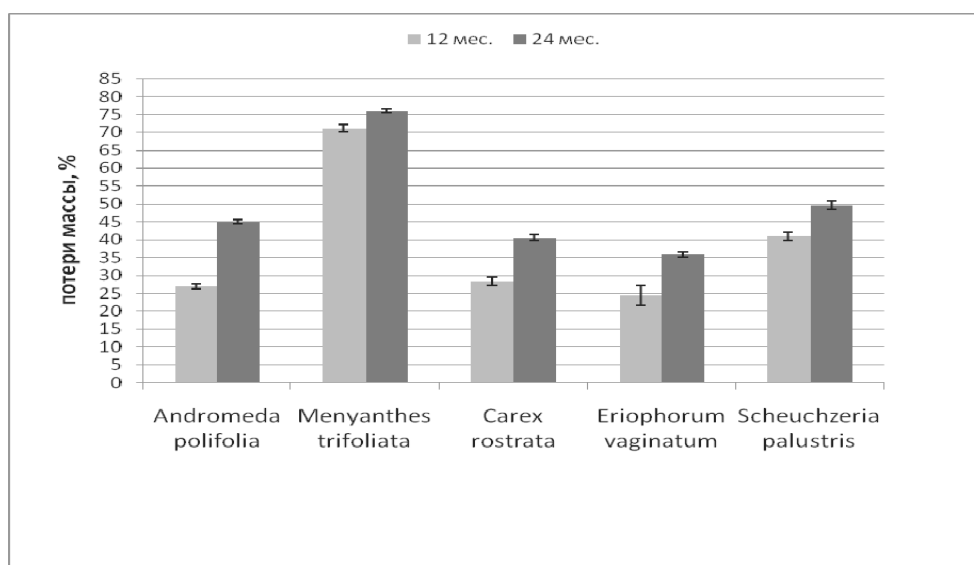


Рисунок 2. Разложение растительных остатков в торфяной залежи осоково-сфагнутой топи болота «Кирсановское» (потери массы даны в % от исходного веса)

Среднее положение по скорости разложения растительных остатков в торфяной залежи осоково-сфагнутой топи в первый год занимает *Carex rostrata* (28 %), во второй год скорость разложения *Carex rostrata* также равномерно увеличивается (41 %). Аналогичные исследования по скорости деструкции трав проводились в Канаде, Карелии, Западной Сибири. За год в Канаде потери при разложении осок составляли 27 %; в Карелии – 25 %; в Западной Сибири при разложении осок потери составили в среднем 35 % [1, 3, 4, 5].

Таким образом, за два года эксперимента по скорости разложения растений-торфообразователей в торфяной залежи осоково-сфагнутой топи, растения можно расположить в ряд: *Menyanthes trifoliata* > *Scheuchzeria palustris* > *Andromeda polifolia* > *Carex rostrata* > *Eriophorum vaginatum*. Полученные результаты исследований согласуются с литературными данными [1, 5, 6].

Заключение. По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее интенсивное разложение растительных остатков в торфяной залежи ряма болота «Кирсановское» происходит в первый год после начала эксперимента и достигает

67 % от общего разложения. Во второй год скорость разложения снижается в среднем в 2 раза. Наиболее устойчивым к разложению и, следовательно, основным растением-торфообразователем является *Sphagnum fuscum* (потери составили 13 % от исходной массы), а наименее устойчивым *Rubus chamaemorus* (72 % от исходной массы).

2. Наибольшая деструкция растительных остатков в торфяной залежи осоково-сфагновой топи болота «Кирсановское» происходит в первый год после начала эксперимента (75 % от общего разложения). Во второй год скорость разложения снижается в среднем в 3 раза. В торфяной залежи осоково-сфагновой топи самое активное разложение отмечается у *Menyanthes trifoliata* (76 % от исходной массы), а минимальное – у *Eriophorum vaginatum* (36 % от исходной массы). Таким образом, основным растением-торфообразователем в торфяной залежи осоково-сфагновой топи является *Eriophorum vaginatum*.

Список литературы

1. Козловская, Л. С. Динамика органического вещества в процессе тофрообразования / Л. С. Козловская, В. М. Медведева, Н. И. Пьявченко. – Л.: Наука, 1978. – 176 с.
2. Головацкая Е. А. Деструкция растительного вещества в торфяной залежи Кирсановского болота /Е.А. Головацкая, Л.Г. Абзалимова, Е.В. Порохина // Болота и биосфера: материалы VII Всероссийской с международным участием научной школы (13-15 сентября 2010г). – Томск, 2010. – С 157–161.
3. Загуральская, Л. М. Разложение некоторых растений-торфообразователей в естественных условиях / Л. М. Загуральская // Взаимоотношения леса и болота. – М. : Недра, 1967. – С. 82–89.
4. Боч, М. С. Экосистемы болот СССР / М. С. Боч. – Л. : Наука, 1979. – 188 с.
5. Миронычева-Токарева, Н. П. Динамика разложения органического вещества на болотах различного генезиса / Н. П. Миронычева-Токарева, Е. К. Паршина // Болота и биосфера: материалы Третьей научной Школы (13–16 сентября 2004г.)/ под ред. проф., д. с.-х. н., чл.-корр. РАСХН Л. И. Инишевой. – Томск: ЦНТИ, 2004. – С. 23–29.
6. Паршина, Е. К. Деструкция растительного вещества в болотных экосистемах таежной и лесотундровой зон Западной Сибири: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Томск, 2009. – 23 с.

DESTRUCTION OF PEAT-FORMING PLANTS IN THE PEAT SOIL IN OLIGOTROPHIC BOGS OF TOMSK REGION

L.G. Abzalimova, E.V. Porochina, E.A. Golovatskaya

There are present the results of reserch of decomposition peat-forming plants in oligotrophic peat deposit. It is shown the quantitative estimation of the rate of decomposition of the peat-forming plants. It was revealed that the most intensive decomposition occurs during the first year.

ЗАПАСЫ БИОМАССЫ И ПРОДУКЦИЯ СОСНОВО-КУСТАРНИЧКОВО-СФАГНОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ СТАЦИОНАРА «ВАСЮГАНЬЕ»

И. А. Барышева

Томский государственный педагогический университет, г. Томск,
e-mail: IrinkaBa@vtomske.ru

В статье представлены результаты по биологической продуктивности сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозов стационара «Васюганье». Оценен вклад болотных растений в продукцию и определено количество углерода, депонированного в виде растительности.

Введение. Изучение биологической продуктивности растительных сообществ является одной из важных задач в исследовании круговорота веществ в биосфере [1–3]. Западная Сибирь является самым крупным регионом мира по количеству торфяных болот, в которых сосредоточено 36 % от депонированного углерода России. Болота играют особую роль в глобальном круговороте углерода в биосфере, являясь накопителем углерода в виде торфяных залежей. Частью биологического круговорота углерода является биологическая продуктивность, которая отражает количество углерода, накопленное в виде органического вещества растений и не затраченное на процессы дыхания и разложения. Следует отметить, что данных по биологической продуктивности болот, особенно на территории Западной Сибири сравнительно немного.

Цель данной работы – изучить запасы и структуру биомассы, а также продукцию сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозов стационара «Васюганье».

Объект исследований. Исследования проводились в пределах научно-исследовательского стационара «Васюганье». Территория научно-исследовательского полигона, площадью 400 км², расположена в пределах южной части южно-таежной подзоны Западной Сибири на левобережье р. Оби, в междуречье рек Бакчар – Икса, в окрестностях дер. Польшанка Бакчарского района Томской области [4]. Конкретными пунктами наблюдений являются сосново-кустарничково-сфагновые фитоценозы – высокий и низкий рямы.

Исследования проводились в течение вегетационного периода 2009 года. Согласно оценке влагообеспеченности по гидротермическому коэффициенту (ГТК) вегетационный период можно охарактеризовать как избыточно влажный (ГТК=1,8). Особенностью вегетационного периода 2009 года были избыточно влажные май, июнь, июль и очень засушливый сентябрь.

Методы исследований. Запас биомассы определяли в период максимального ее развития (в начале августа). Надземную продукцию исследовали укосным методом (без учета древесного яруса) [5], подземную – методом монолитов Шальгта [6]. Статистическая обработка результатов осуществлялась в Microsoft Office Excel.

Результаты исследования и обсуждение. Известно, что запасы биомассы определяются как характером растительности, так и погодными условиями [7]. Общая биомасса состоит из фотосинтезирующей и нефотосинтезирующей фитомассы и мортмассы.

Запасы биомассы в высоком ряме составляют $2959,4 \pm 229,1$ г/м², а в низком ряме – в 1,4 раза больше ($4092,0 \pm 656,9$ г/м²). Результаты наших исследований сопоставимы с литературными данными [8]. В целом по структуре запасов биомассы исследуемые сосново-кустарничково-сфагновые фитоценозы практически не отличаются (рис. 1). Максимальный вклад в общие запасы биомассы в исследуемых фитоценозах вносит мортмасса, которая составляет от 55,1 до 71,6 % в высоком и низком рямах соответственно. Основная часть мортмассы представлена моховым очесом, который составляет в высоком ряме $1588,3$ г/м², а в низком ряме в 1,8 раз больше ($2835,7$ г/м²).

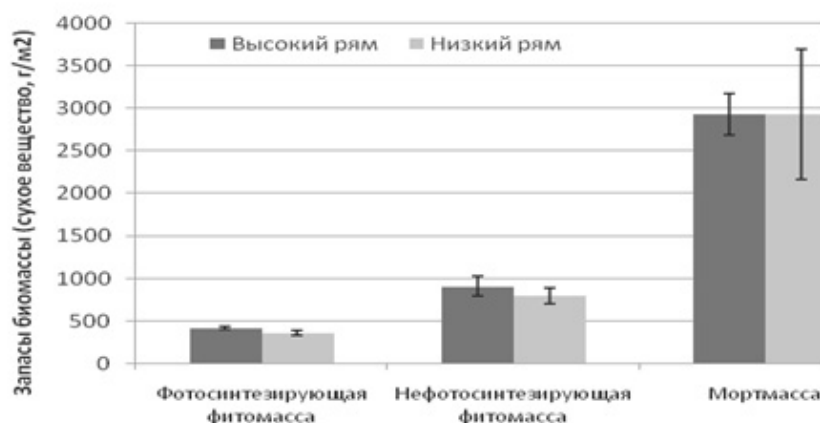


Рисунок 1. Структура запасов биомассы сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозов стационара «Васюгань» (сухое вещество, г/м², 2009 год)

Одной из важнейших фракций растительного вещества, определяющей функционирование фитоценоза, является фитомасса. Для высокого ряме фитомасса составляет 44,9, а для низкого – 28,4 % от общей биомассы. Это связано с тем, что в высоком ряме отмечаются более благоприятные условия для роста растений (менее обводненная корнеобитаемая зона). Выявлено, что достоверно больший вклад в запасы фитомассы на сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозах вносит нефотосинтезирующая фитомасса за счет корней растений (высокий рям – $909,3$ г/м², низкий – $797,5$ г/м²).

Запасы фотосинтезирующей фитомассы зависят от характера растительности и состоят из запасов зеленых частей трав, мхов, кустарничков и составляют $418,4$ г/м² и $364,1$ г/м² в высоком и низком рямах соответственно. В данных фитоценозах в фотосинтезирующую фитомассу максимальный вклад вносят зеленые части мхов: от 77,3 до 81,6 %. Достаточно велико и содержание листьев кустарничков (в среднем 19,5 %). Полученные результаты по

фотосинтезирующей фитомассе согласуются с данными Е. А. Головацкой, полученными на исследуемых фитоценозах ранее [8] и с данными Т.Т. Ефремовой [9], полученными в сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозах Томской области.

Запасы биомассы возрастают во всех фитоценозах главным образом за счет влаголюбивых мхов, а также корней трав и кустарничков. Прохладные и избыточно влажные погодные условия в течение вегетационного периода 2009 года вызвало увеличение запасов биомассы за счет влаголюбивых мхов, для которых были более благоприятные условия.

Чистая первичная продукция (NPP) является показателем накопления углерода в виде растительного вещества, нарастающего за вегетационный период. Она складывается из приростов надземной (ANP) и подземной (BNP) частей растений. Результаты проведенных исследований показывают, что наиболее продуктивным из сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозов является высокий рям, где чистая первичная продукция составляет 725,8 г/м²год, а в низком ряме чистая первичная продукция в 1,2 раза меньше (628,3 г/м²год). Доля подземной продукции в чистой первичной продукции в 2009 году была больше в высоком ряме (в 1,6 раза), а в низком ряме – в 1,1 раз, чем доля надземной продукции (табл. 1). Следует подчеркнуть, что основной вклад в чистую первичную продукцию исследуемых олиготрофных фитоценозов вносят подземные органы: до 58 % от чистой первичной продукции. До 23 % в продукцию фитоценозов в течение вегетационный период 2009 года привносят и сфагновые мхи.

Таблица 1

Чистая первичная продукция (NPP) сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозов стационара «Васюганье»

Продукция	Сосново-кустарничково-сфагновые фитоценозы	
	Высокий рям	Низкий рям
ANP, г/м ² год	269,9	294,6
BNP, г/м ² год	420,6	333,7
NPP, г/м ² год	725,8	628,3

Примечание: ANP – продукция надземного яруса; BNP – продукция подземного яруса; NPP – чистая первичная продукция.

Так как биологическая продуктивность является частью круговорота углерода, то на основании полученных данных по чистой первичной продукции для оценки депонированного углерода в виде растительности был произведен расчет количества углерода, поглощенного растениями из атмосферы в процессе фотосинтеза. Результаты расчетов показывают, что в 2009 г. сосново-кустарничково-сфагновые фитоценозы поглотили из атмосферы 331,4 гС/м² (высокий рям) и 301,6 гС/м² (низкий рям).

Закключение. 1. Среди исследуемых фитоценозов наибольшие запасы биомассы характерны для низкого рьяма ($4092,0 \pm 656,9$ г/м²), в высоком рьяме запасы биомассы составляют $2959,4 \pm 229,1$ г/м².

2. Основной вклад в общие запасы биомассы на сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозах стационара «Васюганье» вносит мортмасса, которая составляет от 55,1 до 71,6 % в высоком и низком рьямах соответственно. В запасах фитомассы преобладает нефотосинтезирующая фитомасса (высокий рьям – $909,3$ г/м², низкий – $797,5$ г/м²).

3. Среди изучаемых сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозов наиболее продуктивным является высокий рьям, где чистая первичная продукция составляет $725,8$ г/м²год. Основной вклад в чистую первичную продукцию исследуемых фитоценозов вносят корни трав и кустарничков (до 58 %), а также сфагновые мхи (до 23 %).

4. За вегетационный период 2009 года исследуемые фитоценозы поглотили из атмосферы $331,4$ гС/м²год и $301,6$ гС/м²год.

Работа выполнена под руководством к.б.н. Е.А. Головацкой и к.б.н., доцента Е.В. Порохиной.

Список литературы

1. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. – М.: Наука, 1993. – 295 с.
2. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Фитомасса, продукция и разложение растительных остатков в олиготрофных болотах средней тайги Западной Сибири // Вестник ТГПУ. – 2009. – Вып. 3(81). – С. 63–69.
3. Косых Н.П. Болотные экосистемы таежной зоны Западной Сибири: фитомасса и продукция: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Красноярск, 2003. – 23 с.
4. Научно-исследовательский полигон «Васюганье» / Л. И. Инишева, Т. В. Дементьева, Е. А. Головацкая, Е. В. Порохина // Программа научной экскурсии. – Томск : ЦНТИ, 2003. – 88 с.
5. Ботаника с основами фитоценологии: Биологическая продуктивность болотных биогеоценозов: учебно-методическое пособие / Е. А. Головацкая, Е. В. Порохина; под. ред. к.б.н. В. А. Дырина. – Томск: Изд-во ТГПУ, 2005. – 64 с.
6. Шалыт М. С. Методика изучения подземных частей растений // Полевая геоботаника. – 1960. – Т. 2. – С. 369–447.
7. Инишева Л. И., Е. А. Головацкая. Элементы углеродного баланса олиготрофных болот отрогов Васюганского болота // Экология. – 2002. – № 4. – С. 242–249.
8. Головацкая Е. А. Биологическая продуктивность олиготрофных и эвтрофных болот южно-таежной подзоны Западной Сибири // Журнал СФУ Биология. – 2009. – Т.2. – № 3. – С. 38–53.
9. Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Мелентьева Н.В. Запасы углерода в экосистемах болот // Углерод в экосистемах лесов и болот России; под. ред. В.А. Алексеева и Р.А. Бердси. – Красноярск, 1994. – С. 126–139.

STOCKS BIOMASS AND PRODUCTION OF PINE-SHRUB-SPHAGNUM PHYTOCENOSES STATIONARY «VASYUGANYE»

I.A. Barysheva

There are presented the results of the biological productivity of pine-shrub-sphagnum phytocenoses of stationary «Vasyuganye». The contribution of carbon deposit in wetland plants.

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА

В. А. Блинова

Томский государственный педагогический университет, г. Томск,
e-mail: Lettta@sibmail.com

В статье приводятся результаты исследований окислительно-восстановительного потенциала и уровня болотных вод торфяных залежей олиготрофного и эвтрофного типов. Выявлена зависимость окислительно-восстановительного потенциала от уровня болотных вод.

Введение. Окислительно-восстановительный потенциал торфяных болот характеризуется низким значением потенциала и высоким откликом на изменение степени увлажнения в связи с наличием высокомолекулярных органических веществ. На показание окислительно-восстановительного потенциала оказывают влияние температурный режим, влажность, аэрация, биологическая активность микроорганизмов.

Целью работы являлось изучение окислительно-восстановительного потенциала и выявление зависимости окислительно-восстановительного потенциала от уровня болотных вод в торфяных залежах болот различного генезиса.

Объекты исследования. Объектами исследования являлись два пункта: эвтрофное болото (станционар «Таган») и олиготрофное болото (станционар «Васюганье»). Эвтрофное болото (станционар «Таган») расположено в южно-таежной подзоне Западной Сибири, в южной части Томской области. Это древесно-травяно-моховое болото, с мощностью залежи торфа до 3 м [1]. Объект находится в древней ложбине стока реки Томи, а подстилающими породами служат пески, супеси и суглинки. Для исследований на болоте был выбран пункт 1. Характеристика свойств торфа этого пункта приведена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика свойств торфа пункта 1, стационар «Таган» [2]

Глубина отбора, см	Вид торфа	Степень разложения, %	Зольность, %
0–25	Травяной	35	11.2
25–50	Травяной	35	9.4
50–75	Травяно-гипновый	25–30	11.2
75–100	Травяной	25–30	6.6
100–125	Травяной	30.00	10.3
125–150	Травяной	35	11.3
150–175	Древесно-травяной	35	10.5
175–200	Осоковый	40	12.1
200–225	Древесный	35(40)	10.7
225–250	Папоротниковый	40(45)	10.3
250–275	Травяной	40	8.9
275–300	Древесно-травяной	55	17.2

Растительность пункта 1: древесный ярус – береза, редкие угнетенные сосны; наземный покров – крапива, осока, папоротник. Торфяная залежь имеет мощность около 300 см. В основании залежи лежит заиленный песок черного цвета, выше располагается слой древесного низинного торфа (200–175 см), затем идут древесно-травянистые низинные торфа (175–100 см), частично определенные как вахтовые (100–50 см). Верхний слой представлен травяным низинным (50–25 см) и древесным низинным (25–0 см) торфом [2].

Олиготрофная торфяно-болотная экосистема располагается на северо-восточных отрогах Васюганского болота в пределах южно-таежной подзоны Томской области, в бассейне реки Ключ [3]. Водосбор реки Ключ (правый приток реки Бакчар, площадь 58 км²) практически полностью представлен исследуемой болотной экологической системой. Для наблюдений на олиготрофном болоте был выбран пункт 3 (низкий рям).

Растительность пункта 3 (низкий рям) относится к сосново-кустарничково-сфагновой ассоциации с низкой сосной. Залежь имеет смешанный топяной вид строения. Верховой торф представлен двумя видами – слабой степени разложения фускум (40 % участия) и средней степени разложения магелланикум (10 % участия). В основании торфяной залежи лежит слой, мощностью 30 см (10 % участия) хвощевого низинного торфа высокой степени разложения (50 %); над ним более мощный слой осокового низинного торфа (40–50 %). На контакте двух пластов – верхового и низинного – располагается слой торфа переходного типа, отложенный когда-то существовавшими здесь мезотрофными растительными сообществами – древесно-осоковым и древесно-сфагновым [3].

Таблица 2

Характеристика свойств торфа пункта 3, стационар «Васюганье» [3]

Глубина, см	Вид торфа	Степень разложения, %	Зольность, %
25-50	Фускум, В	20	6.2
100-150	Медиум, В	30	6.4
150-200	Сосново-пушицевый, В		
200-250	Осоковый, Н	40	36.3
250-300	Травяной, Н		

Примечание: В – верховой тип болота, Н – низинный тип залежи.

Методы исследования. На выбранных объектах в период с мая по сентябрь 2011 года проводились наблюдения за уровнем болотных вод [4]. За «0» бралась условная отметка средней поверхности болотного ландшафта. Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) определяли платинированными электродами [5] до глубины 2–3 м в период с мая по сентябрь.

Результаты исследования. Сезонные колебания уровня болотных вод в течение вегетационного периода определяются запасом влаги в снеге и характером распределения осадков.

На пункте 1 (станционар «Таган») в течение вегетационного периода происходило понижение уровня болотных вод (УБВ) с 4 см (над поверхностью) до 28 см (ниже поверхности). С 2 мая по 7 июня УБВ находился выше поверхности торфяной залежи. В июле УБВ опускается на 10 см до отметки –17 см. Во второй и третьей декаде июля отмечается подъем УБВ с –17 см до –1 см. В дальнейший период наблюдается понижение УБВ, который в конце сентября составляет –28 см. Колебания УБВ за вегетационный период составили 24 см (табл. 3).

Таблица 3

Уровень болотных вод в торфяной залежи

Дата	Май		Июнь				Июль			Август		Сентябрь		
	16	26	2	7	16	27	8	16	26	16	26	8	16	30
Пункт 1, стационар «Таган»	2	0	0	0	–3	–14	–17	–1	–7	–18	–25	–20	–25	–28
Пункт 3, стационар Васюганье	–23	–27		–29	–26	–27	–31	–27	–27	–25	–26	–25	–26	–28

Примечание: положительные величины УБВ характеризуют окислительные условия, отрицательные – восстановительные.

В середине мая на пункте 3 стационара «Васюганье» уровень болотных вод был ниже на 21 см относительно пункта 1 на стационаре «Таган». В начале июня УБВ опустился до глубины –29 см, а в конце месяца поднялся на 2 см (–27 см). В начале июля УБВ был равен –31 см, а в конце поднялся до –27 см. В сентябре УБВ опустился с –25 см до –28 см. Пределы колебаний УБВ за вегетационный период составили 5 см (табл. 3).

Рассмотрим динамику окислительно-восстановительного потенциала изучаемых пунктов. В середине мая на пункте 1 (станционар «Таган») в верхнем (0–10 см) слое отмечались переходные условия от восстановительных к окислительным (–294 мВ). Интенсивно окислительные условия проявились уже в начале июня (613 мВ) и остались на таком уровне до августа. В начале сентября отмечались восстановительные условия (–88 мВ). В середине сентября окислительно-восстановительный потенциал возрос до 526 мВ и в торфяной залежи наблюдались окислительные условия. В конце сентября величина окислительно-восстановительного потенциала опустилась до 210 мВ (переходные условия) с последующим повышением до 417 мВ (окислительные условия). Уже на глубине 100 см преобладали интенсивно восстановительные условия. На глубине 100–250 см значение

величины окислительно-восстановительного потенциала уменьшились к концу вегетационного периода с -140 до -225 и -147 до -201 мВ соответственно (табл. 4).

Таблица 4

Окислительно-восстановительный потенциал в торфяной залежи, пункт 1, стационар «Таган», мВ

Глубина, см	Май	Июнь			Июль		Август	Сентябрь				
	14	2	14	27	22	25	23	2	8	13	21	30
10	294	613	579	560	594	617	565	88	236	526	201	417
100	-140	-140	-195	-189	-217	-153	-226	-209	-221	-209	-224	-225
250	-147	-185	-212	-212	-221	-292	-220	-145	-104	-	-143	-201

Примечание: «-» – нет данных.

Следует отметить, что имеющаяся градация по окислительно-восстановительным условиям [6] относится к минеральным почвам. Весь диапазон значений окислительно-восстановительного потенциала в минеральных почвах разбивается на следующие ранги: 1 – интенсивно восстановительные условия (ОВП менее 0 мВ); 2 – восстановительные условия (ОВП=0–200 мВ); 3 – переходные условия от восстановительных к окислительным (ОВП=200–400 мВ); 4 – окислительные условия (ОВП=400–600 мВ); 5 – интенсивно-окислительные условия (ОВП более 600 мВ) [5].

В торфяных почвах в связи с их органогенным происхождением, реакция на изменение окислительно-восстановительных условий характеризуется иной закономерностью, что отмечается Л.И. Инишевой и Ф.Р. Зайдельманом (цитируется по [5]). В профиле торфяных почв выделяются 3 зоны: 1) окислительная – в слое 0–60 см; 2) переходная – в слое 60–80 см; 3) восстановительная – глубже 80 см [5].

На пункте 3 стационар «Васюгань» в верхнем слое (0–10 см) в течение всего вегетационного периода преобладали интенсивно-окислительные условия. С мая по начало июля величина ОВП снижалась с 617 до 588 мВ (окислительные условия). Но уже с середины июля величина ОВП поднялась до 708 мВ. С середины августа величина окислительно-восстановительных условий снизилась до 608 мВ (табл. 5).

Таблица 5

Окислительно-восстановительный потенциал в торфяной залежи, пункт 3 стационар «Васюгань», мВ

Глубина, см	Май		Июнь		Июль		Август			Сентябрь		
	16	26	16	26	6	16	6	16	26	6	16	26
10	667	614	642	615	588	708	735	679	634	637	609	608
100	-46	-41	-47	-34	-54	-45	-52	-35	-68	-42	-38	-65
250	-117	-115	-121	-106	-121	-112	-115	-98	-129	-107	-98	-124

На глубине 100–250 см преобладали интенсивно-восстановительные условия. С мая по сентябрь происходили колебания величины ОВП с –46 до –65 и с –117 до –124 мВ соответственно.

Выводы. В торфяной залежи олиготрофного типа (пункт 3, стационар «Васюганье») УБВ на протяжении вегетационного периода 2011 года был ниже, чем в торфяной залежи эвтрофного типа (пункте 1, стационар «Таган») и только к концу сентября значения УБВ в обоих пунктах сравнялись.

1. На стационаре «Васюганье» в верхнем слое (0–10 см) преобладают интенсивно окислительные условия, а на глубине 250 см отмечаются устойчивые интенсивно восстановительные условия.

2. В верхних слоях торфяной залежи на стационаре «Таган» наблюдаются окислительные условия, с глубины 100 см преобладают восстановительные.

3. Чем ближе к поверхности торфяной залежи залегает УБВ, тем меньше величина окислительно-восстановительного потенциала, и в торфяной залежи начинают преобладать восстановительные условия и наоборот.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства образования и науки (5.1161.2011).

Список литературы

1. Инишева Л.И. Выработанные торфяные месторождения. Их характеристики и функционирования./ Л.И. Инишева, В.Е. Аристархова, Е.В. Порохина. – Томск, Изд-во ТГПУ, 2007. – 225 с.
2. Инишева Л.И. Болотные стационары Томского государственного педагогического университета / Л.И. Инишева, В.Ю. Виноградов, О.А. Голубина. – Томск, Изд-во ТГПУ, 2001. – 114 с.
3. Наставления гидрометрическим станциям и постам. – Л: Гидрометеиздат, 1987.
4. Инишева Л.И. Определение температуры почв и торфа терморезисторами ММТ-4 / Л.И. Инишева, В.И. Юхлин, Ф.Ф. Зелингер. – Томск, 1975.
5. Инишева Л.И. Почвенно-экологическое обоснование комплексных мелиораций /Л. И. Инишева. – Томск: Изд-во ТГУ, 1992.
6. Сердобольский И.П. Влияние влажности на ОВП в подзолистых почвах / И.П. Сердобольский // Почвоведение. – 1940. – N 7. – С.47–59.

REDOX CONDITIONS OF PEAT DEPOSITS DIFFERENT GENESIS

V.A. Blinova

The paper presents the results of studies of the oxidation-reduction potential and the bog water level oligotrophic and eutrophic peat deposits. The dependence of the redox potential of the bog water level.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД БОЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.С. Воистинова

ГНУ СибНИИСХиТ Россельхозакадемии, г. Томск
e-mail: elenavoistinova@yandex.ru

В статье представлены результаты гидрохимических исследований болотных ландшафтов Томской области. Рассматривается состав органического и минерального вещества болотных вод. Показаны концентрации химических элементов болотных вод, характерные для естественных условий функционирования и развития болот.

Химический состав болотных вод имеет региональные особенности в содержании элементов, зависит от типа и свойств торфяной залежи, климатических и гидрогеологических условий территории. Болотные воды лесной зоны Западно-Сибирской равнины маломинерализованные, практически не содержат растворённого кислорода, отличаются большими концентрациями углекислого газа и метана. Большинство исследователей (К.Е. Иванов, А.Д. Назаров, Н.М. Рассказов, С.Л. Шварцев и др.) болотные воды отнесены к грунтовым водам или верховодке [1]. Однако гидрохимические классификации В.А. Сулина и М.Г. Валяшко, направленные на подземные воды, не отражают качественные и количественные изменения в химическом составе маломинерализованных вод. В работе использована классификация природных вод О.А. Алёкина наиболее полно отражающая химический состав поверхностных маломинерализованных вод суши. Однако в этой классификации не выделен отдельный класс вод с преобладанием органического вещества, так как органическое вещество природных вод обладает весьма сложным составом [2, 3]. Поэтому особую важность приобретают исследования состава органического и минерального вещества болотных вод.

Гидрохимические исследования вод болотных ландшафтов проводились в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (ГК № 14.740.11.0199) в летний период 2011 года в районах, удалённых от антропогенного воздействия. На рисунке 1 показаны точки отбора болотных вод в ходе экспедиционных исследований, цифрами отмечены болота, химический состав вод которых анализируется в статье. В торфяной залежи при помощи бура создавали скважину глубиной 1 м. Пробы воды отбирали с глубины 30–50 см в специально подготовленную стеклянную и пластмассовую посуду. Отбор осуществлялся с помощью одноразовых пробоотборников (пластмассовых ёмкостей объёмом 1 л), исключаящих загрязнение проб. Сразу после отбора проб определяли рН, температуру воды и быстроменяющиеся компоненты (концентрацию CO_2 и HCO_3^-). Анализ макрокомпонентного состава болотных вод выполнялся по общепринятым методикам. Суммарное содержание минеральных веществ определялось величиной плотного остатка.

Концентрация тяжёлых металлов определялась методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе типа ТА.

Сосново-кустарничково-сфагновое грядово-мочажинно-озерковое болото (точка 34 а) расположено на второй левобережной надпойменной террасе реки Кеть в Верхнекетском районе Томской области (подзона южной тайги). Согласно классификации О.А. Алёкина воды болота пресные сульфатного класса кальциевой группы четвёртого типа кислые.

Значение водородного показателя болотных вод тесно связано с процессами распада органического вещества. Гумусовые кислоты являются источником ионов водорода. Большое содержание органических веществ (ХПК 91,5 мгО/л) и гумусовых кислот определяет низкие значения водородного показателя и отсутствие гидрокарбонат иона в водах болота. Концентрация CO_2 составляет 25,4 мг/л.

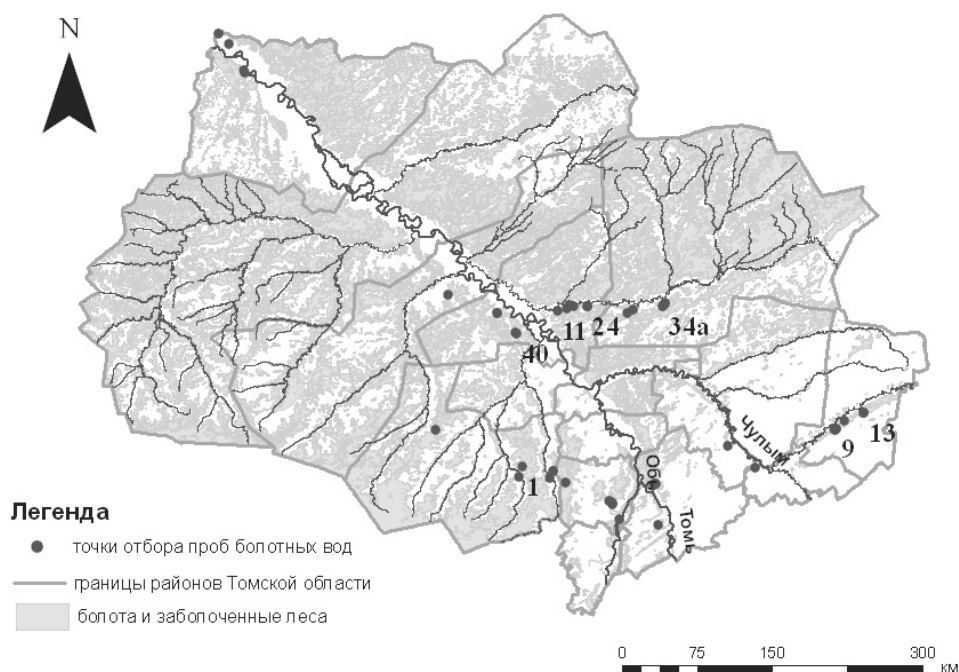


Рисунок 1. Точки отбора проб болотных вод на территории Томской области

Содержание минеральных веществ в болотных водах сопоставимо с содержанием в атмосферных осадках. Объяснить это можно атмосферным питанием болота. Содержание ионов аммония в водах болота составляет 2,32 мг/л, железа – 1,01 мг/л. Как показали исследования, воды сосново-кустарничково-сфагнового грядово-мочажинно-озеркового болота по химическому составу являются типичными для верховых болотных массивов.

Сосново-кустарничково-сфагновое болото (точка 1) расположено на междуречье рек Бакчар и Икса в подзоне южной тайги в Бакчарском районе Томской области. Воды болота пресные хлоридного класса кальциевой группы кислые (рН 3,6). Плотный остаток болотных вод – 12,1 мг/л. Содержание ионов Ca^{2+} (4,8 мг/л) в водах верхового болота превышает

содержание ионов Mg^{2+} (1,09 мг/л). Концентрация калия и натрия незначительна 1,2 и 1,1 мг/л. Восстановительные условия болотных вод определяют высокие концентрации ионов аммония (6,4 мг/л). Среднее содержание $Fe_{общ}$ составляет 1,9 мг/л. В анионном составе болотных вод преобладает хлорид ион, концентрация которого 4,15 мг/л. Гидрокарбонат ион практически отсутствует в водах верхового болота. Отличительной особенностью вод верхового болота является высокое содержание органических веществ, которое превышает содержание минеральных соединений. Углерод поступает в болотные воды в составе органических соединений: гуминовых и фульвокислот, карбоновых кислот, фенолов, ароматических и парафиновых углеводородов, органических фосфатов, фталатов и других соединений. Суммарное содержание органических веществ определялось концентрацией углерода водорастворимого и бихроматной окисляемостью болотных вод. Среднее содержание углерода водорастворимого составляет 62,2 мг/л. Бихроматная окисляемость вод верхового болота – 117,7 мгО/л. Концентрация гуминовых кислот – 6,74 мг/л, а фульвокислот – 60,48 мг/л. Нефтепродукты в воде верхового болота определены в концентрациях от 0,006 до 0,011 мг/л и, возможно, имеют естественное происхождение. Содержание фенолов составляет 0,0078 мг/л. Средняя концентрация меди – 0,0036 мг/л, цинка – 0,028 мг/л, свинца – 0,0006 мг/л, кадмия менее 0,0002 мг/л.

Сосново-травяно-моховое переходное болото (точка 24) расположено в пойме реки Кеть в подзоне средней тайги в Колпашевском районе Томской области. Питание болота смешанное – грунтовыми водами и атмосферными осадками. По химическому составу (классификация О.А. Алёкина) воды болота пресные гидрокарбонатного класса кальциевой группы третьего типа кислые. Плотный остаток болотных вод (16,7 мг/л) говорит о том, что питание грунтовыми водами проявляется периодически. В анионном составе вторым по содержанию после гидрокарбонат иона является сульфат ион, концентрация которого составляет 9,2 мг/л. В катионном составе доминируют ионы кальция. NH_4^+ присутствует в концентрациях 3,4 мг/л, больших чем в водах верхового болота на второй левобережной надпойменной террасе реки Кеть (точка 34 а). Содержание железа составляет 2,27 мг/л. Процессы разложения и трансформации органического вещества определяют высокое содержание углекислого газа – 32,9 мг/л.

Древесно-осоково-моховое переходное болото (точка 13, подзона южной тайги) расположено на второй надпойменной террасе р. Чулым в Тегульдетском районе Томской области. Питание болота смешанное: грунтовыми водами и атмосферными осадками. Согласно классификации О.А. Алёкина воды болота пресные гидрокарбонатного класса магниевой группы третьего типа C_{III}^{Mg} кислые (рН 4,59). Содержание органических веществ

превышает содержание минеральных соединений (21,5 мг/л). Концентрация K^+ (1,7 мг/л) превышает Na^+ (0,4 мг/л). Ионы аммония и железа определены в концентрациях 2,15 мг/л и 1,25 мг/л соответственно. В анионном составе вторым по содержанию после гидрокарбонат иона является сульфат ион. Отличительной особенностью вод переходного болота является очень высокое содержание растворённого углекислого газа (рис. 2).

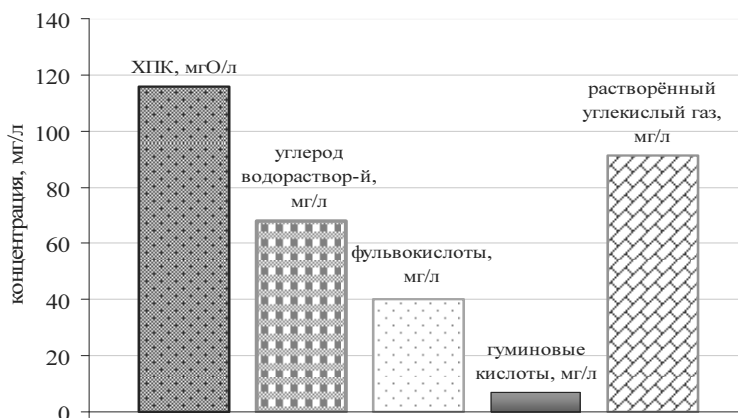


Рисунок 2. Содержание органических веществ и растворённого углекислого газа в водах древесно-осоково-мохового переходного болота (точка 13)

Сосново-осоково-моховое переходное болото (точка 9, подзона южной тайги) расположено на Кия-Чулымской водораздельной равнине в Тегульдетском районе Томской области. Торфяная залежь переходного болота образована следующими видами торфов: сфагновым, древесно-осоковым, осоково-сфагновым с разной степенью разложения (от 10 до 50 %). Древесная растительность представлена сосной в угнетённом состоянии. Воды болота пресные хлоридного класса кальциевой группы четвёртого типа кислые (рН 3,75). В водах переходного болота наблюдаются высокие концентрации ионов аммония (4,28 мг/л) и растворённого углекислого газа (52,4 мг/л). В составе гумусовых кислот преобладают фульвокислоты (58,3 мг/л), отношение ФК/ГК равно 12. Железо присутствует в концентрациях (1,65 мг/л), характерных для верховых болот. Содержание K^+ (2,1 мг/л) превышает Na^+ (0,6 мг/л). Плотный остаток болотных вод составляет 23 мг/л.

Травяное низинное болото (левобережная пойма реки Кеть, точка 11) расположено в Колпашевском районе Томской области в подзоне южной тайги. В питании болота участвуют грунтовые, атмосферные и поверхностно-сточные воды. В соответствии с классификацией О.А. Алёкина воды болота пресные гидрокарбонатного класса кальциевой группы первого типа $C_I^{Ca, Mg}$ слабокислые. Общее содержание химических элементов в болотных водах – 55,2 мг/л. Отличительной особенностью вод низинного болота является высокая концентрация железа общего (12,3 мг/л). Однако ионы аммония определены в

концентрациях (1,73 мг/л) меньших, чем в воде сосново-кустарничково-сфагнового грядово-мочажинно-озеркового болота (точка 34 а).

Низинное кустарничково-травяно-гипновое болото (точка 40, подзона южной тайги) расположено в пойме реки Обь в Колпашевском районе Томской области. Воды болота пресные гидрокарбонатного класса кальциевой группы первого типа нейтральные с небольшим содержанием растворённого углекислого газа (14,9 мг/л). Высокие значения водородного показателя (7,3) болотных вод говорят об участии подземных и речных вод в питании болота. Высокая минерализация вод низинного болота (157,6 мг/л) характерна для пойменных болот исследуемого региона. Содержание органических веществ сравнительно небольшое (ХПК – 62,1 мгО/л, концентрация гуминовых кислот – 1,88 мг/л, фульвокислот – 14,2 мг/л). В водах низинного кустарничково-травяно-гипнового болота наблюдаются очень высокие концентрации железа общего – 67,6 мг/л, тогда как ионы аммония присутствуют в количестве 1,13 мг/л. Всё это говорит о том, что геохимическая среда низинных и низинных пойменных болот создаёт благоприятные условия для накопления железа.

Как показали проведённые исследования, воды болот Томской области отличаются большим содержанием органических веществ, образующихся при разложении и трансформации органических остатков и торфа. Органогенная природа болотных вод определяет окислительно-восстановительные условия, формы нахождения и миграционную подвижность химических элементов. Существенное значение для рН воды имеет концентрация органических гумусовых кислот. Состав органического вещества вод верховых болот определяет низкие значения водородного показателя, кислую реакцию, низкое содержание или отсутствие гидрокарбонат иона. По классификации О.А. Алёкина воды верховых болот гидрокарбонатного, сульфатного, хлоридного класса первого, четвёртого типа. В водах верховых болот наблюдается минимальное содержание минеральных веществ, сопоставимое с содержанием в атмосферных осадках.

Переходные болота исследуемых районов по химическому составу вод более разнообразны: гидрокарбонатного, хлоридного, сульфатного класса; кальциевой, магниевой группы; третьего и четвертого типа кислые. Минерализация вод переходных болот изменяется в широких пределах – от 16 до 90 мг/л.

Воды низинных болот, как правило, относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой или магниевой группе первого типу, характеризуются нейтральной или слабокислой реакцией среды, максимальной суммой ионов и содержат железо в больших концентрациях.

Территория Томской области разнообразна по условиям (климатическим, геологическим, геоморфологическим, гидрогеологическим) формирования химического состава болотных вод. Воды верховых болот Кеть-Тымского района содержат в меньшем

количестве Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Cl^- , гуминовые и фульвокислоты по отношению к верховым болотам Васюганской наклонной равнины и долины реки Обь. В анионном составе вод верховых болот Кеть-Тымского района преобладают SO_4^{2-} и HCO_3^- .

Воды верховых болот левобережья реки Обь отличаются многообразием ионно-солевого состава. В южных районах Васюганской наклонной равнины в катионном составе вод верховых болот преобладают ионы кальция вследствие повышенной карбонатности подстилающих пород. ХПК (бихроматная окисляемость) вод верховых болот левобережья реки Обь имеет более высокие значения по отношению к болотам Кеть-Тымского района.

В водах переходных болот расположенных в нижнем течении реки Томь определены наиболее высокие концентрации ионов аммония, железа и органических веществ среди переходных болот Томской области. Переходные болота Чулымской наклонной эрозионно-денудационной равнины и Кеть-Тымского района характеризуются более высокими значениями водородного показателя и меньшим содержанием органических кислот.

Высокие концентрации $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- наблюдаются в водах низинных болот долины реки Обь. Содержание SO_4^{2-} в водах низинных болот Кеть-Тымского района превышает в водах болот других районов исследования.

Список литературы

1. Назаров А.Д., Рассказов Н.М., Удодов П.А., Шварцев С.Л. Гидрогеологические условия формирования болот // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. – М: Наука, 1977. – С. 93–103.
2. Алёкин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 440 с.
3. Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебник: 2-е изд., перераб. и доп. – СПб: Гидрометеиздат, 2001. – 444 с.

CHEMICAL COMPOSITION OF TOMSK REGION MIRE LANDSCAPE WATER

E.S. Voistinova

The paper represents results of hydrochemical investigation of Tomsk Region mire landscape. The paper deals with the composition of organic and mineral matter bog water. Concentrations of chemical elements specific to bog water in natural conditions of mire functioning and development is shown.

ОЦЕНКА ПРОГРЕВА СЛОЯ ТОРФА В УСЛОВИЯХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В. А. Горельский, К.Н. Жильцов

Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики Томского
государственного университета, г. Томск, e-mail: vassili@mail2000.ru

В статье представлены результаты исследования процесса прогрева торфяного слоя до момента самовоспламенения под действием периодических по времени низкочастотных колебаний температуры окружающей среды. Основной целью было изучить степень влияния годовых колебаний температуры на возникновение самовозгорания.

Введение. Заканчивающийся воспламенением саморазогрев торфа является причиной многих подземных пожаров. Существенно, что в этом случае саморазогрев протекает при наличии периодических высокочастотных (суточных) и низкочастотных (сезонных) колебаний температуры воздуха.

Теория теплового взрыва (ТВ) была развита лишь для процессов с постоянной или линейно растущей во времени температурой среды, окружающей реакционно способное вещество [1]. Теория самовоспламенения пористых горючих материалов была развита также только для случая постоянной температуры окружающей среды [2]. В условиях естественного нахождения больших масс реакционноспособных материалов, колебания температуры атмосферного воздуха (суточные и особенно сезонные), окружающего реакционноспособное вещество, бывают очень большими. С учетом огромного ущерба, связанного с указанными пожарами, исследование влияния колебаний температуры среды на критические условия и период индукции ТВ имеет большое значение для современной теории катастроф, в частности экологических.

В предшествующих работах [3] были проведены расчеты, характеризующие качественные особенности процесса. Установлено, что колебания температуры окружающей среды могут существенно влиять на условия возникновения ТВ. В работах [4, 5] был проведен количественный теоретический анализ влияния параметров колебаний внешней температуры на критические условия и период индукции ТВ.

Рассматривается макрокинетика развития ТВ при наличии в окружающей среде гармонических колебаний температуры, с различной частотой ω и амплитудой T_A .

Постановка задачи. При протекании реакции первого порядка в среде, заполняющей полосу вещества толщиной $-h_g \leq x \leq h_t$, приняты следующие разбиения: $h_g \leq x \leq 0$ – область грунта с толщиной h_{grunt} ; $0 \leq x \leq h_t$ – область торфа с толщиной h_{torf} ; $x = 0$ – уровень раздела торфа и грунта; $x = h_t$ – граница раздела среды с атмосферой (рис. 1).

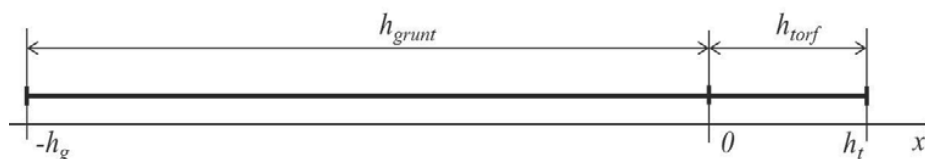


Рисунок 1. Область решения: h_{grunt} – область грунта, h_{torf} – область торфа

Исходная система уравнений, описывающих изменение во времени температуры T плоского слоя вещества толщиной h и глубина химического превращения в нем, имеет вид:

$$C\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial a}{\partial t} \rho Q k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial a}{\partial t} = -a k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (2)$$

Здесь C – теплоемкость, ρ – плотность, a – глубина химического превращения, Q – тепловой эффект реакции, k_0 – предэкспонента, E – энергия активации, R – универсальная газовая постоянная, λ – коэффициент теплопроводности [4]. В области грунта $-h_g \leq x \leq 0$ рассчитывается только уравнение (1), а в области торфа $0 \leq x \leq h_t$ считаются уравнения (1) и (2). Граничные условия для температуры записываются следующим образом:

$$\frac{\partial T}{\partial x}(-h_g) = 0 \quad T(h_t) = T_0 + T_A \sin(\omega t)$$

где T_0 – начальная температура торфа и грунта, T_A – амплитуда колебаний, ω – частота колебаний, t – время процесса.

Начальные условия следующие: $T_{t=0} = T_0 = 273$ К, $a_{t=0} = 1$.

Толщина грунта $h_g = \text{const} = 27$ м., толщина слоя торфа $h_t = 2,5$ м. Теплофизические и кинетические параметры грунта и торфа взяты из [6]; амплитуда колебаний атмосферной температуры при низкочастотных колебаниях $T_A = 20$ К. Частота колебаний $\omega = (2\pi/86400) \cdot 365$ 1/сек, то есть – одно колебание температуры в год.

Система дифференциальных уравнений с частными производными (1) - (2), с соответствующими начальными и граничными условиями, решалась методом конечных элементов на равномерной сетке [7].

Анализ полученных результатов. Рассмотрим основные результаты расчетов. На рисунке 2 представлены графики развития во времени разогрева и самовоспламенения торфяного слоя при амплитуде колебаний температуры окружающей среды $T_A = 20$ К. Изменения параметров температуры (рис. 2а), глубины химического превращения (рис. 2б) и интенсивности выделения тепла в единице объема торфа (рис. 2в) представлены в различных сечениях торфяного слоя: на границе раздела торф-грунт, на поверхности торфяного слоя,

граничащей с атмосферой, и в центральной части слоя торфа. Графики изменения температуры, представленной в градусах Цельсия, и интенсивности выделения тепла показывают рост параметров, с последующим воспламенением по истечении 2,5 лет. Они согласуются с графиком изменения глубины химического превращения для торфа, на котором видно, как происходит постепенное выгорание вещества на глубинах, причем наиболее интенсивно в срединном слое.

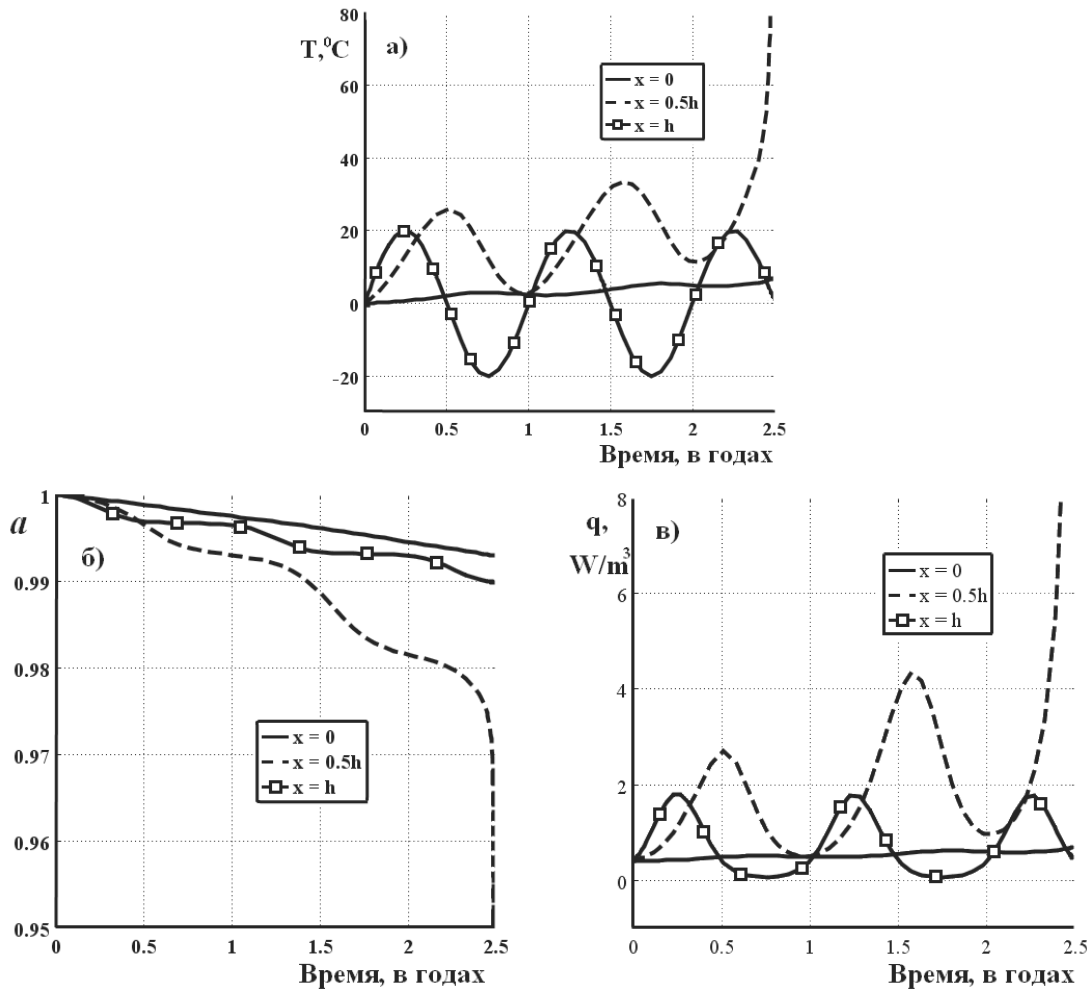


Рисунок 2. Графики изменений температуры T (а), глубины химического превращения a (б) и интенсивности выделения тепла q (в), при $h_t = 2,5$ м; $T_A = 20$ К и $\omega = 1$, в различных сечениях слоя торфа

Результаты расчетов показывают, что при рассмотренных амплитудах колебаний, годовые колебания температуры вызывают самовоспламенение торфяного слоя. Концентрация реагирующего вещества резко уменьшается в центральной части слоя. Это объясняется тем, что низкочастотные (годовые) колебания проникают на всю толщину слоя торфа, вызывая наибольший рост температуры именно в центральной области слоя торфа [4].

Стоит отметить, что при увеличении амплитуды колебаний T_A и при постоянной толщине торфяного слоя h_t происходит уменьшение времени индукции.

Заключение. Результаты расчетов, проведенные в заданном интервале параметров процесса, позволяют сделать следующие выводы. На период индукции при самовоспламенении торфа основное влияние оказывают сезонные (годовые) колебания температуры окружающей среды. Годовые колебания температуры атмосферы воздействуют на всю глубину слоя, вызывая максимальное выделение тепла в центральной области торфяного слоя. Рост температуры в слое торфа происходит достаточно медленно и период индукции теплового самовоспламенения торфа может составлять несколько лет.

Список литературы

1. Мержанов А.Г., Барзыкин В.В., Абрамов В.Г. Теория теплового взрыва: от Н.Н. Семенова до наших дней // Хим. физика. – 1996. – Т. 15. – № 6. – С. 3.
2. Рубцов Ю.И., Казаков А.И., Дьяков А.П., Андриенко Л.П., Николаева Л.И., Сорокина Т.В., Рубцова Е.Ю., Манелис Г.Б. // Кинетика тепловыделения при низкотемпературном окислении и деструкции торфа // Химия твердого топлива. – 2001. – № 6. – С. 44–55.
3. Горельский В.А., Ящук А.А., Штейнберг А.С. Тепловой взрыв при наличии колебаний температуры среды, окружающей реакционную смесь // Хим. физика. – 2010. – Т. 29. – № 9. – С. 37–41.
4. J.Adler, P.A. Barry, M.J.M. Bernal. // Thermal Explosion Theory for a Slab with Time-Periodic Surface Temperature Variation // Proceedings of the Royal Society of London. Series A. // Mathematical and Physical Sciences. – Vol. 370. – No. 1740 (Mar. 12, 1980). – Pp. 73–88.
5. Zhil'tsov K.N., Shteinberg A.S., Gorelski V.A., Yashchuk A. A. // Международная конференция, посвященная 80-летию академика А.Г. Мержанова: Тезисы докладов. – Черногловка: ИСМАН, 2011. – С. 142–143.
6. Н. Н. Стрыгин. Исследование процессов и факторов самонагревания торфа //Труды ВНИИ Торфяной промышленности; под ред. С. С. Стрелкова. – Вып. 16. – М.: Госэнергоиздат, 1958. – 240 с.
7. Горельский В.А., Жильцов К.Н., Ящук А.А. // IV Сибирская конференция по параллельным и высокопроизводительным вычислениям: Тезисы докладов. – Томск, 2011. – С. 23–24.

EVALUATION OF HEATING OF PEAT-LAYER IN CONDITIONS OF AMBIENT TEMPERATURE FLUCTUATIONS

V. A. Gorelski, K.N. Zhiltsov

The paper presents the results of a study of the process of heating of the peat layer up to the moment of spontaneous combustion under the action of time-periodic low-frequency fluctuations in ambient temperature. The main objective was to investigate the influence the seasonal temperature variations on the occurrence of spontaneous combustion.

О СОСТОЯНИИ ТОРФЯНОГО ФОНДА РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ, ПОСЛЕДСТВИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ БОЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ ПОСЛЕ ТОРФОРАЗРАБОТОК

О.Г. Гришуткин

Мордовский государственный природный заповедник им. П.Г. Смидовича, п. Пушта,
Россия, e-mail: grishutkinog@rambler.ru

В статье приводятся данные о современном состоянии торфяного фонда Республики Мордовия; дается краткое описание болот, подвергшихся торфоразработкам; описываются изменения, произошедшие на них.

Введение. На территории Мордовии известно более 750 разведанных торфяных месторождений, информация о которых содержится в Торфяном фонде Мордовской АССР, последний раз издававшегося в 1980 г. [1]. С тех пор произошли существенные изменения в результате разведки, переоценки, разработки, затопления торфяных месторождений, пожаров. Информация о происходящих изменениях содержится в дежурном варианте Торфяного фонда 1980 года и отчетах Территориального фонда геологической информации по Приволжскому федеральному округу.

Объекты и методы. Торфяные фонды являются одними из основных источников информации при региональных исследованиях болот, однако не всегда их содержание соответствует текущему состоянию болот. Положение осложняется тем, что в лесостепной полосе пропала явная практическая необходимость в переиздании торфяных фондов в виду прекращения разработок болот. Имеющиеся же сведения о происходящих изменениях не всегда могут быть доступны исследователям и носят отрывочный и скудный характер.

В данной работе предпринята попытка обобщить имеющийся материал после завершения торфоразработок, а также наметить основные тенденции естественного восстановления болот (прежде всего растительности) при сопоставлении ряда однотипных торфяников, разрабатывавшихся в разное время.

Основой работы служат фондовые материалы и отчеты государственных ведомств, а также довольно обширный полевой материал, собранный авторами в 2006–2012 гг. Всего обследовано около 500 болот, в т.ч. более 150 торфяных месторождений, 55 из которых в то или иное время разрабатывались.

Результаты исследования и обсуждение. Основной пик использования болот в Мордовии приходился на 1930–70 гг., т.е. до начала широкого использования для отопительных нужд нефти и газа, после чего исследования и разработки болот сильно сократились. Так, в 2001 г. разрабатывалось всего 8 болот. После распада организации «Мордовлестопром» в 2005 г. добыча торфа в республике прекратилась [2].

Всего за годы использования из 761 было в разной степени выработано 381 торфяное месторождение, 250 из них – полностью. Остальные 501 торфяное месторождение имеют

общую площадь в нулевых границах 18427,5 га, в границах промышленной глубины торфяной залежи: первоначальной – 10740,3 га и оставшейся после торфоразработок – 9183,3 га с запасами (ресурсами) торфа в количестве 28459,7 тыс. т.

В баланс запасов торфа по торфяным месторождениям площадью в границе промышленной глубины более 10 га по состоянию на 01.01.2001 г. включено 125 торфяных месторождений общей площадью в границе промышленной глубины: первоначальной – 7724 га, с оставшейся после торфоразработок – 6177 га.

Общий геологический запас торфа при условной 40 % влажности равен 20573,7 тыс. т., в том числе балансовые запасы – 8345,8 тыс. т. (40,6 % от общих запасов). Забалансовые запасы составляют 12227,9 тыс. т или 59,4 % от общих запасов торфа [3].

Со времени разработок многих болот прошло уже довольно значительное время, основная масса из них использовалась 50–80 лет назад, и в настоящее время болота находятся на различных стадиях восстановления растительности.

Низинные болота являются в Республике Мордовия преобладающими, и, естественно, основные объемы разработок пришлись именно на них. Большая часть из них является черноольховыми, либо березовыми, и находится в притеррасных частях пойм крупных рек (Мокша, Алатырь, Сура и некоторые другие), по долинам небольших рек, в крупных западинах на пониженных частях древнеаллювиальных террас. Все они довольно схожи по последствиям торфоразработок и в настоящее время имеют похожие наборы растительных сообществ.

Поверхность болот представляет, как правило, частое чередование довольно сухих нешироких гряд (3–5 м шириной) и карьеров (разнообразной длины, до нескольких сот метров, шириной 20–50 м, глубиной до 2–3 м). Кроме того, могут встречаться обширные сухие участки с неболотной растительностью и довольно крупные слабо заросшие озера. На грядах и окраинах карьеров обычно произрастают тростник обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), крапива двудомная (*Urtica dioica* L.), осоки (*Carex riparia* L., *C. vesicaria* L., *C. pseudocyperus* L.). По карьерам распространены осоки, ряска (*Lemna minor* L.), многокоренник обыкновенный (*Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid.), роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L.). Края, как правило, осушены, нередко зарастают сорной растительностью: осот полевой (*Sonchus arvensis* L.), чертополох колючий (*Carduus acanthoides* L.), крапива двудомная.

Низинные осоковые болота распространены по поймам крупных и средних рек (Мокша, Сивинь, Исса), долинам мелких рек. Наиболее крупные из них представляют собой чередование узких гряд, поросших осоками, местами ивой, и обширных карьеров разной степени восстановления. Неглубокие (до 1 м) активно зарастают осоками, и уже довольно

слабо идентифицируются. Более крупные карьеры в настоящее время являются озерами с обширной открытой водной гладью, по краям зарастающие осоками, тростником, ряской, реже встречается сабельник (*Comarum palustre* L.). По балкам и долинам небольших рек встречаются частично разработанные болота, которые зачастую разрабатывались ручным способом свыше 50 лет назад. В настоящее время торфяные карьеры практически полностью заросли, на них встречаются ива (*Salix cinerea* L., *S. Caprea* L.), осоки, кипрей волосистый (*Epilobium hirsutum* L.), камыш лесной (*Scirpus sylvaticus* L.), вербейник обыкновенный (*Lysimachia vulgaris* L.), крапива двудомная и др.

Переходные и верховые болота весьма схожи по последствиям и восстанавливаются, как правило, по одной схеме. Подобные болота невелики по площади, до 20 га. Располагаются на участках водно-ледниковых равнин и древнеаллювиальных террас в суффозионных и эоловых западинах. Глубина колеблется от 1,5 до 4 м. После торфоразработок здесь можно было наблюдать неширокие гряды (2–5 м) и карьеры различной длины (до 500 м) и ширины (10–200 м). Карьеры в большинстве случаев заполнены водой. Отмечается тот факт, что карьеры довольно быстро затягиваются сфагновыми и сфагново-осоковыми сплавинами. Так, уже после 50 лет после торфоразработок водная гладь может полностью покрываться сплавинной, выдерживающей вес человека. В крупных водоемах произрастают кубышка чисто-белая (*Nymphaea candida* J. et C. Presl), кубышка желтая (*Nuphar lutea* (L.) Smith), рдесты плавающий (*Potamogeton natans* L.) и Берхтольда (*P. berchtoldii* Fieb.). По мелким водным «окнам» встречаются ежеголовник малый (*Sparganium minimum* Wallr.), пузырчатка малая, обыкновенная и промежуточная (*Utricularia intermedia* Hayne).

Маломощные молодые сплавины чаще всего образованы видами сфагнумов, осоками, пушицей влагалищной (*Eriophorum vaginatum* L.). На них могут произрастать болотный мирт обыкновенный (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench), белокрыльник болотный (*Calla palustris* L.), вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata* L.). Довольно часто на таких сплавинах произрастает росянка круглолистная (*Drosera rotundifolia* L.). В наиболее сырых частях нередко произрастают рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.), белокрыльник болотный, тростник обыкновенный. На мощных сплавинах (полностью заросшие карьеры) происходит увеличение доли пушицы и мирта в растительном покрове, снижается роль сфагнумов. Нередко встречаются клюква болотная (*Oxycoccus palustris* Pers.) и багульник болотный (*Ledum palustre* L.).

Торфяные отвалы и перемычки между карьерами – наиболее сухие части болота. Здесь часто вторично образуется древесная растительность с участием сосны обыкновенной и березы белой. Сохраняются кустарнички – багульник болотный, болотный мирт

обыкновенный, голубика, черника, брусника, изредка вновь поселяется клюква болотная. В травянистом ярусе – сфагнумы, пушица влагалищная, редко – росянка круглолистная.

Заключение. В настоящее время наблюдается перерыв в использовании торфяных ресурсов болот Мордовии. Сейчас это наименее подверженные антропогенному влиянию природные системы. На их примере мы можем наблюдать интенсивность и этапы восстановления нарушенных болотных ландшафтов. По предварительным итогам исследований скорость зарастания большинства болот довольно велика. Так, некоторые переходные и верховые болота за 50 с небольшим лет уже в основном восстановили первичный растительный покров, активно идет заполнение карьеров органической массой. Гораздо медленнее восстанавливаются низинные черноольховые и березовые пойменные болота, зарастание оставшихся карьеров затянется, видимо, на сотни лет.

Список литературы

1. Торфяной фонд Мордовской АССР. – М. 1980. – 282 с.
2. ЦГА РМ. Ф. Р-1048. Оп. 1. Ед. хр. 331.
3. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Республике Мордовия в 2007 году. – Саранск, 2008. – 120 с.

STATUS PEAT REPUBLIC OF MORDOVIA, AND RECOVERY MARSH LANDSCAPE AFTER PEAT

O.G. Grishutkin

The article presents data on the current state of peat Republic of Mordovia, a brief description of the wetlands affected by peat exploitation, describes the changes that have occurred to them.

МАКРОКОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ВОДНОГО СТОКА С ЗАБОЛОЧЕННОГО ВОДОСБОРА (Р. АНДАРМА, СРЕДНЯЯ ОБЬ)

Н.С. Дмитриева, Л.И. Дубровская

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск
E-mail: odri90@mail.ru; dubrli@sibmail.com

Оценены средние многолетние концентрации макроэлементов и ионный сток с репрезентативного заболоченного водосбора с учетом генетической разнородности источников питания рек в разные фазы водного режима. Проведено сравнение полученных данных с оценками по другим методам. Анализируются различия количественных показателей концентраций макрокомпонентов и ионного стока в зависимости от фазы водного режима, в разных по заболоченности речных бассейнах.

Введение. Целый комплекс водно-экологических проблем Томской области связан с сильной заболоченностью ее территории. Огромные запасы воды сосредоточены в болотах, занимающих около одной трети (без учета заболоченных земель) территории области и продолжающих расширяться и в настоящее время. Болота играют исключительно важную роль в питании рек Томской области, оказывая значительное влияние на их водный и геохимический режим, и являются одним из важнейших факторов, обуславливающих низкое качество всех поверхностных вод рассматриваемой территории, так как содержат очень большое количество органических веществ, ионов аммония, железа, марганца, определяющее их непригодность для хозяйственно-питьевого и коммунально-бытового использования [1].

Геохимическое воздействие болот на состав речных и подземных вод исследовано недостаточно, поэтому изучение конкретных водных объектов и характерных для них физических, химических и биологических процессов трансформации вещественных и энергетических потоков на водосборных территориях представляет **актуальную задачу** современной гидрологии. Геохимии болотных и речных вод данной территории посвящены ряд работ, например [2, 3].

Правильное представление о химическом составе речных вод дают, в первую очередь, средние значения минерализации и содержания главных ионов [4]. Поэтому целью данных исследований являлась определение фоновых концентраций макроэлементов с заболоченного водосбора южно-таежной подзоны Западной Сибири, необходимых для оценки достоверных различий природы гидрохимических аномалий – природного или антропогенного генезиса.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования является репрезентативный заболоченный водосбор р. Андарма (левобережье Средней Оби) с площадью 2330 км², истоки которой теряются на олиготрофных болотах юго-восточных

отрогов Большого Васюганского болота (заболоченность водосбора – 35, лесистость – 60, озерность – 1 %).

В работе использовались данные Росгидромета по гидрохимическому составу речных вод с начала наблюдений (1997) по 2009 г. и по водному режиму р. Андарма – с. Панычево.

Характерной чертой имеющихся данных о концентрациях макрокомпонентов, органических и биогенных веществ (50 проб за период 13 лет) в водах р. Андарма – с. Панычево является временная и генетическая пестрота: разное количество проб в году (от 1 в 2004 до 6 в 2006, 2008 и 2009 гг.; а в 2003 г. измерения вообще не проводились), разные интервалы времени между пробами, разная степень освещенности фаз водного режима.

Согласно идеям работы [5] о единстве формирования водного и химического стока рек и связи высокой изменчивости показателей качества вод по сезонам с генетической разнородностью источников питания рек в разные фазы водного режима, определение фоновых концентраций осуществлялось нами по методу взвешенного среднего арифметического. Под фоновой концентрацией в работе понимается среднемноголетнее значение репрезентативного статистического ряда. В качестве весов использовались: при расчете средней концентрации за год – доли объемов водного стока фаз в годовом; при расчете средних многолетних концентраций – доли объемов годового стока в суммарном за многолетний период.

При таком подходе несложно также оценить различия среднемноголетних концентраций, характерных для разных сезонов года. Вынос химических элементов речным стоком с водосборной площади рассчитывался также по формуле среднего взвешенного с учетом водности фаз водного режима. В работе использовались гидролого-географический метод и статистические методы обработки стоковых и гидрохимических рядов наблюдений.

Результаты исследования и их обсуждение. В гидрохимическом отношении речные воды рассматриваемой территории преимущественно пресные с малой (до 200 мг/дм³) и средней (200–500 мг/дм³) величиной минерализации, гидрокарбонатные кальциевые, нейтральные, в летний период слабощелочные. Отличительной их особенностью являются высокие содержания органических веществ, железа, NH_4^+ , NO_2^- , меди, марганца, цинка, обычно значительно превышающие установленные нормативы рыбохозяйственного и хозяйственно-питьевого водопользования [1]. В значительной мере отмеченное неудовлетворительное качество вод объясняется влиянием природных факторов, прежде всего, поступлением органических и биогенных веществ с заболоченных территорий.

Изменения концентраций макроэлементов р. Андарма – с. Панычево происходят в широком интервале значений. Пробы с высокими концентрациями (1–2 пробы в год)

приходятся на маловодные зимние и осенние межени, а минимальные – на период «большой воды» (табл. 1).

Таблица 1

Статистические характеристики концентраций макрокомпонентов в речных водах р. Андарма – с. Панычево по данным наблюдений за период 1997–2009 гг.

Ион	Число набл.	C_{\max} , мг/л	Дата набл. C_{\max}	C_{\min} , мг/л	Дата набл. C_{\min}	$C_{\text{ср}}^1$	$\sigma_{\text{ср}}$	C_v
Mg^{2+}	50	24,4	15.09.2002	0,6	20.05.1998	9,08	10,1	0,71
Ca^{2+}	50	120	25.10.2006	13,1	20.05.1998	50,3	7,71	0,55
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	30	78,2	21.09.2006	0,7	16.05.2009	31,0	14,5	0,79
Cl	50	9,6	26.10.2008	1,1	17.07.2007	4,71	6,10	0,43
SO_4^{2-}	50	159,9	17.07.2007	4,6	16.03.2004	53,5	10,4	0,73
HCO_3^-	50	406,4	21.09.2006	19,8	20.05.1998	194,7	9,29	0,66

Примечания: ¹ $C_{\text{ср}}$ – простое среднее арифметическое значение многолетнего ряда концентраций; $\sigma_{\text{ср}}$ – ошибка расчета среднего значения; C_v – коэффициент вариации ряда концентраций.

Интерес представляют годовые величины концентраций, диапазон и общая тенденция их изменений в последние два десятилетия. Определение среднемноголетних концентраций химических элементов (или фоновых, если ряд наблюдений репрезентативен) представляет объективные трудности, связанные с неравномерностью отбора проб по времени.

Общеизвестно, что простые средние характеристики временных рядов (арифметическое, геометрическое, гармоническое, квадратическое среднее) дают близкие к реальным значения при условии постоянства шага наблюдения и количественно выстраиваются в цепочку:

$$X_{\text{гарм}} < X_{\text{геом}} < X_{\text{арифм}} < X_{\text{квадр}} \quad (1)$$

В имеющихся данных, как правило, на 1–2 пробы с высокой концентрацией (зимняя и осенняя межени) приходится от 3–6 проб с низкими значениями (фаза половодья), поэтому при простом осреднении (арифметическом или геометрическом) среднее годовое или среднее многолетнее значение концентрации будет зависеть от соотношения между количеством проб с низкими и высокими значениями концентраций. При простом осреднении высокие значения равномерно «распределяется» между пробами с низкими концентрациями. Таким образом, например, если увеличить число проб в весеннее время, то среднегодовая концентрация уменьшится. Этот же принцип «работает» и при расчете средней многолетней концентрации, искусственно занижая ее.

Чтобы избежать такой зависимости от неравномерности взятия проб, нами использовался метод взвешенного среднего арифметического, в котором доля вклада той или иной концентрации в рассчитываемые средние годовые или средние многолетние значения

будет пропорциональна объему стока фазы водного режима, в которую она была зафиксирована:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

где C_i – концентрация химического элемента в i -ую фазу водного режима при расчете среднегодовых значений или среднегодовая концентрация i -го года при расчете среднего многолетнего значения,

W_i – объем стока с концентрацией C_i ,

n – количество фаз водного режима при расчете среднегодовых значений или количество лет наблюдений при расчете среднего многолетнего значения.

Сравнение различных методов определения средних многолетних концентраций показало неплохое совпадение для катионов магния и кальция, а также аниона хлора (табл. 2). Однако очень большие расхождения наблюдаются в определении концентраций для остальных макрокомпонентов.

В соответствии с (1) средние многолетние концентрации макроэлементов, рассчитанные в работе [2], в целом **ниже концентраций**, полученных нами методами простого и взвешенного арифметического осреднения (табл. 2).

Таблица 2

**Сравнение средних многолетних концентраций главных ионов
р. Андарма – с. Паньчево, рассчитанных разными методами**

Ионы	Средние многолетние концентрации ¹ , мг/л			ПДК _{рх} , мг/л
	Метод взвешенного среднего арифметического	Метод простого арифметического среднего	Метод простого геометрического среднего [2] ²	
Mg ²⁺	8,26 (50)	9,08 (50)	7,2 (28)	40
Ca ²⁺	41,6 (50)	50,3 (50)	41,3 (28)	180
Na ⁺ +K ⁺	38,7 (30)	31,0 (30)	19,5 (13)	120+50
Cl ⁻	4,11 (50)	4,71 (50)	4,4 (28)	300
SO ₄ ²⁻	54,4 (50)	53,5 (50)	33,8 (28) ³	100
HCO ₃ ⁻	152,5 (50)	194,7 (50)	150,2 (28)	–

Примечание.¹ – в круглых скобках указано количество проб; ² – в [2] концентрации рассчитывались по данным Росгидромета за период 1997–2006 гг.; ³ – приведено исправленное значение допущенной в [2] опечатки.

Примечательно, что достаточно малы расхождения между среднемноголетними концентрациями Mg²⁺ (12,7 %) , Ca²⁺ (0,7 %), Cl⁻ (0,7 %), и HCO₃⁻ (1 %), рассчитанные методами взвешенного арифметического и простого геометрического среднего, что указывает на адекватность теоретического обоснования расчета фоновых значений

концентраций гидрохимических элементов последним из перечисленных методов, проведенного в работе [2].

Как показывает анализ полученных данных воды р. Андарма можно охарактеризовать формулой

$$M_{0,3} \frac{HCO_3 \cdot 72 \left[SO_4 \cdot 26 \cdot Cl \cdot 2 \right]}{Ca \cdot 47 \left[N + K \cdot 44 \cdot Mg \cdot 9 \right]}$$

и следующим порядком расположения главных ионов: $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$ и $Ca^{2+} > Na^+ + K^+ > Mg^{2+}$ (табл. 3). Только для ионов Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^- рассчитанные средние многолетние концентрации можно считать фоновыми в статистическом смысле.

Согласно классификации природных вод по химическому составу О.А. Алекина воды р. Андармы относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, второму типу.

Таблица 3

Средние многолетние концентрации макрокомпонентов и сток главных ионов в речных водах р. Андарма – с. Панычево, рассчитанные методом взвешенного среднего арифметического по данным наблюдений за период 1997–2009 гг.

Макрокомпоненты	Половодье				Зимняя и летне-осенняя межень				Средние многолетние			
	C, мг/л	σ_c , %	C_v	R, кг/км ²	C, мг/л	σ_c , %	C_v	R, кг/км ²	C, мг/л	σ_c , %	C_v	R, кг/км ²
Mg^{2+}	5,79	15,2	0,48	374	12,0	13,9	0,39	787	8,26 ¹	9,01	0,24	1096
Ca^{2+}	24,3	7,61	0,24	1591	63,2	8,18	0,23	4073	41,6	10,5	0,28	5370
$Na^+ + K^+$	27,4	37,1	0,83	2205	46,8	13,8	0,31	3642	38,7	23,7	0,47	6283
Cl^-	3,63	11,3	0,36	234	4,68	12,8	0,36	258	4,11	13,7	0,36	481
SO_4^{2-}	59,7,1 ²	17,7	0,56	11035	16,2 ²	25,3	0,72	308 ²	54,4 ²	17	0,45	11699
HCO_3^-	67,1	13,5	0,43	4386	263,8	7,39	0,21	15952	152,5	10,9	0,29	19338

Примечание. C – средняя многолетняя концентрация, σ_c – относительная средняя квадратическая погрешность расчета среднего, C_v – коэффициент вариации, R – сток главных ионов. ¹ – полужирным шрифтом отмечены концентрации, которые можно считать фоновыми в силу репрезентативности ряда наблюдений. ² – для сульфат-ионов расчеты производились с разделением на тёплый период (половодье и летне-осенняя межень), концентрация и ионный сток которого составили 59,7 мг/л и 11035 кг/км², и холодный период (зимняя межень) – 16,2 мг/л и 308 кг/км².

Так как в бассейне реки преимущественное распространение имеют верховые болота, то некоторая часть гидрокарбонатных ионов поступает с атмосферными осадками, сбрасываемыми с болот в период половодья.

Обращает на себя внимание довольно высокая сульфатность вод (от 7,2 до 159,9, в среднем – 59,7 мг/л или 26 % от суммы главных анионов) и иной характер распределения концентраций этого макрокомпонента в году. Количество сульфатных ионов увеличивается в вегетационный период, образуя сезонный пик в сентябре-октябре или мае-июне, а низкие

значения концентраций наблюдаются в зимнюю межень. Поступление сульфатов в речные воды происходит за счет 3-х источников: атмосферных осадков, в которых они занимают преобладающее положение [4]; поверхностных и грунтовых вод. Рост содержания сульфатных ионов многие авторы связывают с окислительными процессами, связанными с отмиранием организмов, окислением наземных и водных веществ (растительность, неразложившийся торф, лесная подстилка), характерных для вегетационного периода, и выносом продуктов окисления с поверхностными водами. Обнаружена тесная прямая значимая корреляционная связь ($r=0,78$) концентрации сульфат-иона с модулем стока, что свидетельствует о важной роли поверхностного стока в поступлении сульфат-ионов в речные воды.

Сравнение макрокомпонентного состава двух близких по площадям водосборов и объемам годового стока рек, берущих начало с Большого Васюганского болота, показало, что увеличение заболоченности верховыми болотами выражается в закономерном уменьшении содержания макрокомпонентов (за исключением аниона Cl^-), связанное с сокращением доли грунтового питания и увеличения атмосферной составляющей водного и химического балансов (табл. 4).

Таблица 4

Сравнение концентраций главных ионов в водах рек Андарма и Икса за период наблюдений 1997–2009 гг.

Река-пункт	F, км ²	W, км ³	f _{бол} , %	Число проб	Средние многолетние концентрации главных ионов, мг/л					
					Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
р. Андарма – с. Паньчево	2330	0,247	35	50	8,26	41,6	38,7	4,11	54,4	152,5
р. Икса – п. Плотниково	2560	0,279	49	65	7,60	25,8	26,4	5,96	67,8	86,2

Примечание: Обозначения: F – площадь водосбора, W – средний многолетний объем стока, f_{бол} – заболоченность водосбора.

Степень минерализации и состав речных вод меняются в зависимости от сезона. При увеличении поверхностного стока минерализация речной воды падает, а при его уменьшении и увеличении грунтового питания она возрастает. Таким образом, во время половодья минерализация оказывается минимальной и изменяется в пределах 88,8–291,3 мг/л; а в зимнюю и летнюю межень достигает наибольших значений с диапазоном изменения 328,5–613,8 мг/л. Фоновая величина минерализации составляет 322 мг/л.

В некоторых случаях прослеживается зависимость концентраций главных ионов от минерализации. Так, например, значимые связи с минерализацией имеются только у аниона HCO_3^- и катионов Ca^{2+} и $\text{Na}^+\text{+K}^+$. В среднем HCO_3^- составляет 51 % от общей минерализации, Ca^{2+} – 14 %, $\text{Na}^+\text{+K}^+$ – 10 %, остальное приходится на другие ионы. В целом, по

содержанию макрокомпонентов воды р. Андарма удовлетворяют нормативам рыбохозяйственного назначения.

Выводы. Получение фоновых оценок концентраций и минерализации с учетом объемов стока в разные фазы водного режима трудоемко, однако позволяет получать более надежные, генетически обоснованные результаты. Для макрокомпонентов Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl , и HCO_3^- эти оценки хорошо согласуются с полученными менее затратным методом – простым геометрическим средним.

Имеется прямая значимая связь концентраций сульфат-ионов с поверхностным стоком.

Увеличение заболоченности водосбора верховыми болотами приводит к уменьшению концентраций макрокомпонентов в речных водах.

Список литературы

1. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2000 г. // Информационный бюллетень. Вып. 3. – Томск: ГУП ТЦ Томскгеомониторинг, 2001.
2. Савичев О.Г. Фоновые концентрации веществ в речных водах таежной зоны Западной Сибири // Вестник Томского гос. ун-та. – 2010. – №334. – С. 169–175.
3. Инишева Л.И. Условия формирования и геохимия болотных вод // Болота и биосфера: матер. 2-ой Научной Школы (8–12 сент. 2002 г., Томск). – Томск: Изд-во ТГПУ, 2002. – С. 38–49.
4. Посохов Е.В. Ионный состав природных вод. Генезис и эволюция. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 255 с.
5. Zemtsov V. Ecoregions and the problem of surface water quality objectives indication in the Ob river basin (Siberia, Russia) // Hydrology: Science & Practice for the 21st Century. Vol. II. – London, 2004. – 226–231 pp.

COMPOSITION OF MAJOR ELEMENTS OF WATER RUNOFF WITH WETLAND BASIN (ANDARMA RIVER, MIDDLE OB)

N.S. Dmitreva, L.I. Dubrovskaya

Evaluated long-term average concentration of macro-ion and runoff from representative wetland catchment in the light of genetic heterogeneity power sources of the rivers in different phases of water regime. The data are compared with estimates by other methods. Analyze differences of quantitative indicators and concentrations of macro-ion flow in the different phases of water regime, in different river basins of wetland coefficient.

СРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ТОРФЯНОЙ И МИНЕРАЛЬНОЙ ПОЧВЫ

Е.А. Дюкарев

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
г. Томск, Россия, e-mail: egor@imces.ru

В работе приводятся результаты мониторинга температуры торфяной почвы болота, расположенного в зоне южной тайги Западной Сибири. Проведено сравнение температурных режимов торфяной почвы и минеральной почвы на суходоле и показано их отличие. Торфяная почва имеет сглаженную динамику температуры, по сравнению с минеральной. По среднемесячным данным в теплое время года верхние 80 см торфяной почвы холоднее минеральной на 5–7 °С, а в холодное время – теплее на 0.3–1.0 °С.

Введение. Исследованию изменений температуры верхних и глубинных слоев почвы в период современного потепления климата посвящено большое число работ, в которых в качестве исходных данных для анализа используются наблюдения метеорологических станций [1], геокриологических стационаров [2] и архивы реанализов – динамически согласованных глобальных полей, характеризующих состояние атмосферы [3]. Реакция температуры грунтов на потепление климата в значительной мере зависит от ландшафтных условий территории наблюдаемых объектов [1]. Исследование многолетних изменений температуры криолитозоны севера Западной Сибири [2] показало, что темпы повышения среднегодовой температуры многолетнемерзлых пород в болотных ландшафтах минимальны. Почвенные температуры на болоте медленнее реагируют на увеличение температуры воздуха вследствие особых теплофизических свойств торфа.

В настоящей работе описаны особенности температурного режима торфяного болота, расположенного в зоне южной тайги Западной Сибири по данным автоматических измерений, что дает возможность исследовать динамику температуры с высоким временным разрешением за длительный срок в натуральных условиях. Сравнение температурных режимов торфяной и минеральной почв выполнено с привлечением данных режимных наблюдений на близлежащей метеорологической станции (Бакчар).

Объект исследования и измерительная аппаратура. Исследование температурного режима торфяных почв проводилось на олиготрофном сосново-кустарничково-сфагновом болоте (ряме), на территории стационара «Васюганье» (ИМКЭС СО РАН) в пределах Бакчарского района Томской области [4]. Измерения температуры почвы выполнялись автономным измерителем температуры, разработанным в ИГМ СО РАН [5, 6]. Датчики температуры находились на глубинах 2, 5, 10, 15, 25, 40, 60 и 80 см. Измерения температуры проводились в течение 1898 дней (или 62 месяцев) с 28 июня 2005 г. по 6 сентября 2010 года с временным шагом 1 час. Данные по температуре воздуха, сумме суточных атмосферных осадков и высоте снежного покрова получены из архива Global Surface Summary of Day Data

(ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/gsod/), за период с 1999 по 2011 г. на метеостанции Бакчар. Температура почвы на метеостанции получена из массива суточных данных о температуре почвы (<http://www.meteo.ru/climate/descrip8.htm>).

Результаты и обсуждение. По данным метеостанции Бакчар среднегодовая температура воздуха за период 2005–2010 гг. составляет $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$, амплитуда годового хода – $42.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Самым холодным месяцем был январь 2006 г., когда среднемесячная температура составила $-31.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, абсолютный минимум достигал $-48.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Самым теплым месяцем за наблюдаемый период был июль 2007 г. (со средней температурой воздуха $+19.8\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Средняя за 2005–2010 гг. сумма годовых осадков равна 505 мм. Наибольшее количество месячных осадков было зарегистрировано в июне 2007 г. (162 мм). Сумма осадков за период с мая по август достигала 397 (2007 г.) и 523 (2009 г.) мм, что вызвало значительное поднятие болотных вод до уровня 5–10 см от поверхности (рис.1). Летний период 2006 г. был засушливым. Сумма осадков за май-август 2006 г. составила всего 178 мм, что на 115 мм ниже среднего показателя (293 мм) за период 2005–2010 гг. В результате этого уровни болотных вод опускались до глубины 25 см.

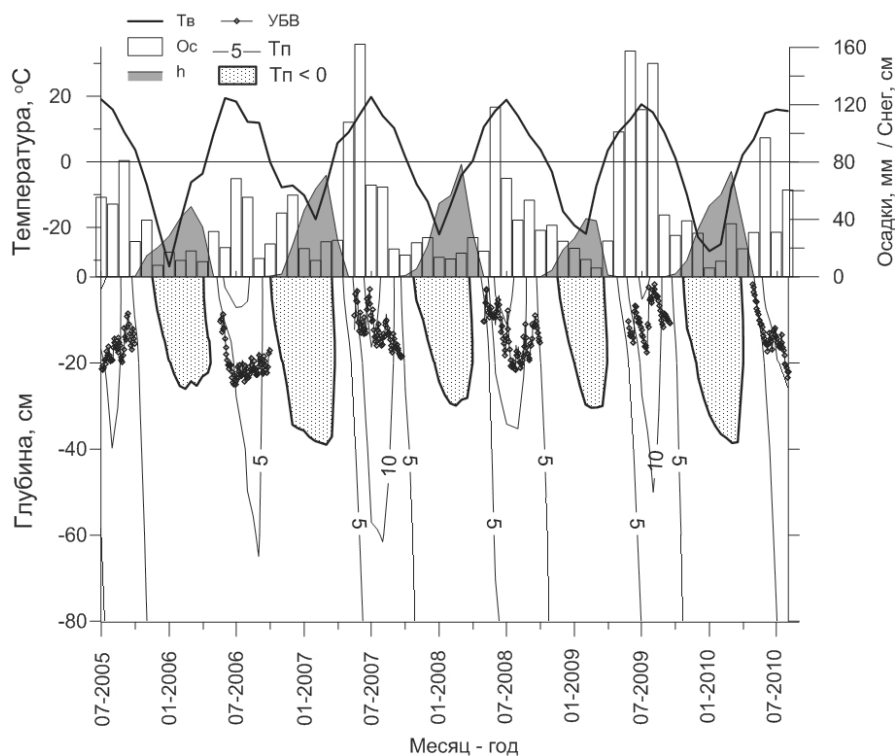


Рисунок 1. Среднемесячные значения температуры воздуха (T_v), сумм атмосферных осадков (O_c), высоты снежного покрова (h), уровня болотных вод (УБВ) и изотермы температуры почвы (T_p) за 2005–2010 гг.

Устойчивый снежный покров начинает образовываться в октябре-ноябре. Его высота увеличивается в течение зимы, достигая максимальных значений (48–80 см) в марте. Полное

разрушение снежного покрова происходит в конце апреля. После снеготаяния талые воды быстро сходят с болота по еще мерзлому слою торфа. Уровень болотных вод снижается и к середине лета достигает 15–20 см. На дальнейшие колебания уровня влияет количество и периодичность выпадения осадков.

Средняя месячная температура торфяной залежи. Результаты наблюдений за температурой почвы на болоте отражают общие закономерности прихода и расхода солнечной радиации, поступающей на деятельную поверхность. Максимальная среднемесячная температура воздуха приходится на июль месяц и варьирует от 16.0 °С (2010) до 19.8 °С (2007). Для самого теплого года наблюдений (2007 г.) температуры июля составили 16.6, 15.3 и 13.1 °С для глубин 10, 15 и 25 см соответственно. Наибольшая температура на глубинах 40, 60 и 80 см составила 11.6 (август 2007), 10.1 (сентябрь 2007 г.) и 9.1 °С (сентябрь 2007 г.).

На формирование минимальных температур почвы в годовом цикле кроме температуры подстилающей поверхности влияют: фазовые переходы при замерзании влаги в торфе, высота снежного покрова и величина тепла аккумуляированного торфяной залежью в течение теплого периода. Минимальные в годовом ходе среднемесячные температуры на глубинах 2, 5, 10 и 15 см наблюдаются в январе-феврале. Они изменяются по глубине в следующих диапазонах: от –4.0 °С до –2.4 °С на глубине 2 см; от –3.4 °С до –1.7 °С на глубине 5 см; от –2.3 °С до –0.8 °С на глубине 10 см; от –1.6 °С до –0.4 °С на глубине 15 см.

Отрицательные температуры наблюдаются в верхнем (25 см) слое почвы с декабря по март. Верхняя часть торфяной залежи быстро промерзает с ноября по январь. Замерзание насыщенных водой слоев идет медленно, и мерзлый слой охватывает только несколько сантиметров ниже уровня болотных вод. Максимальная глубина промерзания приходится на март и составляет 26 (2006 г.), 39 (2007 г.), 30 (2008 и 2009 гг.) и 38 (2010 г.) см.

Начиная с января-февраля, происходит постепенное повышение температуры в верхних замерзших слоях торфа. В марте-апреле начинается медленное протаивание нижней границы мерзлого слоя вследствие притока тепла из глубины. В конце апреля, после разрушения снежного покрова и установления положительных среднесуточных температур воздуха, начинается активное таяние верхней части мерзлого слоя за счет поступления тепла от поверхности торфяной залежи. Полное исчезновение мерзлого слоя происходит в мае-июне. Число дней с отрицательными температурами на глубине 2 см составляет в среднем за зиму 151 ± 20 дней, а на глубине 25 см – 108 ± 27 дней.

Сравнение температурного режима торфяной и минеральной почвы. Для выявления особенностей температурного режима торфяной почвы был проведен сравнительный анализ данных, полученных нами для торфяной почвы, и данных

наблюдений метеостанции Бакчар для минеральной почвы. Метеостанция расположена на террасе р. Бакчар. На метеостанции температура почвы измерялась раз в сутки в 13:00 местного времени с помощью вытяжных почвенно-глубинных термометров на глубинах 20, 40, 80, 160 и 320 см по стандартным методикам. Для обеспечения сопоставимости рядов данных из массива наших наблюдений были отобраны измерения в аналогичные сроки на глубинах 40 и 80 см. Сравнительный анализ температуры почвы проводился за 2007 год.

Средние месячные характеристики температуры почвы в двух пунктах наблюдения приведены в таблице 1. Минимальные среднемесячные температуры почвы наблюдались синхронно на болоте и суходоле – в феврале, марте и апреле на глубинах 20, 40 и 80 см, соответственно. Величина минимальных месячных температур в минеральной почве ниже, чем в торфяной на 0.3–1.0 °С. Максимальные месячные температуры на глубинах 20 и 40 см приходятся на июль. На глубине 80 см годовой максимум температуры в минеральной почве наблюдается в июле, а на болоте – смещается на август. Максимальные месячные температуры торфяной почвы ниже на 5–7 °С, чем температуры минеральной.

Таблица 1

Годовой ход температуры почвы на разных глубинах по данным измерений на болоте и метеостанции (м.с.) Бакчар в 2007 году

Период	Температура почвы, °С					
	Болото			м.с. Бакчар		
	Глубина, см			Глубина, см		
	20	40	80	20	40	80
Январь	-0.7	0.2	1.0	-1.3	-0.6	0.3
Февраль	-1.0*	0.1	0.8	-1.4	-0.7	0.2
Март	-0.7	0.0	0.6	-1.3	-0.9	-0.2
Апрель	0.3	0.0	0.5	1.1	0.4	0.0
Май	3.8	2.4	1.3	8.4	7.5	4.7
Июнь	8.6	6.8	4.0	13.4	12.5	9.4
Июль	13.9	11.5	8.0	19.6	18.5	15.0
Август	11.9	10.9	9.1	15.3	15.3	14.2
Сентябрь	9.5	9.4	8.7	11.6	12.2	12.1
Октябрь	4.6	6.0	6.8	4.3	5.7	7.4
Ноябрь	1.9	3.3	4.7	0.0	1.3	3.5
Декабрь	0.4	1.3	2.9	-1.1	-0.3	1.3
Среднее за год	4.4	4.3	4.0	5.7	5.9	5.7
Амплитуда (макс-мин)	14.9	11.5	8.6	20.9	19.4	15.2

Примечание. * – жирным шрифтом выделены максимальные и минимальные значения в годовом ходе температуры.

В среднем за год торфяная почва холоднее на 1.4–1.6 °С. С мая по сентябрь температура на болоте ниже, чем на суходоле по всему профилю. С ноября по март наблюдается противоположная ситуация – торфяная почва теплее минеральной. Наибольшая разница (+ 2 °С) в холодный период года зафиксирована в ноябре на глубинах 20 и 40 см.

В целом, торфяная почва имеет сглаженную динамику температуры по сравнению с минеральной. Годовая амплитуда температуры почвы на болоте, рассчитанная по среднемесячным значениям, меньше на 6–8 °С, чем на суходольном участке (табл. 1).

Из-за близкого к поверхности расположения уровня болотных вод, насыщенности почвы влагой и высокого содержания органического вещества торфяная почва характеризуется значениями объемной теплоемкости в 1.5–2 раза выше, чем минеральные почвы. Повышенная тепловая инерция торфяной почвы препятствует как нагреву почвы, так и охлаждению. Минеральная почва прогревается до 10 °С на глубину 227 см, а торфяная – всего на 61 см.

Режимы промерзания исследуемых почв также существенно различаются. Глубина проникновения нулевой изотермы в минеральной почве достигает 96 см, а в торфяной – 35 см. Минимальная температура почвы на глубине 20 см составляет –5.1 °С в минеральной и –2.7 °С в торфяной почве. Скорость распространения границы мерзлого слоя и глубина его проникновения в торфяной почве значительно ниже, чем в минеральной почве. Для детального анализа режимов промерзания и оттаивания необходимо привлекать срочные данные о температуре почвы.

Закключение. Анализ временного хода температур торфяной почвы на разных глубинах показал, что годовой ход температуры почвы в верхних слоях повторяет годовой ход температуры воздуха. Тепловой режим торфяных почв существенно отличается от минеральных почв. В целом, торфяная почва имеет сглаженную динамику температуры, по сравнению с минеральной. В теплое время года торфяная почва холоднее минеральной на 5–7 °С, а в холодное время – почва на болоте теплее на 0.3–1.0 °С. Рыхлые верхние слои мохового очеса из-за своей высокой теплоизолирующей способности существенно снижают амплитуду колебаний температуры в нижележащих слоях торфяной залежи. Кроме того, на глубине 10–20 см располагаются болотные воды, и температура в нижележащих насыщенных водой слоях меняется медленнее. При проникновении тепловой волны вглубь почвы происходит уменьшение амплитуды и фазовый сдвиг волны годового хода температуры. Повышенная тепловая инерция торфяной залежи препятствует как ее нагреву, так и охлаждению. Глубина промерзания на болоте почти в три раза меньше, чем на суходоле.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 11-05-00227-а) и Интеграционного проекта СО РАН №69.

Список литературы

1. Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны. – Новосибирск: Изд-во «Гео», 2008. – 229 с.
2. Васильев А. А., Дроздов Д. С., Москаленко Н. Г. Динамика температуры многолетнемерзлых пород Западной Сибири в связи с изменениями климата // Криосфера Земли. – 2008. – Т. XII. – № 2. – С. 10–18.
3. Золотов С.Ю., Ипполитов И.И., Логинов С.В., Лучицкая И.О., Белая Н.И. Сравнение данных реанализа NCEP/NCAR профилей температуры почвы с данными измерениями сети станций на территории Западной Сибири // Криосфера Земли. – 2011. – Т. XV. – №2. – С.14–20.
4. Головацкая Е.А., Порохина Е.В. Ботаника с основами фитоценологии: Биологическая продуктивность болотных биогеоценозов: Учебно-методическое пособие / Под ред. В.А. Дырина. – Томск: Изд-во Томского гос. педагог. ун-та, 2005. – 64 с.
5. Казанцев С.А., Дучков А.Д. Автономная аппаратура для режимных измерений температуры // Геотермия сейсмичных и асейсмичных зон. – Новосибирск: Наука, 1992. – С. 365–373.
6. Дюкарев Е.А., Головацкая Е.А., Дучков А.Д., Казанцев С.А. Экспериментальное исследование температурного режима торфяной залежи Бакчарского болота (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. – 2009. – Т.50. – № 6. – С. 745–754.

**PECULIARITIES OF THE THERMAL REGIME OF PEAT DEPOSIT AT
OLIGOTROPHIC BOG IN THE SOUTH TAIGA OF WEST SIBERIA**

E.A. Dyukarev

Results of monitoring of soil temperature at peatland located in the South Taiga zone of West Siberia are given. Comparison of thermal regimes of peat and mineral soils was conducted and difference in regimes was revealed. The peat soil has smoothed dynamics of temperature in comparison with mineral soil. The top 80 cm of peat soil is colder by 5–7 °C than mineral soil in summer, and warmer by 0.3–1.0 °C in winter according to monthly data.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА БОЛОТ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М. А. Дучко*, Е. В. Гулая**, О. В. Серебренникова**

* Томский государственный университет, г. Томск, e-mail: maria.duchko@gmail.com

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук (ИХН СО РАН), Томск, gulaya@ipc.tsc.ru

В статье представлены результаты исследования состава органического вещества верховых и низинных торфов юга Западной Сибири методом хромато-масс-спектрометрии. Проанализированы состав и содержание алканов, алкилбензолов, нафталинов, фенантронов, тетра-, пента- и гексациклических ароматических углеводородов (УВ), а также УВ ряда гопана, олеанана, абиетана и их производных. Выявлены направления изменения органических компонентов торфа в процессе его трансформации в различных условиях водно-минерального режима питания болот южной тайги Западной Сибири.

Введение. Суммарный объем запасов торфа в мире оценивается специалистами в 500 млрд. тонн, до 40 % которых сосредоточены в России. Торф относится к возобновляемым ресурсам. Ежегодно в мире образуется почти 3,0 млрд. м³ торфа, что примерно в 120 раз больше, чем используется. В компонентном составе органической массы содержание битумов (бензольных) составляет 1,2–17 % (максимум зафиксирован у верхового торфа высокой степени разложения). Поэтому торф может рассматриваться, наряду с решением проблем местной энергетики, повышения плодородия почв и экологических задач, в качестве альтернативного источника нефтяных углеводородов.

Органическое вещество торфа состоит из растительных остатков, претерпевших различную степень разложения. По условиям образования и свойствам торф подразделяют на верховой, переходный и низинный. Состав и свойства торфов – сложной полидисперсной многокомпонентной системы – зависят, наряду с особенностями химического состава растений-торфообразователей, от условий их накопления [1].

Объекты и методы. Исследованные торфа были отобраны в трех точках болота «Темное» (84°39' в.д. 56°56' с.ш.), расположенного на II-ой надпойменной террасе р. Томь, частично на I-ой и пойме. Первая точка отбора торфа представляет собой согру – низину, заболоченную за счет подъема богатых минеральными веществами грунтовых вод. Вторая точка является облесенным моховым верховым болотом – рямом, а третья – находится на берегу озера Мурашка и образована олиготрофной шейхцериево-осоково-сфагновой сплавиной озера.

Торф предварительно обезвоживали до воздушно-сухого состояния и измельчали.

Битумоиды были сконцентрированы путем экстракции 7 %-ным раствором метанола в хлороформе с последующим хроматографическим разделением на колонке с оксидом

алюминия IV степени активности, в качестве элюента использовали гексан. Анализ состава насыщенных и ароматических углеводородов осуществляли с использованием квадрупольного хромато-масс-спектрометра R-10-10С фирмы «NERMAG» и хромато-масс-спектрометра высокого разрешения «ThermoScientific DFS».

Результаты исследования и обсуждение. Целью работы было определение направленности изменения органических компонентов торфа в процессе его трансформации в различных условиях водно-минерального режима питания болот южной тайги Западной Сибири.

Углеводороды в битумоидах торфов представлены преимущественно алканами нормального строения (нА), содержание которых в среднем в 12 раз превышает содержание разветвленных изоалканов, в 20 раз – пентациклических терпеноидов (ПЦТ) и более чем в 200 раз – ароматических углеводородов (АУ). Содержание ароматических УВ в торфе в пределах каждого участка растет с увеличением глубины его захоронения. Исключением является торф сплавины с глубины 200 см, содержащий малое количество аренов на фоне общего низкого содержания УВ (таблица).

Таблица

Содержание отдельных групп УВ в торфах

Индекс образца	Глубина отбора, см	Вид торфа*	Содержание в сухом торфе, мкг/г			
			Сумма УВ	нА	ПЦТ	АУВ
1–50	50	древесно-травяной низинный	125	120.3	1.5	0.9
1–200	200	травяной низинный	211	182.8	23.3	2.5
2–50	50	фускум верховой	353	334.1	19.0	0.4
2–200	200	фускум верховой	252	224.8	24.6	2.8
3–50	50	фускум верховой	232	211.3	19.4	1.2
3–200	200	фускум верховой	45	36.7	8.3	0.6
3–400	400	шейхцериево-сфагновый переходный	427	229.0	187.8	1.6
3–600	600	рогозово-сфагновый сапрпель	112	101.3	9.2	1.8

Примечание. * – Ботанический состав торфа определен Ю.И. Прейс

Сравнительный анализ состава УВ в торфах, сформированных в различных обстановках, показывает определенные черты, присущие только отдельным типам торфов и отражающие их происхождение. Низинные торфа согры отличаются от остальных наличием в составе УВ перилена, повышенной концентрации ретена и промежуточных продуктов трансформации абиетиновой кислоты – насыщенных и моноароматических трициклических терпеноидов, отсутствием производных олеанана, а в верхней части разреза – присутствием

безперилена и очень высокой концентрацией пирена, вероятно имеющих пирогенный генезис [2].

Вниз по разрезу залежи согры при переходе от древесно-травяного вида торфа к травяному увеличивается содержание битуминозных компонентов и всех групп УВ, кроме тетрациклических аренов, содержание которых резко падает. В смеси УВ снижается относительное содержание *n*-алканов, в составе которых возрастает доля гомологов C₁₅, C₁₇, C₂₁ и C₂₅, что свидетельствует о снижении вклада в формирование торфа мезогидрофильных древесных растений и увеличении гидрофильных травянистых растений и фитопланктона. Более чем в 20 раз возрастает величина отношения концентраций пентациклических терпеноидов, представленных характерными для бактерий производными гопана, к трициклическим (основной источник – голосеменные растения), это можно объяснить повышенным вкладом биомассы бактерий в состав органического вещества торфа нижней части разреза.

В составе пентациклических терпеноидов возрастает доля ненасыщенных структур, в частности, диплоптена, который присутствует в живых организмах. Его преобладание среди гопаноидов свидетельствует о низкой диагенетической преобразованности органического вещества торфа и согласуется с меньшей степенью его разложения по сравнению с вышележащим торфом. Среди ароматических УВ исчезает бензперилен, снижается содержание пирена и значительно увеличивается концентрация перилена. Резко увеличивается содержание ретена и кадалена, указывая на повышенный вклад хвойных растений при формировании торфа в этот период времени. В то же время в торфе отсутствуют древесные остатки. Это противоречие может быть объяснено лишь более активным привнесом продуктов распада торфа соседних облесенных повышений в условиях более влажного климата [3].

Верховые фускум торфа ряма характеризуются повышенным содержанием битуминозных компонентов и УВ по сравнению с торфами согры. В верхней части разреза основными среди *n*-алканов являются гомологи C₂₉ и C₃₁, в смеси ПЦТ преобладают ненасыщенные производные гопана и олеанана, доминирует диплоптен, что указывает на низкую диагенетическую преобразованность органического вещества. В то же время в торфе присутствует наряду с гомогопаном C₃₁ (R) изомер C₃₁ (S), образующийся при термическом воздействии на органическое вещество, и отсутствует 17β(H),21β(H)-гомогопан, переходящий при таком воздействии в более термодинамически устойчивую 17α(H),21β(H)-форму. Вниз по разрезу содержание УВ снижается за счет существенного уменьшения концентрации *n*-алканов, несколько возрастает содержание пентациклических терпеноидов, увеличивается концентрация всех групп ароматических УВ. В составе *n*-алканов возрастает

доля гомологов C_{16} и C_{17} ; это свидетельствует о повышенном вкладе в органическое вещество биомассы бактерий. Среди ПЦТ возрастает содержание производных олеанана, характерных для цветковых растений. Резко снижается содержание диплоптена, что согласуется с более высокой степенью разложения торфа с глубины 200 см по сравнению с вышележащим [4].

Возрастает содержание кадалена и ретена, отражающее вклад хвойных растений. Все эти особенности – результат значительного обсыхания поверхности в период отложения торфа, обусловившего его достаточно высокую диагенетическую преобразованность [2]. Следует отметить, что при этом наблюдается резкое увеличение содержания хризена, достигающего аномально высокого значения.

Заключение. Залежь сплавины сложена торфами, значительно различающимися по содержанию битуминозных компонентов и отдельных групп УВ. Отличительными признаками торфов этого участка являются аномально высокое содержание пентациклических терпеноидов (ПЦТ) в переходном переотложенном торфе и преобладание среди них по всему разрезу $17\alpha(H), 21\beta(H)$ -гомогопана (22R), содержание которого составляет от 24 % (сапрпель и переотложенный торф) до 38–48 % (фускум торфа) от общей суммы ПЦТ. Последнее может быть следствием вклада в формирование залежи сплавины перенесенных ветром продуктов горения торфов ряма, либо специфического набора терпеноидов в растениях-торфообразователях и условий их захоронения. Ненасыщенные, присутствующие в живых организмах производные гопапа и олеанана, доминирующие в торфах ряма, присутствуют в торфах сплавины в подчиненном количестве. Возможно, это связано с быстрым переходом биомассы в анаэробные условия из-за высокого уровня болотных вод на этом участке и гидрирования двойных связей биомолекул. Для торфов сплавины характерно также минимальное по сравнению с остальными содержание кадалена и преобладание среди аренов сапрпели нафталиновых структур.

Состав n -алканов в фускуме торфах верхней части разреза сплавины и переотложенном торфе свидетельствует о преимущественном вкладе в органическое вещество болотных растений с незначительным количеством биомассы бактерий, а в сапрпеле – о существенной микробиальной переработке органического вещества. Низкая концентрация кадалена указывает на малый вклад в органическое вещество этих торфов хвойных растений, а низкое содержание среди ПЦТ производных олеанана – на невысокую долю цветковых.

Полученные результаты свидетельствуют о существенной степени трансформации органического вещества торфов формировавшихся в различных условиях водно-минерального режима питания болот Западной Сибири.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 11-05-93112 и №12-05-00870-а.

Список литературы

1. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. – Минск.: Наука и техника, 1975. – 320 с.
2. Ficken K.J., LiB., Swain D.L., Eglinton. G. // Organic Geochem. – 2000. – V. 1. – P.745
3. Eganhouse, R.P., Blumfield D.L., Kaplan I.R // Environ. Sci.Technol. – 1983. – N^o 17. – P. 523.
4. Ellis L., Langworthy T.A., Winans R. // Organic Geochem. – 1996. – V. 24. – P. 57.

ORGANIC MATTER COMPOSITION AND TRANSFORMATIONS RESEARCH OF BOGS IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

M. A. Duchko, E. V. Gulaya, O. V. Serebrennikova

The article presents investigation results of upland and lowland peats organic matter composition in the south of West Siberia by gas chromatography-mass spectrometry. Analyses of the composition and content of alkanes, alkylbenzenes, naphthalene, phenanthrene, tetra-, penta- and heksacyclic aromatic hydrocarbons (HC) and HC of gopal, oleanan, abietan series and their derivatives is provided. Changes in the peat organic components in the process of their transformation under various conditions of swamps water-mineral nutrition in the southern taiga of Western Siberia were discovere.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СФАГНОВЫХ МХОВ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Д. В. Зацаринная *, А. В. Гудкова **, Е. М. Волкова**

*Объединение "ТОИАЛМ", г. Тула, dvisloguzova@gmail.com

** Тульский государственный педагогический университет, г. Тула, convallaria@mail.ru

Статья посвящена изучению экологических особенностей некоторых видов сфагновых мхов, произрастающих на болотах Тульской области. Показано, что условия, в которых произрастают сфагновые мхи, различаются по диапазону уровня болотных вод, pH и минерализации болотных вод.

Введение. Тульская область располагается на границе лесной и лесостепной растительных зон в северо-восточной части Среднерусской возвышенности. Географическое положение региона и комплекс природных факторов обуславливают низкую заболоченность территории. Как следствие, многие виды сфагновых мхов становятся редкими и подлежат охране [3]. По результатам современных исследований на болотах Тульской области произрастает 18 видов сфагновых мхов [2], из них 11 видов находятся под охраной [3]. Несмотря на данные по распространению и фитоценотической принадлежности, отсутствуют сведения об экологии как типичных, так и редких видов сфагнов, что определяет актуальность проводимых исследований.

Объекты и методы. Для выявления экологических особенностей произрастания сфагновых мхов были организованы наблюдения за динамикой уровня (УБВ), pH и общей минерализацией болотных вод на модельных комплексах карстово-суффозионных болот (рис. 1): 1) – у пос. Озерный (Ленинский район); 2) – между дд. Кочаки – Ясная Поляна (Щекинский район). Наблюдения за указанными характеристиками проводились с мая по октябрь для первого комплекса с 2006 по 2008 гг., а для комплекса 2 – с 2009 по 2011 гг. включительно. Измерения УБВ проводились не реже 1 раза в неделю по обычной методике с использованием труб PVC диаметром 5 см и длиной 60 см, перфорированные по всей длине. Анализ воды из корнеобитаемого горизонта производился при помощи pH-метр-кондуктометра Combo “Нанна” с частотой не реже двух раз в месяц [1].

Объектами исследования являлись евтрофные (*Sphagnum squarrosum*, *S. riparium*, *S. centrale*; *S. wulfianum* – охраняемый вид Тульской области) и мезо-олиготрофные (*S. angustifolium*; *S. magellanicum* – охраняемый вид Тульской области) виды [3].

Результаты исследования и обсуждение. *Sphagnum squarrosum* характерен для березово-травяно-сфагновых сообществ с *Calla palustris*, *Calamagrostis canescens*, *Menyanthes trifoliata*, *Thelypteris palustris* и др. Данный вид встречается на карстовых болотах с торфяной залежью как сплавинного, так и сплошного типа, занимая обводненные окраинные части и межкочечные понижения [2]. В соответствии с местообитаниями, исследования экологии

вида проводились на сплавинном болоте (№ 5, комплекс 1) и на сплошной торфяной залежи (№5, комплекс 2).

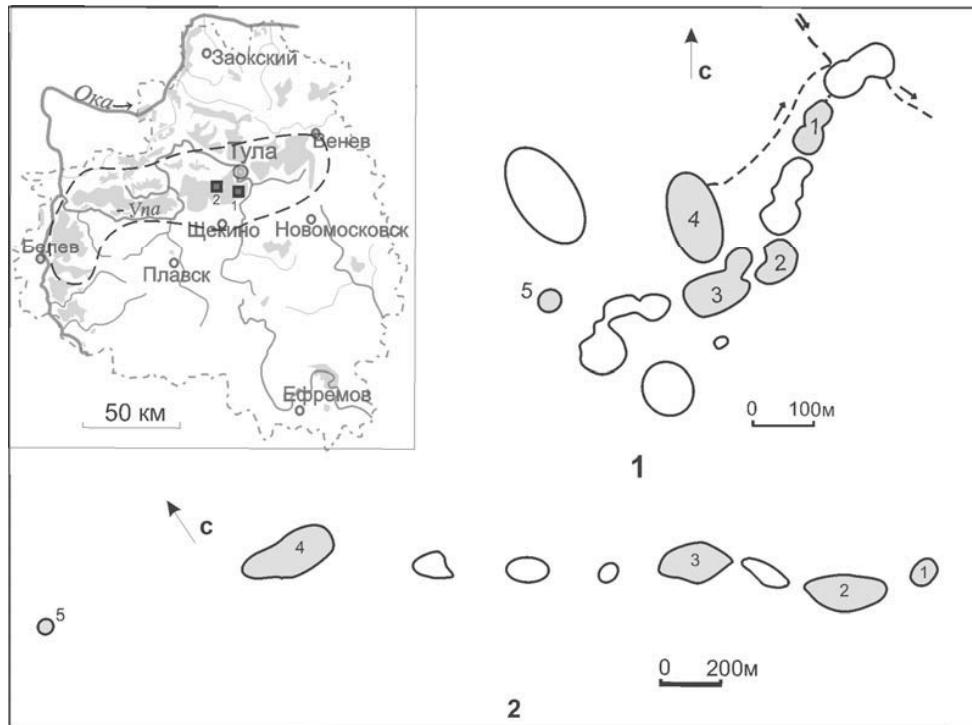


Рисунок 1. Расположение модельных болот: 1 – комплекс болот у пос. Озерный; 2 – комплекс болот Кочаки – Ясная Поляна

Результаты исследований показали, что на сплаvine толщиной около 1 м, условия обводнения остаются стабильными в течение вегетационного сезона, поскольку УБВ варьирует от $-2,3$ до $-4,9$ см, тогда как на болоте со сплошной торфяной залежью значения УБВ изменяются от -4 до $-34,5$ см в результате пересыхания в засушливое лето. Кроме того, выявлены отличия и в гидрохимических показателях: рН воды на сплавинном болоте составляло $4,6-5,2$, а на болоте со сплошной торфяной залежью было несколько выше ($4,9-5,5$). Значения общей минерализации болотных вод практически одинаковы: $45,5-86$ мг/л на сплаvine и $43-82$ мг/л на болоте с целостной торфяной залежью. Как видно, *S. squarrosus* произрастает в достаточно трофных условиях, характеризующихся значительным обводнением, однако может выдерживать и засушливые периоды.

Sphagnum riparium встречается в березово-вахтово-сфагновых сообществах, отличающихся высоким постоянством *Thelypteris palustris*, *Calla palustris*, *Comarum palustre*. Вид приурочен к окрайкам карстовых болот, на границе с минеральным берегом и (реже) к центральным частям молодых сплавин [2]. Наблюдения за динамикой УБВ проводились в окраинной части (№ 4, комплекс 1) и в центральной части сплавины (болото 1, комплекс 1). Средние значения УБВ на сплошной залежи составляют $-6,1$ см, при этом мхи могут выдерживать как засушливые периоды, когда уровень падает до $-22,5$ см, так и подтопление

в весенний период (УБВ=+7 см). Средние значения УБВ на сплаvine –9,8 см, а сезонный ход более стабильный. Гидрохимические характеристики были изучены только на сплаvine: рН варьирует от 4,8 до 5,3, а общая минерализация – от 27,5 до 99,5 мг/л.

Таким образом, *S. squarrosum* и *S. riparium* произрастают в достаточно обводненных условиях, характеризующихся значительной трофностью (средняя минерализация – 65 мг/л.), рН – 5.

Sphagnum centrale произрастает на евтрофных, реже – мезотрофных карстовых болотах, в березово-травяно-сфагновых сообществах, на кочках березы (№ 2, комплекс 1) [2]. Такие местообитания обеспечивают более низкое положение болотных вод (УБВ_{ср} = –14, 6 см), а также значительное иссушение в летний период, когда УБВ может опускаться до –22 см. Гидрохимические показатели болотных вод, в целом, сходны с таковыми для мхов, описанных выше. Однако, вследствие длительного иссушения в течение вегетационного сезона, когда УБВ падает ниже –15 см, питание *S. centrale*, вероятно, осуществляется за счет более бедных атмосферных осадков, которые проходя через хорошо развитый древесный ярус (высота 18–20 м, сомкнутость крон 0,5–0,6), обогащаются минеральными веществами, что повышает минерализацию стекающих атмосферных вод и улучшает питание мхов.

Sphagnum wulfianum является редким и охраняемым видом в Тульской области [3]. Вид приурочен к березовым кочкам евтрофных карстовых болот со сплошной торфяной залежью (№ 4, комплекс 2) [2]. Экологически он близок к *S. centrale* и часто произрастает совместно с ним. УБВ в течение вегетационного сезона в местообитаниях вида варьирует от –3 до –40,5 см, при средних значениях УБВ = –24,8 см. Гидрохимические показатели болотных вод: рН ср – 3,9; общая минерализация – 157 мг/л.

Как видно, *S. centrale* и *S. wulfianum* экологически отличаются от *S. squarrosum* и *S. riparium*, описанных ранее. Это выражается в более низких средних значениях УБВ и большой амплитуде (до 37,5 см) варьирования этого параметра, что обеспечивает питание мхов болотными водами, характеризующимися высокой минерализацией (99,5–157 мг/л) при УБВ не ниже (–15 см). При этом значительную часть вегетационного сезона питание *S. centrale* и *S. wulfianum* осуществляется за счет атмосферных осадков, которые обогащаются минеральными веществами по мере прохождения через хорошо развитый древесный ярус.

Sphagnum angustifolium произрастает в разнообразных мезо- и олиготрофных условиях, от березово-вахново-сфагновых до осоково-кустарничково-сфагновых сообществ с преобладанием *Carex lasiocarpa*, *Carex rostrata*, *Oxycoccus palustris*, *Chamaedaphne calyculata*, а также в пушицево-сфагновых ценозах с *Eriophorum vaginatum*. Данный вид занимает пристволовые кочки эвтрофных карстовых болот, сплавины карстовых болот, формируя «ковры», склоны и вершины плоских кочек, в микропонижениях и мочажинах

олиготрофных и мезотрофных болот [2]. Столь широкая экологическая амплитуда подтверждается и нашими наблюдениями за параметрами среды, которые изучали на сплавинных болотах (№ 3 – комплекс 1; № 1, 3 – комплекс 2). Усредненные значения положения болотных вод характеризуются наиболее низкими значениями среди всех рассмотренных сообществ: от –11,5 до –17,3 см, при этом амплитуды УБВ в течение вегетационного сезона достаточно высоки: от 10 до 25,5 см. Гидрохимические характеристики болотных вод сильно варьируют: рН – от 4,2 до 5,2 ; а общая минерализация – от 21 до 120 мг/л; максимальные значения отмечены в весеннее время после снеготаяния. Следует отметить, что относительно низкое залегание болотных вод и скачкообразная динамика УБВ в течение вегетационного сезона, характеризующаяся выраженными максимумами и минимумами, заметно снижает участие болотных вод в питании мхов и увеличивает роль атмосферной влаги.

Sphagnum magellanicum маркирует мезо- и олиготрофные сообщества с *Rhynchospora alba* и *Carex rostrata* при участии *Oxycoccus palustris*, *Chamaedaphne calyculata*, *Eriophorum vaginatum*, занимая плоские кочки в мезотрофных частях сплавин карстовых болот, высокие кочки и гряды мезотрофных и олиготрофных болот [2]. На плоских обширных кочках (высота 10–15 см, диаметр 1,5–2 м) УБВ_{ср.} составляет –9,7 см, рН варьирует от 4,2 до 5,3, а общая минерализация меняется от 12 до 102 мг/л, максимальные значения показателей характерны для непродолжительного промежутка вегетационного сезона и связаны со снеготаянием и сильными летними ливнями (№ 4, комплекс 1; № 2, комплекс 2). На более высоких кочках (высота 35–40 см) УБВ_{ср.} опускается до –39,1 см при максимальном значении уровня – (–30) см. В таких условиях питание мхов осуществляется исключительно за счет бедных минеральными элементами атмосферных осадков. По этой причине на таких кочках возможно произрастание *S. fuscum* (№ 1, комплекс 2).

На основе полученных данных можно сделать вывод, что *S. angustifolium* и *S. magellanicum* менее требовательны к питанию: болотные воды характеризуются низкими значениями минерализации (12–120 мг/л) и рН (4,2–5,3). При этом в течение значительной части вегетационного сезона (особенно в июне-июле) такие мхи переходят на использование атмосферных осадков (минерализация – 5–7 мг/л), а при произрастании на высоких кочках *S. magellanicum* в течение всего вегетационного сезона использует влагу осадков.

Заключение. Таким образом, по условиям произрастания исследованные сфагновые мхи можно разделить на 3 группы:

1) евтрофная группа – объединяет виды, произрастающие в условиях достаточного обводнения и высокого содержания минеральных солей (минерализация) в болотных водах (*S. squarrosum* и *S. riparium*);

2) мезо-евтрофная группа – характеризуется значительной минерализацией болотных вод при переменном обводнении, с выраженным "засушливым" периодом, в течение которого мхи частично переходят на атмосферное питание (*S. centrale* и *S. wulfianum*). Необходимым условием является наличие древесного яруса в местообитаниях видов, что повышает трофность стекающих осадков;

3) мезо-олиготрофная группа – характеризуется наиболее низкими показателями минерализации болотных вод, переменным обводнением с выраженным "засушливым" периодом, частичным или полным переходом на атмосферное питание. (*S. angustifolium* и *S. magellanicum*).

Список литературы

1. Вислогузова Д.В. Эколого-гидрологические наблюдения на карстовых болотах Тульской области (на примере системы болот у пос. Озерный) // Исследования природы Тульской области и сопредельных территорий: сб. науч. тр. – Вып. 1. – Тула, 2008. – С. 130–133.
2. Волкова Е.М. О распространении сфагновых мхов (Bryophyta: Sphagnaceae) в Тульской области // Природа Тульской области: сб. науч. трудов. – Вып. 1. – Тула, 2006. – С. 10–15.
3. Красная книга Тульской области: растения и грибы. – Тула, 2010.

THE ECOLOGICAL FEATURES OF SPHAGNUM MOSSES IN TULA REGION

D.V. Zatsarinnaya, A.V. Gudkova, E. M. Volkova

The article shows the results of studying of ecological conditions of several species of sphagnum mosses which are growing on the mires of Tula region. The mosses are different by acidity, water tables and conductivity (nutrition) of mire waters.

КЛАССИФИКАЦИЯ БОЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ЭМИССИИ МЕТАНА НА ПРИМЕРЕ ПОДЗОНЫ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

Д.В. Ильясов*, И.Е. Клепцова**, М.В. Глаголев***

*Московский государственный университет, г. Москва, e-mail: danila_ilyasov@mail.ru

**Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, e-mail:

kleptsova@gmail.com, m_glagolev@mail.ru

В статье представлены результаты классификации болотных ландшафтов подзоны средней тайги на территории Западной Сибири. В ходе работы составлена подробная карта болотных экосистем Западной Сибири на базе спутниковых снимков Landsat общим размером 170×185 км². Ее пространственное разрешение гораздо выше, чем по результатам предыдущих исследований, и позволяет провести более точную оценку эмиссии метана болотами Западной Сибири. Эмиссия CH₄ с изучаемой территории, согласно настоящему исследованию, составила 89 КтС/год, что на 63 % выше, чем это предполагалось ранее. Вероятно, применение данной методологии ко всей Западной Сибири также приведет к существенному увеличению оценки эмиссии метана.

Введение. В настоящее время существует определенный дисбаланс газового состава атмосферы, обусловленный повышением концентрации парниковых газов. Данные регулярных измерений свидетельствуют о том, что с начала индустриальной эпохи (около 1750 г.) содержание в атмосфере углекислого газа увеличилось примерно на 30 %, закиси азота на 16 %, метана в 2.5 раза [1].

Однако вклад каждого из перечисленных газов¹ в нарушение складывавшегося тысячелетиями теплового баланса не равнозначен. В настоящее время вклад CO₂ в парниковый эффект составляет более 60 %, на метан приходится около 20 %, а за оставшиеся 20 % ответственны другие парниковые газы. Поскольку концентрация CH₄ в индустриальную эпоху росла значительно быстрее концентрации CO₂, очевидно, что при сохранении существующей тенденции в будущем вклад метана в усиление парникового эффекта будет еще более весомым [1].

Таким образом, инвентаризация потоков метана из различных источников является первоочередной задачей в вопросе глобального потепления. В мире уже проведено множество измерений на разнообразных территориях [2–5], однако большая часть нашей страны до сих пор остается своеобразным «белым пятном» на карте исследований потоков метана в мире [6].

В этом смысле, особенно важным источником CH₄ оказываются болота, поскольку они обуславливают 20–30 % от его ежегодной глобальной эмиссии в атмосферу [2, 5].

Если судить по количеству выполненных измерений, то на территории России, пожалуй, лучше всего изучены болотные ландшафты Западной Сибири [7] – на данный

¹ Подчеркнем, что речь идет именно о газах, без учета водяного пара, на который приходится основной вклад в парниковый эффект, что связано с высоким содержанием его в атмосфере и наличием у него широких и мощных полос поглощения в инфракрасной области спектра.

момент здесь получено больше 2000 значений удельных потоков [8], а также рассчитаны периоды эмиссии метана для каждой природной зоны/подзоны [9]. Хорошо известно, что удельный поток метана тесно связан с типом микроландшафта, который может быть определен дистанционно на основе спутниковых снимков [10]. Таким образом, теоретически, особых трудностей при оценке потока с территории даже весьма крупных регионов быть не должно. Однако на практике точность имеющихся сегодня региональных оценок эмиссии серьезно лимитирована не столько отсутствием экспериментальных данных об удельных потоках в тех или иных микроландшафтах, сколько отсутствием подробных карт болотных ландшафтов (в т.ч. и для Западной Сибири).

Цель настоящей работы заключается в уточнении оценки эмиссии метана с болот Западной Сибири с помощью создания новой детальной карты болотных ландшафтов по снимкам Landsat. В качестве объекта исследований была выбрана территория покрытия двух снимков в подзоне средней тайги Западной Сибири. Согласно вышеуказанной цели исследования были поставлены следующие задачи:

- создание подробной карты болотных экосистем на основании космических снимков Landsat для тестового участка в подзоне средней тайги общим размером 170×185 км;
- оценка эмиссии метана с изучаемой территории на основании новой карты;
- сравнение оценок эмиссий метана с данной территории, полученных по двум картам.

Методы и объекты исследования. *Спутниковые снимки и программное обеспечение.*

В качестве объекта дешифрирования использовались два снимка Landsat, находящихся в открытом доступе в сети Интернет [11]. Эти снимки представляют собой рабочий набор из восьми фотографий-слоев, которые несут в себе информацию в различных спектральных диапазонах [12]. При дешифрировании использовалось следующее программное обеспечение: QGIS v. 1.9, MultiSpec v. 3.3 (Purdue University, USA) и MatLab v. 7.11 (The MathWorks, Inc.; USA).

Алгоритм дешифрирования. Дешифрирование снимков проводилось в несколько этапов. Первый этап – создание «маски», т.е. изображения-фильтра, позволяющего «отсеять» (согласно их спектральным характеристикам) те типы экосистем, которые не представляют интереса для дешифрирования [12]. Для создания «маски» использовались два параметра: GRVI (Green-Red Vegetation Index) и NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [12].

В QGIS был создан слой-маска болот, где всем пикселям с показателем $NDVI \leq 0$ или $GRVI \geq 0.9$ присваивалось значение 1, а остальным пикселям – значение 0. Заключительной операцией создания «маски» являлось удаление шумов, которое производилось в MatLab при помощи стандартного алгоритма «усреднение в квадрате 3 на 3»

Второй этап – перемножение слоя «маски» со всеми слоями мультиспектрального изображения. В результате отсеивалась большая часть «неболотных» ландшафтов, например, лесов.

Третий этап – собственно дешифрирование снимка (в программе MultiSpec с помощью стандартного метода «supervised classification»). После выделения нескольких эталонных участков для каждого класса запускался процесс автоматического дешифрирования, при котором каждый пиксель относился к тому или иному классу в соответствии со своими спектральными характеристиками. Завершающей операцией являлось удаление шумов с карты и ее генерализация (т.е. сокращение исходного количества классов до нескольких значащих).

Четвертый этап – подсчет площадей различных типов болотных микроландшафтов. Полученные результаты в дальнейшем использовались для расчета потока метана с территории тестового участка [13], который осуществлялся по данным полевых измерений, обобщенных в «стандартную модель» Vc8 [8].

Типы болотных экосистем на территории покрытия снимков. В качестве объекта исследований был выбран тестовый участок в подзоне средней тайги к юго-западу от г. Ханты-Мансийск (59.75°–60.25° с.ш., 64.25°–69.25° в.д.). Преобладающими ландшафтами на рассматриваемой территории оказались различные виды грядово-мочажинных комплексов (42 % площади), вторыми по распространенности – рямы (33.5 %), далее следовали озера (13.8 %), сходные площади (10.7 %) занимали различные виды эвтрофных и мезотрофных болот. Таким образом, на олиготрофные ландшафты в данном районе приходится почти 90 % территорий.

Результаты и обсуждение. Одной из первых задач, встающих при создании новой карты, является разработка типологии болотных ландшафтов, подходящей для поставленных целей. На основании [14] были определены болотные комплексы, имеющие широкое распространение на территории средней тайги. Эти болотные ландшафты были разбиты на составляющие их типы микроландшафтов, характеризующиеся известными потоками метана (рис. 1в). Далее по разработанной типологии был дешифрирован тестовый участок, занимающий территорию в 34 192 км².

На рис. 1а, 1б изображены два территориально идентичных участка, относящихся к созданной нами карте и к карте Романовой с соавт. [15], которую мы использовали в электронной форме [16]. Очевидно, что количество выделенных типов болот (рис. 1в, 1г), и детальность карты, полученной в результате данной работы, существенно выше. Это значительно увеличило точность оценки эмиссии метана с болот, расположенных на данной территории.

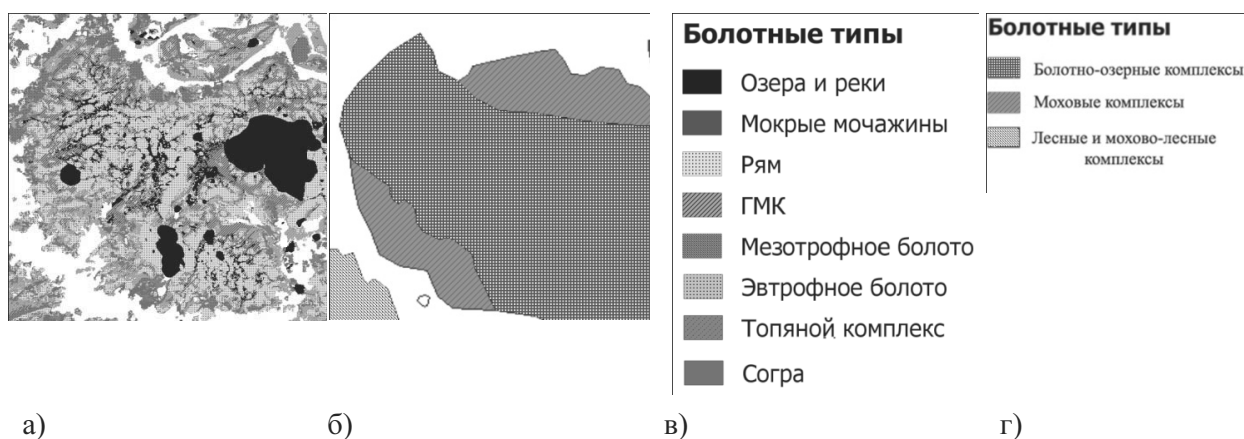


Рисунок 1. Сравнение детальности дешифрирования: а) карта, созданная нами; б) карта Романовой с соавт. [15, 16]; в) типология болот, используемая нами; г) типология болот карты Романовой с соавт. [15, 16]

Годовой поток метана, полученный на основании нашей карты при использовании данных по потокам и периодам эмиссии метана из [8], составил для тестового участка размером $170 \times 185 \text{ км}^2$ 89 КтС, в то время как согласно карте Романовой с соавт., он (для того же участка) составил всего 54.4 КтС (табл. 1). Данный результат обусловлен тем, что площадь мезо- и эвтрофных болот, характеризующихся относительно высоким удельным потоком CH_4 ($3.22 \text{ мгС/м}^2/\text{ч}$), на карте Романовой с соавт. занижена по сравнению с новой картой на 2118 км^2 .

Таблица 1

Сравнение эмиссий метана из болотных экосистем

Тип микроландшафта	Удельный поток метана, $\text{мгС/м}^2/\text{ч}$	Оценка по карте Романовой с соавт. [15]			Оценка по результатам настоящего исследования		
		Площадь, км^2	Доля от общей площади болот, %	Поток метана, тС/год	Площадь, км^2	Доля от общей площади болот, %	Поток метана, тС/год
Озера	0.49	772.8	3.9	1468	2815.0	13.8	5348
Обводненные мочажины	4.72	264.4	1.3	4878	596.1	2.9	10999
Мочажины	2.76	4036.9	20.5	43508	3932.5	19.3	42383
Гряды ГМК	0.13	5511.0	28.0	2776	4050.0	19.8	2040
Рямы	0.03	9052.0	45.9	937	6843.8	33.5	708
Мезо- и эвтрофные	3.22	67.6	0.3	851	2185.8	10.7	27533
СУММА		19704.7	100	54418	20423.1	100	89011

Кроме того, площадь обводненных мочажин, также характеризующихся высоким удельным потоком метана ($4.72 \text{ мгС/м}^2/\text{ч}$), занижена на 338 км^2 , а озер ($0.49 \text{ мгС/м}^2/\text{ч}$) – на 2042 км^2 . В свою очередь ранее данные территории причислялись к рямам и грядам ГМК,

чья площадь по карте Романовой оказалась завышена на 2208 км² и 1461 км², соответственно. Однако именно эти ландшафты обладают низкими удельными потоками метана (0.03 и 0.13 мгС/м²/ч, соответственно).

Таким образом, более точная оценка эмиссии метана болотами по новой карте привела к увеличению потока метана на 63 % по сравнению с картой Романовой с соавт. Вероятно, применение данной методологии ко всей Западной Сибири также приведет к существенному увеличению оценки эмиссии метана.

В заключение отметим, что предложенная методика, вероятно, будет немного занижать поток СН₄ с южных территорий. Это связано с широким распространением там болот, осушенных под различные хозяйственные нужды (гидролесомелиорация, пастбища, добыча торфа и др.) и характеризующимися близкими к нулевым или даже отрицательными удельными потоками СН₄ (см., например, [17]). Идентификация осушенных болот на спутниковых снимках составит одно из направлений наших будущих исследований.

Список литературы

1. Кароль, И.Л., Киселев А.А. Атмосферный метан и глобальный климат // Природа. – 2004. – №7. – С 47–52.
2. Matthews E., Fung I. Methane emission from natural wetlands: global distribution, area, and environmental characteristics of sources // *Global Biogeochemical Cycles*. – 1987. –V. 1. – P.61–86.
3. Aselmann I., Crutzen P.J. Global distribution of Natural Freshwater Wetlands and Rice Paddies, their Net Primary Productivity, Seasonality and Possible Methane Emissions // *Journal of Atmospheric Chemistry*. – 1989. – V. 8. – P. 307–358.
4. Matthews E., Fung I., Lerner J. Methane emission from rice cultivation: geographic and seasonal distribution of cultivated areas and emissions // *Global Biogeochemical Cycles*. –1991. –V. 5. – P. 3–24.
5. Bartlett K.B., Harriss R.C. Review and assessment of methane emissions from wetlands // *Chemosphere*. – 1993. – V. 26. – P. 261–320.
6. Glagolev M.V., Maksyutov S.S., Peregon A.M., Shnyrev N.A. The data base of CH₄ emission from soils of Russia // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: Прошлое и настоящее: Матер. Второго Международного полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 24 августа – 2 сентября 2007 г.) / Под ред. акад. С.Э. Вомперского. – Томск: Изд-во НТЛ, 2007. – С. 128–129.
7. Глаголев М.В. Аннотированный список литературных источников по результатам измерений потоков СН₄ и СО₂ из болот России // *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*. – 2010. – Т.1. –№2. – С. 5–57.
8. Glagolev M., Kleptsova I., Filippov I., Maksyutov S., Machida T. Regional methane emission from West Siberia mire landscapes // *Environ. Res. Lett.* – 2011. – V. 6. – No. 4. 045214. DOI:10.1088/1748-9326/6/4/045214.
9. Глаголев М.В. Эмиссия метана: идеология и методология «стандартной модели» для Западной Сибири // *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата: Сб. научных трудов кафедры ЮНЕСКО ЮГУ; Под ред. М.В.Глаголева и Е.Д.Лапшиной*. – Вып. 1 – Новосибирск: НГУ, 2008. – С. 176–190.

10. Глаголев М.В., Шнырев Н.А. Анализ космических снимков – перспективное направление в изучении газовой функции болотных экосистем // Болота и биосфера: Сборник матер. Пятой научной школы (11–14 сентября 2006 г.). – Томск: ЦНТИ, 2006. – с. 104–114.
11. USGS Global Visualization Viewer, URL: www.glovis.usgs.gov.
12. Huete A., Justice C. Algorithm theoretical basis document. University of Virginia, Department of Environmental Sciences Clark Hall Charlottesville, 1999. 120 P.
13. Kleptsova I., Glagolev M., Lapshina E., Maksyutov S. Land covers classification of West Siberian wetlands and its application for estimating methane emissions. – In Press. 2012.
14. Кац Н.Я., Нейштадт М.И. Болота // Западная Сибирь / Под ред. Рихтера Г.Д. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 230–248.
15. Романова Е.А., Быбина Р.Т., Голицина Е.Ф., Иванова Г.М., Усова Л.И., Трушниковая Л.Г. Типологическая карта болот Западно-сибирской равнины. Масштаб 1:2 500 000. – Л.: ГУГК, 1977.
16. Peregón A., Maksyutov S., Kosykh N., Mironycheva-Tokareva N. Map-based inventory of wetland biomass and net primary production in western Siberia // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. G01007. DOI:10.1029/2007JG000441
17. Глаголев М.В., Чистотин М.В., Шнырев Н.А., Сирин А.А. Летне-осенняя эмиссия диоксида углерода и метана осушенными торфяниками, измененными при хозяйственном использовании, и естественными болотами (на примере участка Томской области) // Агрохимия. – 2008. – №5. – С. 46–58.

LAND COVER CLASSIFICATION OF MIRES AND ITS APPLICATION FOR ESTIMATING METHANE EMISSIONS: CASE STUDY OF MIDDLE TAIGA

D.V. Ilyasov, I.E. Kleptsova, M.V. Glagolev

The paper represents land cover classification results of wetland landscapes in West Siberia middle taiga. Map of mire ecosystems based on Landsat images with the total size of 170×185 km was created and used for further methane flux inventory. Its spatial resolution was significantly higher comparing with the previously used map. Thus it allows estimating total methane emission from test site wetlands more accurately. As a result, annual CH₄ emission was revealed to be 89 KtC, it is 63 % higher comparing to previously used map. Probably land cover classification of all West Siberia mires will also lead to the increasing of total methane flux.

СФАГНОВЫЕ МХИ ХАБАРОВСКОГО КРАЯ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ЭНТЕРОСОРБЦИИ

Е.Н. Клименко

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Россия, elena_iver@mail.ru

В статье представлены результаты исследования фитомассы сфагновых мхов болот Хабаровского края для получения представления о возможных объемах заготовок. Измерена сорбционная активность наиболее часто встречающихся видов сфагнов на болотах Приамурья различной степени механического измельчения, до и после обработки жидкой фазой торфа.

Введение. По схеме климатического районирования большая часть Хабаровского края относится к муссонной лесной области [1], для которой характерно устойчивое преобладание осадков над испарением, что позволяет отнести весь регион к зоне избыточного увлажнения. По этой причине болотами занято около 50–60 % нижнеамурских [2] и около 72 % среднеамурских низменностей [3].

Один из основных компонентов растительности торфяных болот – сфагновый мох, способствует поддержанию оптимального уровня стояния болотных вод, созданию кислой реакции среды и угнетению роста бактерий-редуцентов [4]. Одной из важных особенностей сфагнов является высокая поглотительная способность, обусловленная наличием пор, общий объем которых составляет от 300 до 1500 м²/г [5, 6]. Различают несколько типов пор по показателю размерности: микропоры – размером порядка 20 Å, занимают до 40 % от общего объема пор [6]; мезапоры (диаметр 20–500 Å) составляют ~54 % всей суммарной поверхности пор; на долю макропор с диаметром выше 500 Å приходится всего около 4 % от общего объема пор [7]. Благодаря такому внутреннему строению мхи рода *Sphagnum* способны сорбировать различные вещества органической и неорганической природы. Как и сфагновые мхи, торф, включая его жидкую фазу, обладает способностью к физической и химической сорбции, поэтому для изучения влияния на поглотительные характеристики измельченных мхов использовали гидролизат торфа. В связи с возрастающим интересом к сфагновому мху как сырью для производства эффективных сорбентов **целью** нашего исследования было – оценить перспективы заготовки сфагнового мха на территории Приамурья и применения его в качестве энтеросорбента.

В соответствии с целью исследования были поставлены следующие **задачи**:

1. На основе литературных и фондовых материалов получить данные о фитомассе доминирующих видов мхов для изучения возможных объемов заготовок сфагнового сырья на болотах Хабаровского края.
2. Выявить виды, перспективные для добычи на территории Приамурья.

3. Оценить сорбционную активность наиболее распространенных видов сфагнов до и после обработки жидкой фазой торфа.

Объекты и методы. В качестве объектов исследования были выбраны характерные для территории Приамурья мезотрофные кустарничково-сфагновые болота в междуречье рек Хор – Кия и аналогичное болото, расположенное на первой надпойменной террасе р. Малые Чирки. Кроме того, были детально обследованы олиготрофные кустарничково-сфагновые болота, образованные на плоском заболоченном водоразделе бухта Табо – оз. Кизи и на первой морской террасе бухты Невельского.

Описания болотных биогеоценозов проводились маршрутным методом, а также методом геоботанических описаний заложенных пробных площадей. Отбор образцов производился с разных частей микрорельефа методом конверта. Определение видов сфагновых мхов проводили с помощью микроскопа Nikon Eclipse LV 100Pol. Номенклатура мхов приводится по М. С. Игнатову, Е. А. Игнатовой [8], Л.И. Савич-Любицкой [4].

Для определения сорбционной способности высушенный на воздухе мох (*Sphagnum magellanicum* Brid. и *Sphagnum fuscum* Klinggr.) измельчали в фарфоровой ступке, затем последовательно просеивали через сита с диаметром ячеек $d=3$ мм, $d=1$ мм, $d=0,5$ мм. Опыт проводили в трех повторностях.

Измерение сорбционной активности проводили по ГОСТ 4453-74 [9] для угля активированного осветляющего древесного порошкообразного. К навеске каждого исследуемого образца массой 0,1 г прибавляли 25 мл раствора метиленового синего концентрацией 1500 мг/л, встряхивали на шейкере Eplan 357 в течение 20 мин при 130 об/мин, затем центрифугировали в течение 15 минут при 10000 об/мин на центрифуге СМ-50. Измерение оптической плотности раствора метиленового синего после контакта с сорбентом (надосадочной жидкости) и разбавления в 100 раз проводили на фотоэлектроколориметре КФК-3-01 в области видимого света при $\lambda=661$ нм.

Для изучения влияния на сорбционные свойства измельченного мха его активировали жидкой фазой торфа. Для этого к 4 мл воздушно-сухих образцов мха (насыпная плотность) добавляли 5 мл гидролизата торфа, затем высушивали при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния, навеску каждого активированного образца массой 0,1 г исследовали аналогично образцам, не подвергшимся активации.

Результаты исследования и обсуждение. Всего в результате работы на болотах Хабаровского края было отобрано 18 видов сфагновых мхов, из них 11 – в границах Среднеамурской низменности. Проективное покрытие и фитомасса доминирующих видов представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Проективное покрытие и фитомасса доминирующих
видов сфагновых мхов на мезотрофных болотах
Хабаровского края [10]**

Виды	Проективное покрытие, %	Фитомасса, г/м ²
<i>S. fuscum</i>	51,5 %	487,9±26,62
<i>S. magellanicum</i>	22,6 %	302,2±23,79
<i>S. balticum</i> Russ.	9 %	394,6±46,10

На нижнеамурских болотах отобрано 14 видов мхов рода *Sphagnum*. Доминантом сообществ является *S. fuscum* (60 %), субдоминантами выступают *S. rubellum* Wils. (15 %) и *S. magellanicum* (10 %). Остальные виды играют значительно меньшую роль в сложении фитоценозов. Общая фитомасса, по нашим предварительным оценкам, составляет от 500 до 1500 г/м².

Учитывая высокое обилие на болотах Хабаровского края и особенности их произрастания (образуют плотные, практически однородные подушки), в качестве сырья для производства сорбентов предлагаем *S. fuscum* и *S. magellanicum*. Известно, что исследователи болот Сибири также выделяли сфагнумы бурый и магеланский как перспективные виды для получения энтеросорбентов [11, 12], при этом наибольшая адсорбционная активность наблюдалась у *S. girgensohnii* Russ., *S. cuspidatum* Ehrh. ex Hoffm. и *S. centrale* C. Jens. Указанные виды встречаются на приамурских болотах, но имеют низкие значения проективного покрытия [2], поэтому добыча данных мхов представляется нам нецелесообразной.

В результате исследования сорбционной способности выбранных сфагнов разной степени измельчения выявлено, что с уменьшением размеров частиц сорбента с 3 мм до 0,5 мм поглотительная активность возрастает у *S. magellanicum* с 234,79 до 296,67 мг/г, у *S. fuscum* – с 190,83 до 290,21 мг/г (табл. 2).

Таблица 2

Сорбционная активность сфагновых мхов (M ± m, n = 3)*

Вид	Измельчение, мм	Сорбционная активность, мг/г
<i>S. magellanicum</i>	3,0	234,79 ± 10,28
<i>S. magellanicum</i>	1,0	250,63 ± 16,91
<i>S. magellanicum</i>	0,5	296,67 ± 7,24
<i>S. fuscum</i>	3,0	190,83 ± 13,98
<i>S. fuscum</i>	1,0	264,17 ± 1,44
<i>S. fuscum</i>	0,5	290,21 ± 2,19
Уголь активированный [9]	0,1	225,0±1,0

Примечание. *средние величины представлены в виде (M ± m), где M – среднее арифметическое значение, m – стандартное отклонение, n – объем выборки.

Некоторые авторы [12, 14] отмечали, что с увеличением степени дисперсности сырья (*S. fuscum*) до размеров частиц около 0,1 мм сорбционная активность возрастает в 2–3 раза.

После активации размолотых сфагнома жидкой фазой торфа их сорбционная активность значительно увеличилась (рис. 1). Различия между сорбционной способностью обработанных и необработанных гидролизатом торфа образцов статистически достоверны. В качестве сравнения указана сорбционная способность угля активированного [9].

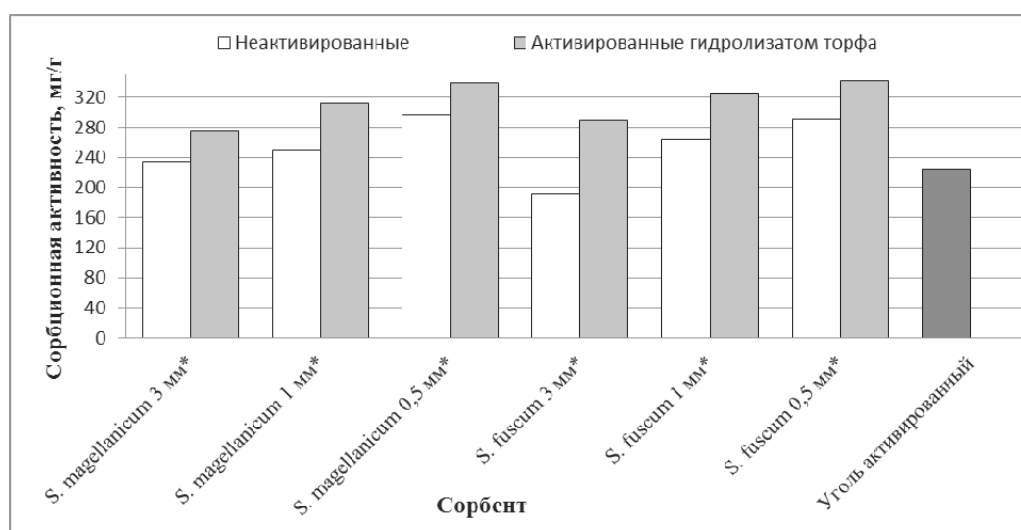


Рисунок 1. Сорбционная активность сфагновых мхов разной степени механического измельчения

Известно, что улучшение сорбционных характеристик сфагновых мхов происходит при добавлении дополнительных сорбирующих агентов, например, пектиновых веществ, поливинилпирролидона [15], жидкой фазы торфа и др. Помимо аминокислот, водо- и жирорастворимых витаминов, гидролизат торфа содержит также гуминовые вещества, которые прочно связывают многие радионуклиды, детергенты, пестициды и другие органические и неорганические соединения [16, 17].

Поскольку сорбент на основе измельченного *S. fuscum* и *S. magellanicum*, активированного гидролизатом торфа, обладает высокой сорбционной способностью, нетоксичен, нетравматичен для слизистых, его возможно использовать в качестве энтеросорбента, но для этого требуется проведение дальнейших лабораторных исследований.

Заключение. При условии рациональной добычи, благодаря значительному ресурсному потенциалу сфагновых мхов на болотах Приамурья, заготовка сфагнового сырья для производства природного энтеросорбента является перспективной.

В качестве наиболее пригодных видов для производства эффективного, растительного происхождения энтеросорбента предложено два вида сфагнома – магеланский и бурый. Выбранные виды мха обладают высокой сорбционной активностью, и при механическом измельчении, а также после активации гидролизатом торфа, эффективность поглощения данных видов мхов существенно улучшаются.

Список литературы

1. Петров Е.С. Климатическое районирование Хабаровского края / Е.С. Петров // Вопросы эволюции ландшафтов юга Дальнего востока. – Хабаровск, 1973. – С. 70–93.
2. Прозоров Ю.С. Болота нижнеамурских низменностей / Ю.С. Прозоров. – М.: Наука, 1974. – С. 87–96.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т. 18. – Вып. 2. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 592 с.
4. Савич-Любицкая Л.И. Определитель сфагновых мхов / Л.И. Савич-Любицкая, З.Н. Смирнова. – Л.: Наука, 1968. – 112 с.
5. McKay G. And Allen Surface mass transfer processes using peat as an adsorbent for dyestuffs / G. McKay And Allen // The Canadian Journal of Chemical Engineering, 1980. – P. 521–526.
6. Cloutier J., Leduy A., Ramalho R.S. Peat adsorption of herbicide 2,4-D from wastewaters / J. Cloutier, A. Leduy, R.S. Ramalho // The Canadian Journal of Chemical Engineering. – 1985. – P. 250–257.
7. Luisa A. Sepúlveda-Cuevas Magellan peat (*Sphagnum magallanicum*) as natural adsorbent of recalcitrant synthetic dyes / A. Luisa Sepúlveda-Cuevas, G. Elsa Contreras-Villacura, L. Carolyn Palma-Tolozá // Soil Sc. Plant Nutrients. 8 (2) 2008. – P. 31–43.
8. Игнатов М.С. Флора мхов средней части европейской России. Том 1 *Sphagnaceae – Hedwigiaceae* / М.С. Игнатов, Е.А. Игнатова. – М.: КМК, 2003. – С. 35–83.
9. ГОСТ 4453-74 Уголь активированный осветляющий древесный порошкообразный; Введен 01.01.76 – М.: Издательство стандартов. 1993.
10. Копотева Т.А. Пирогенный фактор на маревых болотах Приамурья / Т.А. Копотева, В.А. Купцова // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – Магадан, 2011. – С. 38–41.
11. Дмитрук В.Н. Сравнительное фармакогнозическое исследование растений рода *Sphagnum* и перспективы их использования: Дисс. на соискание ученой степени кандидата фармацевтических наук; – Защищена 25 ноября 2008 / В.Н. Дмитрук. – Самара, 2008. – С 9–15.
12. Келус Н.В. Адсорбционная активность сырья водно-болотных растений Западной Сибири / Н.В. Келус, Л.Г. Бабешина, С.Е. Дмитрук, Н.С. Субботина, Л.А. Никифоров // Бюллетень сибирской медицины. – №4. – Томск: 2009. – С. 37–41.
13. Бабешина Л.Г. Сфагновые мхи Западно-Сибирской равнины: морфология, анатомия, экология и применение в медицине: Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук; – Защищена 24 ноября 2011. / Л.Г. Бабешина. – Томск, 2011. – С 22–33.
14. Емельянова О.А. Технология гранул на основе сфагнового мха / О.А. Емельянова // Всероссийская 69-я итоговая научная студенческая конференция, посвященная 200-летию со дня рождения Н.И. Пирогова: сборник статей / под редакцией В.В. Новицкого, Л.М. Огородовой. – Томск, 2010. –С. 246–248.
15. Дмитрук С.Е. Энтеросорбент растительного происхождения и способ его получения / С.Е. Дмитрук, Л.Г. Бабешина, Н.В. Келус. Патент на изобретение РФ №2391998, 2010, – 6 с.
16. Гуминовые вещества в торфе / под редакцией Д.С. Орлова. – М.: Наука. 1993. –238 с.
17. Чаков В.В. Органическое вещество жидкой фазы торфа и его гидролизатов из месторождений Среднеамурского бассейна / В.В. Чаков, Н.В. Бердников, Н.С. Коновалова // Тихоокеанская геология. – Том 27.– № 6. – Хабаровск, 2008. – С. 100–104.

SPHAGNUM MOSSES OF THE KHABAROVSK AREA AND THEIR USE IN ENTEROSORPTION

E.N. Klimenko

The date on sorption activity of the most frequent sphagnum species presented in the article. We measured sorption activity of the most common species of sphagnum moss, variable degrees of mechanical destruction, before and after adding liquid faze of peat.

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БОЛОТНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ В РАЙОНАХ НЕФТЕДОБЫЧИ (НА ПРИМЕРЕ НИЖНЕВАРТОВСКОГО РАЙОНА ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО ОКРУГА – ЮГРА)

Е.И. Ковалева

Экспертно-аналитический центр по проблемам окружающей среды «Экотерра»,
г. Москва, e-mail: katekov@mail.ru

Рассмотрены проблемы охраны и использования болот в Российской Федерации. Изучено влияние объектов нефтедобычи (буровых шламовых амбаров) на болотные экосистемы Нижневартовского района ХМАО-Югра. Дана оценка воздействия буровых шламовых амбаров на типичные торфяные олиготрофные почвы, грунтовые воды болот, водные объекты. Установлена миграция нефтепродуктов и хлоридов от буровых шламовых амбаров в окружающую среду.

Введение. Среди множества проблем современной хозяйственной деятельности охрана и восстановление окружающей среды занимает важнейшее место. К природным объектам, испытывающим антропогенное воздействие, относятся болота. Обширные площади болот приурочены к северным регионам Российской Федерации, на территории которых ведется активная нефтедобыча. Поэтому, важными аспектами в системе охраны окружающей среды является охрана и использование болот, оценка антропогенного воздействия, научно-обоснованное регулирование хозяйственной деятельности на заболоченных территориях, контроль сбросов сточных вод, размещения на них отходов.

В настоящее время деятельность природопользователей на территориях, приуроченных к болотам, регулируется земельным и водным законодательством. Согласно Водному кодексу РФ [1] болота относятся к поверхностным водным объектам, состоящим из поверхностных вод и покрытых ими земель в пределах береговой линии. Правовой режим земель обозначен в Земельном кодексе РФ [2], статья 102 которого относит земли, покрытые поверхностными водами, сосредоточенными в водных объектах, к категории земель водного фонда. Таким образом, земли, находящиеся под болотами, относятся к категории земель водного фонда.

По данным Росреестра [3] по состоянию на 01.01.2010 г. в земельном фонде РФ только на долю болот приходится 152,83 млн. га. Земли под болотами присутствуют почти во всех категориях земель. Больше всего болот в категории земель лесного фонда (109,9 млн. га), много заболоченных земель в категории земель сельскохозяйственного назначения (25,6 млн. га) и запаса (13,8 млн. га), тогда как должны быть отнесены к землям водного фонда.

Сложившаяся ситуация с не переводением болот к землям водного фонда обусловлена рядом причин. Основная из них заключается в том, что землепользователи и органы власти не заинтересованы в отнесении хозяйственно-ценных и инвестиционно привлекательных участков к категории земель водного фонда, так как это будет накладывать существенные

ограничения на их использование. Общеизвестно, что нефтегазовая промышленность является одним из основных источников пополнения бюджета РФ. Кроме того, перевод участков других категорий земель, которые должны быть отнесены к землям водного фонда в соответствии с Водным кодексом РФ, в ряде случаев осложнен несовершенством существующего законодательства.

Земли водного фонда занимают особое положение в части охраны компонентов окружающей среды, поскольку приурочены к водным объектам и имеет непосредственную связь с качеством вод. Поэтому перевод земель водного фонда или земельных участков в составе таких земель в другую категорию производился в исключительно необходимых случаях [4]. Ограничивалась хозяйственная деятельность в границах земель водного фонда и ужесточались требования к их охране. Для упрощения деятельности природопользователей на землях водного фонда принят документ «Об утверждении ходатайства о переводе земель водного фонда в земли другой категории и составе прилагаемых к нему документов» [5]. Положения, содержащиеся в данном документе, позволяют заинтересованному лицу на основании ходатайства осуществлять перевод земель водного фонда в другую категорию при обосновании необходимости осуществления такого перевода и наличии необходимых документов. Реализация норм документа [5] позволит болота относить к любой другой категории земель. Это ставит под угрозу функционирование уникальных болотных экосистем, поскольку единственной охранной нормой для них остается статья 57 Водного кодекса РФ [1], которая запрещает их загрязнение и засорение отходами производства и потребления, загрязнение их нефтепродуктами, ядохимикатами и другими вредными веществами.

Одним из механизмов охраны водных объектов является выделение водоохраных зон (ВОЗ), на которых устанавливается специальный режим осуществления хозяйственной и иной деятельности. Эти зоны создаются в целях предотвращения загрязнения, засорения, заиливания водных объектов, вокруг которых они создаются, истощения их вод, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира. Статья 65 Водного кодекса РФ не предусматривает выделение ВОЗ для болот, как это предусмотрено для прочих водных объектов. Следовательно, на болотные экосистемы может накладываться дополнительная антропогенная нагрузка, например, как от размещения отходов непосредственно в самом болоте, так и за его пределами.

Существует еще одна проблема, связанная с определением болот как экологической системы и установлением их границ. Учёные не раз пытались сформулировать, что же надо понимать под объектом, который называется «болото». В науке существуют разные подходы к выделению болот и заболоченных территорий, зависящих от задач, решаемых учеными, и

поэтому ими предлагается определение болот в соответствии с предметом своего исследования.

В задачу гидрологов входит изучение гидрологического (и особенно водного) режима болот как на начальных стадиях их образования (заболоченные земли и заболачивающиеся водоемы), так и на последующих фазах развития (болотные массивы). Так, гидрологи относят к заболоченным территориям участки земной поверхности, характеризующиеся обильным застойным или слабо проточным увлажнением верхних горизонтов почвогрунтов, на которых произрастает специфическая болотная растительность, а мощность торфа такова, что корни основной массы растений достигают подстилающего минерального грунта. Ботаники производят деление заболоченных территорий на заболоченные земли и болота по различиям в составе растительности. В почвоведении, например, болота трактуют как особые типы аккумулирующих систем биосферы, которые характеризуются заторможенным обменом веществ и преобладанием накопления органической массы над ее распадом [6]. При рассмотрении болот в качестве объекта по добыче торфа, болото определяют как избыточно увлажненные участки земной поверхности, покрытые слоем торфа глубиной не менее 30 см в неосушенном и 20 см в осушенном виде [7]. Водный кодекс РФ предписывает выделение границ болот по нулевой отметке залегания торфа, что позволяет предположить, что заболоченные территории должны быть отнесены к землям водного фонда.

Анализ действующего законодательства РФ показал, что вопросы охраны и использования таких важных экосистем нашей планеты, как болота, требуют определенности. Эти уникальные природные системы выполняют важные биосферные, экологические функции: климатологическую, гидрологическую, геоморфологическую, аккумулирующую, водоохранную и т.д. Болотные системы являются аккумуляторами атмосферной и грунтовой воды, они участвуют в водообмене с окружающими ландшафтами посредством грунтового и поверхностного стоков.

Поэтому оценка антропогенного воздействия на болотные экосистемы является важным аспектом в системе охраны и использования окружающей среды.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования послужили территории в районах нефтепромыслов, занятые болотными экосистемами. Изученные объекты находятся в Нижневартовском районе ХМАО – Югра, центральную часть которой занимает плоская болотно-озерная Среднеобская низменность в пределах подзоны средней тайги. Особенностью территории является заболачивание и образование болот с развитием грядово-мочажинного микрорельефа. По мощности торфяных отложений болота относятся к мелким и средним. В окружении болот расположено множество озер, самое большое из которых – озеро Самотлор. Флювиогляциальные отложения, залегающие под торфяным

слоем, сложены преимущественно песками, насыщенными водой с редкими включениями гравия и гальки с прослоями супеси и суглинка. Мощность песчаных отложений изменяется от 0,4 до 7,9 м. Климат континентальный, с продолжительной холодной зимой и коротким теплым летом. Среднегодовая температура воздуха $+1,4^{\circ}\text{C}$, средняя относительная влажность воздуха 75 %, количество осадков – 500 мм в год, коэффициент увлажнения >1 .

Изучаемые территории представляют собой земли, нарушенные в результате размещения буровых шламовых амбаров при нефтедобыче. Буровые шламовые амбары – объекты размещения отходов бурения: буровых шламов, буровых растворов, буровых сточных вод. Возраст существования обследованных буровых шламовых амбаров варьирует от нескольких до 25 лет.

Для оценки воздействия буровых шламовых амбаров на компоненты окружающей среды изучалась миграция основных загрязняющих веществ как по линии стока, так и вниз по профилю. Площадки для отбора проб закладывались по градиенту удаления от источника поступления загрязняющих веществ – кустовых площадок, на которых расположены нефтедобывающие скважины, и шламовых. Почвенный покров представлен типичными торфяными олиготрофными почвами. Для выявления возможной миграции загрязняющих веществ определялось наличие основных загрязняющих веществ в болотных водах в местах отбора почв, а также воде и донных отложениях озер, в которые происходит сток по рельефу от источника воздействия. Дополнительно изучались фоновые участки, максимально не затронутые нефтедобывающей деятельностью, на аналогичных по геоморфологическим условиям территориях.

Результаты исследования и обсуждение. Основными загрязняющими веществами, поступающими от буровых шламовых амбаров, являются нефтепродукты, хлориды. Загрязнение компонентов окружающей среды происходит в результате утечки жидкой фазы, содержащей загрязняющие вещества, независимо от давности существования бурового шламового амбара при нарушении его обваловки или при переполнении его за счет поступления атмосферных осадков, в период снеготаяния.

В результате миграции загрязняющих веществ в составе жидкой фазой, содержащейся в буровых шламовых амбарах, на прилегающие территории происходят как незначительные сдвиги рН водной вытяжки из проб типичных торфяных олиготрофных почв и грунтовых вод болот, так и значительные преобразования, когда значение рН изменяется на 1–2 единицы. Величина этих изменений зависит от уровня поступления загрязняющих веществ.

Проведенные исследования показали, что болотные почвы способны к накоплению поступающих загрязняющих веществ от источников загрязнения, выступая в качестве геохимического барьера. Вместе с тем установлено, что имеет место миграция загрязняющих

веществ латерального характера с разгрузкой в близлежащие озера, что выявляется в присутствии нефтепродуктов, хлоридов в типичных торфяных олиготрофных почвах как в поверхностном торфяном слое, так и на глубине более 2,0 м, а также в составе воды озер, в которые происходит разгрузка стока. Выявлено загрязнение донных отложений озер загрязняющими веществами, поступающими по линии стока от источников загрязнения. При этом проникновение нефтепродуктов фиксировалось на глубину до 0,2 м, где обнаружены наибольшие их концентрации (до 60 г/кг).

Заключение. Исследования, проведенные в районах нефтепромыслов в Западной Сибири, показали, что болотные экосистемы способны к биоаккумуляции и адсорбции химических соединений, характерных для нефтедобычи. Однако любой природный объект обладает определенной устойчивостью и способностью к самоочищению. Научно необоснованные антропогенные воздействия могут привести к такому состоянию, когда система не сможет справляться с природными и наложенными нагрузками, и болотные экосистемы перестанут выполнять функциональное назначение.

Список литературы

1. Водный кодекс РФ от 03.06.2006 N 74-ФЗ
2. Земельный кодекс РФ от 25.10.2001 N 136-ФЗ.
3. Федеральная Служба государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр), <http://www.rosreestr.ru/>, кадастровый учет.
4. Федеральный закон от 21 декабря 2004 года N 172-ФЗ «О переводе земель или земельных участков из одной категории в другую».
5. Приказ МПР и экологии РФ от 10 ноября 2011 г. N 882 «Об утверждении ходатайства о переводе земель водного фонда в земли другой категории и составе прилагаемых к нему документов».
6. Пьявченко Н.И., Козловская Л.С. Изучение болотных биогеоценозов // Программа и методика биогеоценологических исследований. – М.: Наука, 1974. – С. 267–280.
7. Всесоюзная конференция по кадастру болот, 1934 г.

ANTHROPOGENIC IMPACT ASSESSMENT ON THE SWAMP ECOSYSTEM IN THE OIL-PRODUCING REGIONS (ILLUSTRATED NIZHNEVARTOVSK REGION OF KHANTY-MANSIYSK – UGRA)

E.I. Kovaleva

The protection and use wetlands problems of in the Russian Federation are discussed. The effect of oil production facilities (drilling sludge pits) on the marsh ecosystem of Nizhnevartovsk district Khanty-Mansiysk-Ugra is studied. The estimation of drilling sludge pits the impact on a typical oligotrophic peat soils, groundwater wetlands, water bodies are given. It was established the oil and chlorides migration from the drilling sludge pits to the environment.

МЕТОДИКА ПАЛЕОЭКОЛОГИИ ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

В. В. Конищук

Институт агроэкологии и природопользования Национальной академии аграрных наук
Украины, г. Киев, Украина, e-mail: konishchuk_vasyl@ukr.net

На общепринятых принципах предложена авторская методика и этапы реконструкции палеоэкологических условий торфяников. Представлены унифицированные подходы анализа водно-болотных, торфяных отложений без применения химических реактивов.

Введение. Палеоэкология как раздел палеонтологии изучает способ жизни и условия обитания организмов в геологическом прошлом, взаимоотношения между видами, группами, ценозами биоты и окружающей природной среды их обитания, анализирует особенности изменений экосистем в процессе исторического развития. Весомый вклад в становление, развитие палеоэкологии сделали Ковалевский В.О., Андрусов Н.И., Карпинский А.П., Долло Л., Абель О., Яковлев Н.Н., Геккер Р.Ф., Рихтер Р., Шеффер В., Иванова Е.А., Ефремов И.А., Колесников В.П., Осипова А.И., Давиташвили Л.Ш., Жерехин В.В., Лебедева Н.К., Зыкин В.С., Рослый И.М., Янин Б.Т. и другие [1–4].

Палеоэкологический метод актуален и приоритетен в условиях глобальных изменений среды. На основе реконструкции палеоэкоусловий природно-территориальных комплексов можно прогнозировать направления развития современных экосистем и избежать негативных факторов. В связи с интенсификацией изменений климата, активными процессами разложения отмерших останков, исследования органических осадочных пород четвертичного периода, водно-болотных и торфяных отложений обрели особенное внимание. Палеоэкология включает палеоаутэкологию (реконструкция способа жизни и условий обитания организмов, выяснение особенностей взаимодействий на уровне видов, групп между собой и окружающей средой), палеосинэкологию (палеобиоценотический анализ, специфика развития ископаемых сообществ), палеоэкосистемный анализ в пространстве и времени. В связи с этим исследования торфяных запасов имеет комплексный характер на стыке интересов природопользования и фундаментальных программ научного анализа.

Объекты и методы. Палеоэкологический метод торфа основан на изучении отмерших организмов, реконструкции закономерностей способа жизни биоты, морфофизиологическом анализе, биогеохимической оценке осадочных и других отложений. Поэтому главными объектами являются ископаемые останки организмов, некроценозы, следы жизнедеятельности видов биоты (палеоихнология), особенности погребения (тафономия), горные породы, минералы, окаменелости. С 30-ых годов XX столетия разрабатываются методы комплексных палеоэкологических и литологических исследований, которые

основаны на сравнительном анализе ориктоценозов донных организмов в пространстве и времени, выявлении закономерностей их распространения. Но здесь следует акцентировать внимание на разнородный характер условий седиментогенеза разных групп флоры и фауны. В определенных физико-химических анаэробных условиях в зависимости от структуры и состава организма разные виды сохранены по-разному, а некоторые разложились полностью или не идентифицируются.

Торф в большей своей части составлен из гидрофильной, гелофильной растительности, а именно – осок, сфагновых и гипновых мхов, рогоза, тростника и других видов флоры. Закономерно, что наиболее развит палеоботанический метод анализа торфа [5], который в свою очередь является одним из составляющих палеоэкологического анализа. Для химической промышленности, сельского хозяйства, медицины в определении группового состава органических веществ торфа используют методики Инсторфа, Драгунова, Бамбалова, Тюрина, Пономаревой-Николаевой, Кононовой-Бельчиковой, Ефимова-Васильковой, которые отличаются последовательностью определения отдельных групп органических веществ, а также составом и концентрацией применяемых химических реагентов. Все эти методики имеют цель прикладного использования торфа, ила, сапропеля на основе физико-химических свойств субстрата. Палеоэкологическое направление ориентировано на фундаментальные исследования условий формирования, развития, охрану торфяных экосистем.

Результаты исследования и обсуждение. В предложенной нами методике проведение палеоэкологического анализа торфяных и водно-болотных отложений состоит с нескольких этапов: подготовительный этап, рекогносцировка, экспериментально-полевой, камерально-лабораторный, аналитического моделирования.

1. Подготовка экспедиционных исследований. Анализируются библиографические источники, картографические материалы, данные аэрокосмического зондирования территории. Определяется цель, план, термин работ, мероприятия, ответственные исполнители; проводится инструктаж экспедиционной группы по технике безопасности. Комплектация приборами, материалами зависит от поставленных задач и объема работ. Экипировка, средства защиты, вспомогательные материалы определяются погодно-климатическими, природными условиями дислокации.

2. Рекогносцировка, физико-географическое описание территории. Схема описания болота, торфяника следующая: название, административное расположение, площадь, географическое и геоботаническое районирование, тип экосистемы, рельеф, погода и климат, почвы, гидрография, растительность, флора, фауна, антропогенное воздействие. Дополнительно приводится уровень трансформации, сукцессия, факторы воздействия

(эрозия, пожар, осушительная мелиорация, др.) на объект исследований. В полевой журнал записывается хозяйственное значение и использование объекта, например, торфокарьер, лес, пашня, пастбище, ягодник, территория природно-заповедного фонда.

3. Отбор проб. Приборы и материалы. Полевой журнал. Точки отбора определяются физико-географическими особенностями. Главный критерий – биостратиграфический принцип отбора в разнотипных фитоассоциациях или аквакомплексах. Закладывается система профилей (по ширине, длине) через разнотипные биогеоценозы и самую глубокую часть. В твердой фракции производится бурение, а в воде и илисто-донных отложениях образцы отбираются специальным цилиндром с пробкой. Для мезотрофных, эвтрофных, сильно обводненных болот используют бур Гиллера с закрывающимся челноком, а для подов, осушенных торфяников лучше применять бур конструкции «Инсторф», или почвенный бур, штик-лопату. Шурфы закладывают в разнотипных фитоассоциациях, на экотонах, на границе минерального берега.

Определяют природные условия, микрорельеф, степень влажности, растительность по доминантной классификации и эколого-флористической методике Браун-Бланке, видовой состав биоты. При обнаружении пнистости торфяных отложений шурф закладывают заново на расстоянии 1–2 м. Пробы отбирают поэтапно, от верхних слоев к минеральному дну через 10–20 см, объемом 50–100 см³. Образцы без примесей помещают в пластиковые виалы (или другую герметическую тару) и подписывают водостойким маркером, дублируя описание в полевом журнале. В точке бурения рекомендуется отобрать гербарий, пробы воды, дерн, очес, почву. Для водной экосистемы характеристику проводят по зонам (литораль, профундаль, пелагиаль, бенталь). Анализируются экологические группы современных гидроорганизмов (перифитон, планктон, плейстон, бентос) и отмершая биота (танатобиокомплекс, тофоценоз), слои боигенных отложений (ил, детрит, пелоген, сапропель, сапроколь) к донным породам (мел, мергель, агриллит, суглинистый песчаник).

4. Камерально-лабораторные исследования.

4.1. Общій визуальный анализ, идентификация типа отложений. Определяется тип отложений, например торф, ил, детрит, сапропель, конгломерат, осадочная порода (мел, мергель). Степень разложения субстрата определяется в два приема (полевой, камеральный) и в целом разделяют слабо, средне, сильно разложенную массу отобранного образца. Крупные органические и минеральные останки определяются и описываются при незначительной фоссилизации.

4.2. Экспресс-анализ физико-химических свойств. Без нарушения образца и его состава, определяется общая кислотность, масса, запах, цвет (по шкале Мунзелла), песчано-глинистые примеси, дисперсность, твердость, эластичность, структура (однородная,

зернистая, волокнистая, пористая) и др. При достаточном объеме (больше 500 см³) из части образца определяется гумус, зольность, абсолютный возраст по радиоуглеродному методу (C¹⁴) с использованием масс-спектрометрии.

4.3. Способ промывки проб. Подготовка препаратов. Приоритетны свежие, влажные образцы. Треть или половину пробы первичного состояния можно поместить как эталон в коллекцию для длительного хранения. Водно-болотные, торфяные отложения промывают дистиллированной водой с умеренным давлением (можно использовать электронный распылитель) над раковиной с сеткой от примесей. Промывание производят до прозрачной воды на нескольких металлических ситах (диаметр 250 мм с отверстиями 0,3–0,1 мм), на дне помещают планктонную сетку для задержки мелких микроорганизмов. Крупные определенные останки растений, песка, ракушек откладывают. Влажную промытую массу равномерно до эффекта просвечивания стеклянной палочкой наносят на стекло.

Площадь вначале разделяют на две, затем на четыре и восемь частей, с которых отбирают массу на предметное стекло размером 29х90 мм. Для анализа микроорганизмов (водорослей, беспозвоночных гидробионтов), спор, пыльцы применяют объективы с увеличением 100 и больше раз, используя покровные стекла 24х24 мм с иммерсионным маслом вверх. Для детальной идентификации диатомовых водорослей применяют кислотное очищение от карбонатного налета, а для некоторых беспозвоночных животных, сфагновых и других мхов используют цветное маркирование препарата, дополнительные светофильтры. В палеомикробиологическом анализе используют электронную микроскопию максимально оптимального увеличения.

4.4. Световая микроскопия. Подготовленные препараты устанавливают на предметный столик светового микроскопа и фиксируют предметное стекло. При усыхании препарата шприцом с иглой умеренно добавляется дистиллированная вода. Вначале устанавливается объектив минимального увеличения, настраивается резкость, выбирается светофильтр. Поле зрения площади предметного стекла принимается за 100 % и путем перемещения слева направо и сверху вниз просматривается до 10 полей зрения. На минимальном увеличении микроскопа или бинокля определяется палеоботанический состав высших сосудистых растений, отдельных родов мхов и лишайников.

Илистые, сапропелевые отложения, сильно разложившиеся останки идентифицируют на среднем, высоком оптическом или электронном увеличении микроскопа. По каждому полю зрения фиксируют идентифицированные виды, роды биоты с процентом видимого поля. Неопределенные останки описывают ассоциативно и также фиксируют в журнале. При этом используют атласы растительных останков торфа, атласы спор, пыльцы, своды изображений ископаемых, отмерших видов флоры и фауны, палеонтологические пособия.

Тип ископаемых отложений в торфе определяет не доминирующее количество останков органики, а материнская (автохтонная) фитоассоциация. Степень разложения непромытой субстанции под микроскопом определяют соотношением растительных останков, видимых остатков гидробионтов с клеточной структурой к бесструктурному гумифицированному веществу и выражается в процентах. Сухие пробы измельчают, заливают дистиллированной водой и нагревают, не доводя до кипения, с целью сохранения битумных, смолистых фрагментов.

4.5. Использование электронной камеры. Компьютерное обеспечение. Специальным креплением на микроскоп устанавливается цифровая камера и соединяется через USB-порт с системным блоком компьютера. К камере прилагается программное обеспечение с возможностью оперативной математической обработки изображений. Приемлемы камеры с раздельной способностью 10 и больше мегапикселей. Операционные системы должны иметь графические редакторы, оперативную память 2 гигабайта и больше. Цифровые снимки идентифицированных видов палеоботаники сохраняются в базе данных с целью формирования обновляемого электронного атласа.

5. Реконструкция палеоэкоусловий через идентификацию определенных видов. Воспроизведение экоусловий прошлых геологических периодов частично условно с вероятностью нескольких приближенных вариантов. При фиксации спор и пыльцы нужно обязательно учитывать фактор занесения нетипичных видов, кроме этого пыльца и споры разных растений имеют отличающуюся летучесть, степень разложения, эффект перекрытия фитошаров (принцип сворачивания растительного дерна, ветоши, очеса в процессе заболачивания).

Выявленный комплекс остатков сосудистых растений, кустарников, деревьев дает возможность смоделировать растительный покров и реконструировать почвенно-климатические, гидрологические условия. Отдельные гидробионты, сохранившиеся в торфе, как индикаторы подтверждают соленость, низкие температуры, карбонатную среду и др. Палеоэкологическая реконструкция включает несколько основных этапов: определение качественного состояния останков организмов (рецептные, субрецептные, субфосильные, фосильные); определение зоны жизнедеятельности организмов и захоронения их останков (бентос, нектон, планктон, биоценоз, танатоценоз, тафоценоз); определение генезиса останков (автохтон, аллохтон, антропоген, др.); сопоставление возраста и современных периодов развития видов, ценозов, экосистем; общая оценка биохимических закономерностей, физико-географических условий на основе индикационных свойств видов по аналогии их современников; обоснование рабочей гипотезы, выводы.

б. *Хранение образцов. Торфотека.* Пробы водно-болотных, торфяных отложений хранят в герметических пластиковых виалах в помещении с воздушно-сухим состоянием. По шурфам образцы группируют в пластиковые герметические контейнеры с этикетками. Ведется кадастр, информационно-регистрационный журнал. Промытые пробы без химических реагентов сохраняются лучше. Контейнеры коллекционных образцов в комнате целесообразно помещать в металлические шкафы с вентиляционными отверстиями. В торфотеке должны быть огнетушитель, водоснабжение, электроэнергия, вытяжка. Кроме общей информации указывается ответственный сотрудник за коллекцию, правила техники безопасности, нормы поведения, каталог.

Заключение. Предложенная схема палеоэкологического анализа водно-болотных, торфяных отложений проста в использовании, может быть дополнена и усовершенствована в зависимости от поставленных задач. Фактический материал отобранных проб хранящейся в торфотеке является доказательной базой тех или иных заключений особенностей развития водно-болотного комплекса, может быть использован для дальнейших исследований не только болотоведами (гелологами), но и аграриями, агрохимиками, ботаниками (в частности альгологами), зоологами, геологами, палеонтологами. Много торфяников, болот утеряно безвозвратно и рекультивацией, реабилитацией их первобытность не вернуть. Поэтому, на торфоразработках, карьерах приоритетно отбирать образцы для торфотек и палеоэкологического анализа. Очень важно в будущем иметь комплексную базу данных торфяных отложений разных географических районов с целью систематизации научных исследований, определения глобальной концепции сбалансированного (устойчивого) развития, использования, частичного возобновления, охраны ценных водно-болотных угодий, торфяников.

Список литературы

1. Геккер Р.Ф. Наставление для исследований по палеоэкологии. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 43 с.
2. Нейштад М.И. Методы исследования торфяных болот. Полевое исследование. Ч.1. – Москва, 1939. – 171 с., Ч.2. – Москва, 1939. – 320 с.
3. Палеопалинология / Под ред. И.М. Покровской. – Л.: Недра, 1966. – Т.1. – 351 с.
4. Янин Б.Т. Терминологический словарь по палеонтологии (палеоихнология, палеоэкология, тафономия). – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 136 с.
5. Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения. ГОСТ 28245-89. – Госкомстандарт СССР, 1989. – 10 с.

PALEOECOLOGY METHOD OF THE PEAT SEDIMENTATIONS

V. V. Konishchuk

On standard principle is offered author's methods and stages to reconstructions paleoecology conditions peatlands. Unified approaches of the analysis wetland & peat sedimentations without using chemical reagents presented.

ПРОДУКТИВНОСТЬ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Н.П. Косых

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, kosykh@mail.ru

Рассмотрены особенности биологической продуктивности болотных экосистем в разных зонах (подзонах) Западной Сибири. Выявлена зависимость продукционного процесса от климатических изменений по широтному градиенту Западной Сибири. Разные типы экосистем изменяются в зависимости от климата, питания, топографии и определяют запасы мортмассы, фитомассы и продукция. Продукция разных типов экосистем увеличивается с севера на юг Западной Сибири, а запасы мортмассы уменьшаются.

Четверть территории Западной Сибири занято болотами. Преобладающие плавные мягкие формы рельефа и климатические условия позволяют болотам не только существовать, но и активно развиваться как на водоразделах, так и в долинах больших и малых рек. Роль климата очень существенна в северных районах, где при малой мощности деятельного слоя глубина сезонного промерзания и оттаивания грунтов оказывает основное влияние на разнообразие болотных экосистем. Количество тепла и влаги, необходимое для формирования биологической продуктивности болотных экосистем имеет наибольшее влияние в современных условиях. На севере для образования растительного покрова наибольшее значение имеет тепло, на юге – лимитирующим фактором формирования является влага.

Анализ биологической продуктивности растительных сообществ болотных экосистем показывает зависимость от климатических условий подзон Западной Сибири. Оптимальное количество тепла и влаги для развития болотных систем имеет зона тайги, причем наиболее благоприятные условия в средней тайге. При продвижении на север с понижением среднесезонных температур и наличием многолетней мерзлоты изменяется биологическая продуктивность одних и тех же болотных экосистем, уменьшается площадь некоторых болотных сообществ и появляются другие типы болот, таких как плоскобугристые и полигональные. При продвижении на юг болота увеличивают свою продуктивность, но начинают уменьшать свой ареал распространения и в лесостепи олиготрофные болота (рямы) занимают незначительные участки. Важно на территории Западной Сибири выявить современную биологическую продуктивность болотных экосистем в зависимости от климатических условий, микротопографии, трофности экосистем и состава растительных сообществ в олиготрофных, мезотрофных и евтрофных болотах.

Для средней тайги характерно наибольшее развитие болот, площадь их достигает 34 %, а в отдельных регионах (Сургутское полесье) и 80 % (Лисс и др., 2001). Несмотря на невысокие среднегодовые показатели температуры, в средней тайге достаточное выпадение

осадков приводит к наиболее благоприятным условиям развития болот. Очевидно, что среднегодовая температура имеет положительное значение только в подзоне южной тайги и лесостепи, в подзонах средней и северной тайги она составляет $-1,3$ °С и $-4,5$ °С, минимальные среднегодовые температуры отмечены в лесотундре $-7,4$ °С. Наибольшее количество осадков в течение года выпадает в подзоне средней тайги. Максимум осадков приходится на осенне-летний период. По теплообеспеченности и по увлажнению годы наблюдения не имели существенных отличий от среднемноголетних.

Болота являются индикаторами процессов изменения климата и сами играют в этом процессе большую роль, определяя баланс парниковых газов в атмосфере. Исследование болот в последние годы приобрело особую актуальность, что связано с пониманием большой роли болот в цикле углерода и, следовательно, в поддержании стабильности биосферы в условиях нарастающего изменения климата. В связи с многолетними исследованиями продуктивности торфяных олиготрофных болот во всех зонах (за исключением полигональных болот тундровой зоны в Западной Сибири) особый интерес представляют их сравнительные характеристики.

Для сравнения были взяты следующие количественные параметры биологической продуктивности болотных экосистем в деятельном слое до 30 см: запас мортмассы, фитомассы, чистая первичная продукция и отношение мортмассы к продукции. Для определения биологической продуктивности отбор проб произведен в наиболее типичных его участках с учетом характера микрорельефа. Рассмотренные нами параметры биологических процессов позволяют дать количественную оценку функционирования болотных экосистем лесотундры, северной, средней и южной тайги и лесостепи. Особенности функционирования болотных экосистем оценены на пяти ключевых участках, расположенных в лесотундре, северной, средней, южной тайге и лесостепи.

Первый ключевой участок располагается в зоне лесотундры, междуречье Ныда и Надыма, восточнее г. Пангоды ($65^{\circ}52' \text{ N}$, $74^{\circ}58' \text{ E}$). В зоне северной тайги, ключевой участок расположен на водоразделе Сибирских Увалов ($65^{\circ}52' \text{ N}$, $74^{\circ} 58' \text{ E}$), отличается наличием плоскобугристых болот и мерзлых бугров. Третий ключевой участок находится в зоне средней тайги на междуречье Оби и Иртыша, в 65 км восточнее г. Ханты-Мансийска ($60^{\circ}59' \text{ N}$, $70^{\circ}10' \text{ E}$) и отличается большим разнообразием болотных экосистем и отсутствием многолетней мерзлоты. Четвертый ключевой участок располагается в зоне южной тайги на восточных отрогах Большого Васюганского болота.

В зоне лесостепи среди низинных осоковых болот распространены рямы ($55^{\circ}25' \text{ с.ш.}; 79^{\circ}04' \text{ в.д.}$), болота островного типа, которые имеют характерную для лесостепи комплексную структуру с хорошо выраженной приподнятой центральной частью и

периферией. Центральная часть занята сосново-кустарничково-сфагновым сообществом, а вокруг озера в центре располагается разнотравно-осоково-сфагновая мезотрофная сплавина. В северной тайге и лесотундре наибольшего распространения достигают разновидности бугристо-грядово-мочажинных комплексов, экосистемы мезотрофных болот по долинам рек, рямы и грядово-мочажинные комплексы. В средней и южной тайге в пределах крупных болотных массивов широко распространены олиготрофные грядово-мочажинные комплексы, обычно занимающие центральные и средние части массива. В центральной части развито множество крупных озер, поэтому эти комплексы можно назвать грядово-мочажинно-озерковыми. На небольших верховых торфяниках и по периферии крупных болотных массивов расположены сосново-кустарничково-сфагновые, кустарничково-сфагновые сообщества на повышенных элементах рельефа в грядово-мочажинных комплексах и рямах.

Таким образом, во всех подзонах были обследованы следующие экосистемы: рямы и гряды с сосново-кустарничково-сфагновым сообществом, олиготрофные мочажины с пушицево-сфагновыми и осоково-сфагновыми сообществами, мезотрофные мочажины осоково-сфагновыми сообществами. В северной тайге распространены мерзлые бугры с кустарничково-лишайниково-сфагновыми сообществами. Одинаковые типы экосистем разных подзон позволяют оценить влияние изменения климата на продуктивность болотных экосистем. *Гряды и рямы* представляют собой превышения относительно среднего уровня болота, высотой 0,5–1,0 м, которые покрыты сосново-кустарничково-сфагновыми или кустарничково-сфагновыми сообществами. Древесный ярус редкий, образован сосной, высота которой не более 5 м. На грядах олиготрофных комплексов выражен ярус из зарослей кустарничков – карликовой березы (*Betula nana*), багульника (*Ledum palustre*), кассандры (*Chamaedaphne calyculata*), подбела (*Andromeda polifolia*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), а из травянистых растений – пушицы (*Eriophorum vaginatum*) и морошки (*Rubus chamaemorus*). Довольно много клюквы (*Oxycoccus palustris*, *O. microcarpus*). В моховом ярусе господствует *Sphagnum fuscum*, занимающий возвышенные части гряд. В моховом покрове незначительная примесь *Sphagnum magellanicum*, *S. angustifolium* или *S. balticum*. У оснований сфагновых гряд и в понижениях между ними растёт *Cladonia stellaris*, *Cladonia stygia*, *C. rangiferina*.

Высота бугров варьирует от 1 до 3 м. На буграх близость мерзлоты определяет доминирование лишайников. Кустарничковый ярус составляют *Ledum decumbens*, *Betula nana*. Редкий древесный ярус чаще всего представлен кедром. Причем наряду со старыми кедром с диаметром до 50 см, встречаются молодые кедром, с диаметром ствола 10–20 см. О возрасте мерзлых бугров можно судить по произрастающим на них кедром. Наличие довольно крупных для болота кедром диаметром до 50 см указывает на то, что мерзлые бугры являются довольно устойчивыми образованиями. На высоких буграх *Cladonia stellaris*,

Cladonia stygia, *C. rangiferina* могут занимать выположенные верхние части. Из зеленых мхов часто можно встретить *Pleurozium schreberi*.

В комплексе с грядами и буграми расположены мочажины, которые заняты сфагновыми, осоково-сфагновыми и сфагново-пушицевыми сообществами. Олиготрофные мочажины более обводнены и являются переходными к дистрофным озеркам. Они заняты осоковыми и пушицевыми сообществами. Доминируют *Eriophorum russeolum*, *Carex limosa*, *C. magellanica*. В моховом ярусе сплошной покров образуют *Sphagnum balticum*, *S. lindbergii*, которые создают буро-зеленый аспект. В местах выхода метана моховой ярус – разреженный с пятнами оголенного разлагающегося торфа или с пятнами, покрытыми слоем водорослей. Наблюдаются как сильно обводненные мочажины с доминированием *Sphagnum lindbergii*, *S. balticum*, переходящие в озера, так и мочажины с преобладанием *Sphagnum majus*, *S. angustifolium*, *S. fallax*, часто образующие сплавины возле озер и проточные мезотрофные топи. Мочажины – это микропонижения относительно среднего уровня болот, с болотными водами на поверхности или чуть ниже. Мезотрофные мочажины заняты осоково-сфагновыми сообществами. Здесь встречаются *Carex rostrata*, *C. lasiocarpa*, *C. pauciflora*, *C. limosa*, *Eriophorum vaginatum*, *E. russeolum*, *E. polystachion*. В моховом ярусе – сплошной покров образуют *Sphagnum angustifolium*, *S. jensenii* и *S. riparium*.

Результаты проведенного наземного исследования на всех участках выявили важные качественные и количественные различия в растительном веществе. Общие запасы растительного вещества или общая биомасса (фитомасса + мортмасса) болот изменяется от 6000 до 18258 г/м², увеличиваясь с юга на север. Близки общие запасы кустарничково-зеленомошно-лишайниковых сообществ лесотундры и водоразделов северной тайги. Минимальные запасы растительного вещества отмечены для рямов лесостепи и составляют 6200 г/м². Мертвое растительное вещество составляет 60–90 % от общего запаса растительного вещества. Преобладание мортмассы над живым растительным веществом отмечается для всех болотных экосистем.

Выполненная работа показывает, что особенностью биологического круговорота в болотных экосистемах является продолжительное задерживание поглощенных химических элементов в растительном веществе. По этой причине общая масса растительного вещества в деятельном слое в болотных фитоценозах в 6–14 раз больше массы прироста. Замедленность движения масс в системе биологического круговорота в болотных экосистемах усиливается тем, что основная часть биомассы (около 80–90 %) находится в торфе, и отмирающие части сфагновых мхов задерживаются в толще, образуя обильную сфагновую подстилку. Преобладание мортмассы над живой частью растительности говорит о замедленном разложении растительных остатков. Вклад надземной мортмассы в общий ее запас

составляет всего 5–10 % и в основном образуется из ветоши и подстилки сосудистых растений. Причем запас ветоши осок и пушиц в олиготрофных мочажинах преобладает над запасом надземной подстилки из-за быстрого ее разложения и минерализации.

К факторам, влияющим на величину накопления мортмассы, можно отнести низкие температуры и близость мерзлоты, которая регистрируется на глубине 40–50 см. Живое растительное вещество или фитомасса в болотных экосистемах изменяется 600 до 4143 г/м², зависит от экосистемы и не зависит от зоны (подзоны). Минимальные запасы живого растительного вещества отмечаются в осоковых болотах равнинной части лесостепи (1680 г/м²) и. На пониженных участках рельефа в олиготрофных и мезотрофных мочажинах большая часть фитомассы (88 %) создается подземными органами осок, значительная часть которых представлена узлами кущения и корневищами, на повышенных – корнями и стволиками кустарничков. Годовая чистая первичная продукция варьирует от 200 до 1010 гС/м²/год (южная тайга), от 294 до 588 гС/м²/год (средняя тайга) и от 116 до 256 гС/м²/год (северная тайга) в разных экосистемах в период исследований на ключевых участках в пределах таежной зоны. При этом продукция топяных экосистем и гряд болотного массива в условиях средней тайги мало меняется по годам.

Отличается высокой изменчивостью общего запаса фитомассы и чистой первичной продукции мерзлые болота северной тайги. Структура фитомассы сообществ болотного массива северной тайги (рям, узкие гряды и бугры) отличается преобладанием побегов кустарничков и кустарничков, а осоково-сфагновые мочажины и топи – корней трав, преимущественно осок. На мерзлых буграх ключевого участка соотношение побегов и подземных органов кустарничков и кустарничков выравнивается.

Чистая первичная продукция болот составляет от 300 до 1285 г/м² в год и определяется составом растительного сообщества, болотной экосистемой и зоной. Продукция достигает максимальной величины из-за дополнительного притока питательных веществ в мезотрофных мочажинах. Продукция подземной фитомассы составляет 80 % от общей продукции и создается, в основном, подземными органами осок. Продукция мхов не превышает 10–12 %.

На водоразделе Западной Сибири в осоковых низинных болотах лесостепи продукция может иметь наибольшую величину – 2800 г/м² в год (Вагина, Шатохина, 1976). На болотах лесотундры продукция изменяется от 380 г/м² в год до 870 г/м² в год. Наибольшей величины достигает в хасырях мезотрофных мочажин, минимальной продукции – на мерзлых буграх. Высокую продукцию обеспечивает доминирование осок в растительном сообществе мезотрофных болот.

Анализ полученных величин запаса фитомассы, мортмассы и продукции растительного вещества показывает, что при высокой величине запасов растительного вещества большая доля мортмассы определяется близостью мерзлоты, что сближает болота высокогорий с болотами лесотундры, а величина продукции (NPP) зависят от климатических условий и типа экосистемы. Количество живой фитомассы определяется типом экосистемы, растительным сообществом, трофностью и изменяется от 500 до 4143 г/м² и не зависит от климатических условий. Отношение мортмассы к первичной продукции отражает скорость круговорота мортмассы и показывает, что средняя скорость круговорота мортмассы в экосистемах болот и ускоряется с продвижением на юг. Максимально замедленный круговорот мортмассы отмечается на мерзлых буграх лесотундры, где круговорот замедляется до 45 лет. Полученные количественные данные продукционного процесса в разных болотных экосистемах показывают более высокие величины продукции в наиболее богатых болотных системах, что в свою очередь приводит к ускорению круговорота мортмассы по сравнению с олиготрофными комплексами. Запасы живой фитомассы зависят от типа экосистемы и не зависят от зоны.

Полученные экспериментальные данные показывают, что более мягкие климатические условия средней и южной тайги способствовали вовлечению в биологический круговорот значительно большего количества углерода по сравнению с северной тайгой и лесотундрой. В соответствии с этим все показатели углеродного баланса болотного массива в средне- и южнотаежных ключевых участках оказались выше аналогичных показателей болотных экосистем ключевого участка северной тайги и лесотундры. На основе полевых наземных исследований и данных, полученных с помощью дистанционных технологий, впервые комплексно обоснована биосферная климаторегулирующая функция болотного покрова Западной Сибири и установлено большое значение обширных болотных массивов Западной Сибири не только как источника парниковых газов, но и как стоков углекислоты и резервуаров углерода.

THE PRODUCTIVITY OF WETLAND ECOSYSTEMS OF WESTERN SIBERIA

N.P. Kosykh

Define biological productivity of wetland ecosystems in different sub-zones in Western Siberia. A dependency of the production process of climatic changes on gradient of Western Siberia. Different types of ecosystems vary depending on climate, trophy, topography and shape stocks of mortmass, phytomass and production. Production of different types of ecosystems, increases from North to the South of West Siberia, and stocks of mortmass – decreases.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПОЛИСТОВО-ЛОВАТСКОГО БОЛОТНОГО МАССИВА, 2011

М.И. Мартынова (Крыжевич)*, П.С. Зубкова**, Г.В. Шипкова*

* Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, e-mail: maymars@mail.ru

** Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
e-mail: sandra-arven@mail.ru

В статье представлены результаты физико-географических исследований юго-западной части Полистово-Ловатского болотного массива, которые являются продолжением исследований региона прошлых лет. Дана историческая справка, рассмотрены данные профилирования, изучения продуктивности клюквы, отбора проб растений, почв, торфа, донных отложений, воды для анализа содержания метана, некоторых микро- и макроэлементов.

Введение. Ландшафты Полистово-Ловатского болотного массива и прилегающих территорий уникальны своим переходным характером и весьма слабым антропогенным преобразованием, в особенности после образования сети ООПТ в 90-е годы прошлого века и в настоящее время. Основу территории составляют верховые болота, на окраинах обычны переходные болота и леса, значительная часть которых также заболочена. Система состоит из 15 слившихся олиготрофных болотных массивов и относится к Ладожско-Ильменско-Западнодвинской провинции олиготрофных грядово-мочажинных болот зоны выпуклых олиготрофных торфяников [1].

Через оз. Цевло, р. Цевлу, оз. Полисто и р. Полисть проходил водный путь в оз. Ильмень. В XIX в. оз. Полисто выполняло роль запасного водохранилища, а р. Полисть – водопровода для солеваренного завода в г. Старая Русса. Был устроен шлюз на р. Полисть, что в свое время вызвало поднятие уровня грунтовых вод и дополнительное заболачивание [2]. По восточному берегу оз. Полисто и берегам р. Полисть еще в прошлом веке находились деревни и погосты, существовали дворянские усадьбы.

Полноценные научные исследования Полистово-Ловатской болотной системы были начаты в начале XX в. в западной (наиболее доступной) ее части – исследования В.Н. Сукачева, С.М. Филатова, А.Р. Какса, Р.И. Аболина (1909–1915 гг.).

После 1917 г. в окрестностях болотного массива были организованы льноводческие, животноводческие и плодоовощные производственные товарищества, работали сельскохозяйственные коммуны. Начался отток населения из глубинных районов болотного массива, тем самым снизилась антропогенная нагрузка. В 20-е годы XX в. были организованы обширные работы по нивелировке болот (вследствие затяжного голода) на правобережье р. Полисти по спрямлению и углублению речного русла. Проводились геоботанические исследования Луговым институтом. Исследованием болот левобережья руководила З. Н. Смирнова, материалы которой были утрачены во время Великой

Отечественной войны. Работы на правом берегу возглавляла И. Д. Богдановская-Гиенэф, по итогам которых была опубликована классическая монография по верховым болотам [3].

Новый этап антропогенного воздействия был связан с освоением Полистовского месторождений торфа с промышленными запасами 2054 км² [4]. Было создано два торфопредприятия: «Полистовское-1» (пос. Цевло) и «Полистовское-2» (пос. Городовик), начался приток населения в регион. Однако из-за последующего решения использовать на Псковской ГРЭС в качестве топлива природный газ, торфоразработки были прекращены. Выработка торфяной залежи юго-западной части массива привела к деградации части болотной системы. Мелиорация повлияла на уровенный режим водоемов, изменение водных запасов, водообмен территории. Оз. Цевло стало интенсивно зарастать, а р. Цевла обмелела. Продолжающееся обмеление и зарастание озер, развивающиеся негативные социально-экономические процессы сделали эту местность в современных условиях экономически малопривлекательной своей слабодоступностью и малонаселенностью.

Объекты и методы. Данное исследование продолжает серию работ ЮФУ, других вузов и научно-исследовательских организаций России. В основу работы положен фактический материал, собранный сотрудниками кафедры физической географии, экологии и охраны природы Южного федерального университета (Ростов-на-Дону) в период 2007–2011 гг. в юго-западной части Полистово-Ловатской болотной системы. Исследования заключались в заложении системы физико-географических профилей (табл. 1), с ключевыми участками, отборе проб растений (*Ledum palustre* L.), почв, торфа, донных отложений и воды для анализа содержания метана, некоторых макроэлементов и тяжелых металлов, а также определения потоков метана. Изучалась продуктивность клюквы в различных типах природных комплексов болотного массива, выявлялись закономерности восстановления ресурсов ягодников при смене типов природопользования.

Таблица 1

Количество профилей, заложенное в пределах разных типов природных комплексов Полистовского заповедника и его окрестностей ([5], с дополнениями)

Типы ПК	2007	2008	2009	2010	2011
Лесные и луговые ландшафты	3	3	2	3	–
Лесо-болотные ландшафты	2	2	2	2	2
Водно-болотные ландшафты	2	3	6	4	3

В настоящее время основные виды воздействия на территорию, прилегающую к заповеднику, условно можно разделить на *линейные* (дороги, искусственные водные пути, мелиоративная сеть, ЛЭП) и *площадные* (нежилые и жилые деревни; торфоразработки; бывшие сельхозугодья; территории, некогда находившиеся под сплошными и выборочными

рубками леса; последствия пожаров, сбора грибов, ягод, охоты, рыболовства). Пашни и сенокосы локально имели место либо до заповедания, либо фрагментарно остаются на соседней территории. В пос. Цевло можно увидеть несколько кабин от самоходных узкоколейных электростанций (ЭСУ2а) и тепловозов (ТУ6А), торфобрикетный завод был разрушен, нежилые и производственные здания разбираются на кирпич. В 1997–1998 гг. участки железной дороги и заброшенные поля торфодобычи были переданы из муниципальной собственности вновь образованному Бежаницкому торфопредприятию, которое намеревалось восстановить добычу торфа, однако этого не произошло.

Было продолжено заложение сети профилей и ключевых участков на территориях, ранее вовлеченных в исследования прошлых лет (рис. 1). Особенно интересно сравнение территорий, ранее использовавшихся в хозяйственной деятельности человека, в частности районов, сопредельных торфоразработкам 1980-х гг., и территорий, находящихся в глубине.



Рисунок 1. Географическое положение одного из участков исследований в пределах заброшенных торфоразработок конца XX в., 2009–2011

Профилирование проводилось по классической методике через неровности рельефа, сочетания различных типов почвенных условий и растительных сообществ. На ключевых участках фиксировались состояние и динамика природных комплексов, лесотаксационные характеристики (высота, диаметр, возраст, бонитет, полнота, жизненное состояние и пр.), а также экологические нарушения (ветровал, сухостой, пожар, антропогенные воздействия). Далее были выявлены закономерности протекания природных процессов [6].

Методы мелиорации здесь были основаны на регулировании оттока грунтовых вод и поддержание оптимальной влажности почв, на ограждение от поступающих извне на осушаемый участок грунтовых вод или снижение их напора. В системе до сих пор

прослеживаются магистральные каналы, открытые осушители (ложбины, борозды), защитные валы. В настоящее время глубина открытых борозд значима – 80–160 см, они хорошо сохранили исходную трапециевидную форму, имеют высокую крутизну откоса, от чего зависит их действенная пропускная способность. Частота расположения существующих мелиоративных элементов варьируется от близости положения местности к открытым водоемам, уклонов местности, степени вовлеченности в антропогенное использование.

В пределах ключевых участков закладывались пробные площадки (1 м²) для определения ресурсных показателей клюквы (запаса зеленой массы, коэффициента урожайности зеленой массы). Подсчитывалось количество товарных побегов клюквы (молодые и повреждённые растения не учитывались), затем собиралась вся сырьевая фитомасса и взвешивалась. Определялись проективное покрытие (%), морфометрические показатели растения. Запас зелёной массы (Y) рассчитывался по формуле $Y = S_{\text{проективного покрытия}} * (m \pm 2 \%m)$, где m – масса, 2 %m – ошибка среднего арифметического, S – площадь исследуемой территории. Коэффициент урожайности зелёной массы (K) клюквы определялся по формуле: $K = S_{\text{проективного покрытия}} * 0,01 (Q * q)$, где Q – сумма количества побегов, q – среднее количество листьев, S – площадь исследуемой территории [6].

Биогеохимические исследования заключались в изучении содержания метана, макроэлементов, микроэлементов (Cu, Zn, Mn, Fe) в растениях, воде, почвах, донных отложениях, а также определении потоков метана в атмосферу. Анализ содержания микроэлементов в растениях (*Ledum palustre* L.) проводился с помощью метода атомно-абсорбционной спектроскопии [7]. Подготовленные пробы анализировались на содержание микроэлементов на атомно-абсорбционном спектрофотометре марки «NOVAA 300».

Содержание и потоки метана исследовали по методике, описанной в работах [8]. Для химического анализа почвы и донные отложения отбирали послойно, в частности, на ртуть – по модифицированной методике отбора и подготовки проб.

Результаты исследования и обсуждение. Территория съемки расположена в 1,5 км к северо-западу от пос. Цевло и не относится к охранной зоне ООПТ, хотя и представляет значимый научный интерес. Именно здесь проходит узкоколеечная железная дорога, до сих пор используемая местными жителями для посещения дальних участков болота. Природные комплексы здесь во многом преобразованы, в центральной части профиля находится железнодорожная насыпь, по обе стороны – участки, в настоящее время используемые как сенокосы, пастбища, территории вторичного лесопользования. Четко фиксируется понижение рельефа и смена природных комплексов к оз. Цевельскому. Отмечаются следы низового пожара, в том числе и свежие, обнажения торфа, повсеместное (кроме растительности непосредственно у канав) угнетение сфагнума, клюквы (рис. 2, 3).



А-Л, I-2, 1)-5), 1-12, I-VII, A-F – обозначения растительности, почв, характера склона, фаций, подурочищ и урочищ, соответственно

Рисунок 2. Ландшафтный профиль №1, проложенный в 1,0 км к юго-востоку от оз. Цевло, июнь 2011 г.

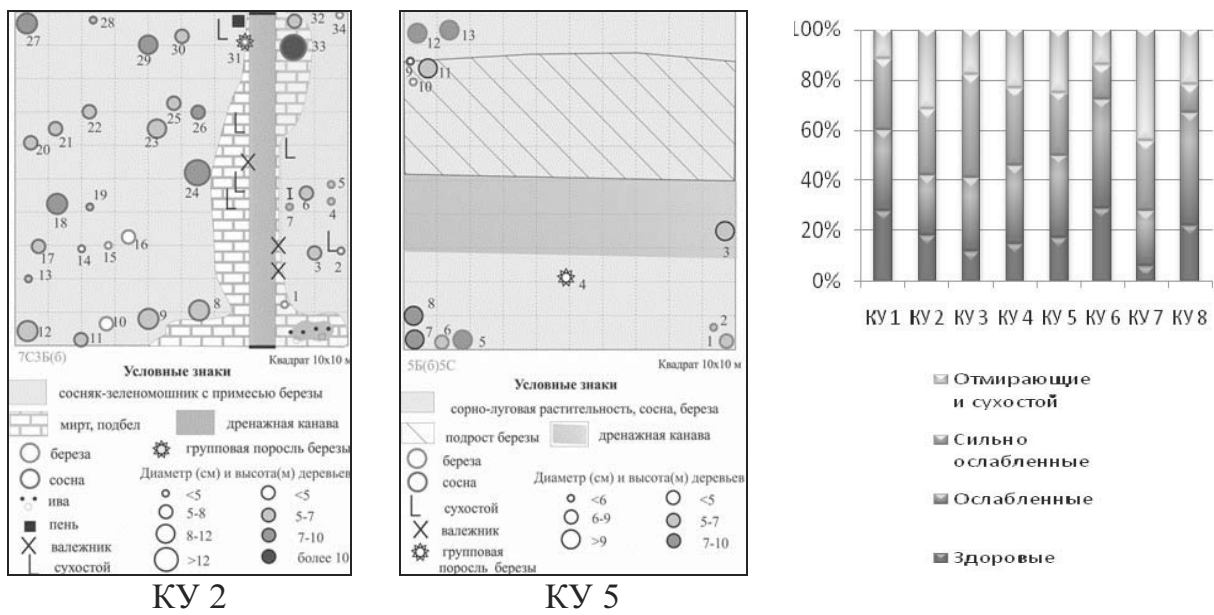


Рисунок 3. Разнородность ключевых участков физико-географического профиля №1 на примере КУ 2, 5 и классов экологического состояния древостоя КУ 1-8, 2011

Участок значимо антропогенно преобразован. Основу ландшафтов составляет переход от низинных болотных и сырых луговых к антропогенно преобразованным верховым болотам, поросшим, преимущественно сосной обыкновенной. Интересны четкие переходы од одних комплексов к другим, являющие собой сочетание смены гипсометрии и частоты осушительных мелиоративных элементов. Значительная часть территории проложения профиля затронута низовым пожаром. По сравнению с прошлыми годами ключевые участки – более сухие, проективное покрытие клюквы и сфагнума уменьшилось, а

зеленого мха несколько возросло. В последние годы проводились биогеохимические исследования, в частности содержания некоторых микроэлементов (Cu, Zn, Mn, Fe), результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Концентрации Cu, Zn, Mn, Fe в растениях *Ledum palustre* L. (мг/кг), июнь 2011 г.

№ пробы	Cu	Zn	Mn	Fe
1	3.67	13.55	88.15	8.41
3	4.14	13.80	78.25	11.41
5	3.63	14.35	106.25	19.21
6	4.78	18.80	164.50	23.45
7	3.95	17.25	133.60	18.50
8	4.77	16.40	61.55	45.25

Полученные концентрации микроэлементов по обобщенным данным для многих видов являются достаточными или нормальными [9].

Заключение. Будучи наименее нарушенными геосистемами болота, в особенности охраняемых природных территорий, являются важнейшим звеном экологического каркаса территории, создают благоприятные условия для воспроизводства биологических ресурсов, что исключительно важно для регионов европейской территории России.

Список литературы

1. Кац Н.Ю. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. – М., 1948. – 320с.
2. Лесненко В.К. Псковские озера. – Л., 1988.
3. Богдановская-Гиенеш И.Д. Закономерности формирования сфагновых болот на примере Полистово-Ловатского болотного массива. – М., 1969.
4. Кузьмин Г.Ф. Торфяные ресурсы Северо-Западной России и их использование. – СПб., 1997. – 148 с.
5. Мартынова М.И. Геосистемы Полистово-Ловатского болотного массива как составляющая экологического каркаса территории: особенности изучения и охраны // Географические основы формирования экологических сетей в России и Восточной Европе. – Новгород-Валдай, 2011.
6. Мартынова М.И., Яблоков М.С., Шиткова Г.В., Михайлова Е.А. Современные природные комплексы окраинных лесов Полистово-Ловатского болотного массива // Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2010.– №2. – С. 127–130.
7. Опекунова М.Г., Арестова И.Ю., Елсукова Е.Ю. Методы физико-химического анализа почв и растений: Методические указания. – СПб., 2002. – С. 48–51.
8. Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Хромов М.И. Эмиссия метана с торфяных залежей Иласского болотного массива Архангельской области // Изв. РГО. – 2008. – Т.140. – Вып. 5.
9. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М., 1989. – С. 92.

STUDIES OF SOUTH-WESTERN POLISTOVO-LOVAT BOG, 2011

M.Y. Martynova (Kryzhevich), P.S. Zubkova, G.V. Shipkova

The paper is devoted to the results of southwestern Polistovo-Lovat bog physico-geographical studies. Research represents historical information, cranberry productivity studies, plant, soil, peat, sediment, water samples.

ТОРФЯНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Г. В. Наумова, А. Э. Томсон, Н.А. Жмакова, Т.Ф. Овчинникова, Н.Л. Макарова

Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь,
e-mail: zhmakova@mail.ru

Приведены сведения о распространении торфяных месторождений в различных регионах Земли и особенностей их формирования в зависимости от природных факторов. Отражены современные научные представления о роли верховых торфяных месторождений в биосферных процессах и основные критерии их отбора для создания на территории Беларуси заказников, заповедников, резерватов ценного торфяного сырья.

Торфяные месторождения занимают значительные пространства на нашей планете, площадь торфяных месторождений различных стран мира составляет более 500 млн. га [1]. При этом самые большие площади торфяных месторождений сосредоточены в России – более 240 млн. га и в Канаде – 170 млн. га. Значительные территории занимают торфяные месторождения в США – около 40 млн. га, из них 30 га – на Аляске. Большие площади заняты торфяниками в Индонезии (26 млн. га), Финляндии (10 млн. га), Швеции (7 млн. га), а в таких странах, как Китай, Норвегия, Малайзия этот показатель снижается соответственно с 3,5 до 3,0 и 2,4 млн. га. В пределах 1 млн. га составляют заболоченные площади в Исландии, несколько больше в Ирландии – 1,2, Польше – 1,35, Германии – 1,66 и в Великобритании – 1,68 млн. га. На Кубе торфяные месторождения расположены на площади 0,5 млн. га, еще меньше их площади в Японии – 0,2 млн. га. В таких европейских странах, как Дания, Италия, Венгрия, Югославия, Франция торфяные площади составляют не более 0,1 млн. га, а в Болгарии – всего 0,001 млн. га.

Таким образом, торфяные месторождения встречаются на всех континентах Земли, охватывая большинство стран мира, расположенных в различных климатических зонах. Известно, что погребенные залежи торфа обнаружены даже в Гренландии и на островах Антарктиды.

Однако наибольшее количество торфяных месторождений сосредоточено в Северном полушарии, в зонах с умеренным климатом, где сложились наиболее благоприятные условия для интенсивного торфообразования и торфонакопления: преобладание осадков над испарением, соотношение тепла и влаги, формы рельефа и др. [2]. В Северном полушарии находится более 80 % всех мировых ресурсов торфа. При этом самыми крупными и наиболее мощными по запасам являются месторождения верхового типа, а заторфованность территории в местах их размещения достигает максимальных величин. Так, в Западной Сибири заторфованность территории, в основном за счет месторождений верхового торфа, достигает 50 %, в Финляндии – более 30 %, в Беларуси – 14 %. Охватывая Западную Сибирь, месторождения верхового торфа простираются в Европейской части континента до побережья Атлантического океана, преобладая над другими типами торфяных отложений в странах Балтийского региона, Скандинавии и Западной Европы.

Необходимо отметить, что именно ученые-болотоведы во второй половине 20-го века принимали активное участие в изучении торфяных месторождений как Белоруссии, так и других регионов СССР. основополагающий всесторонний вклад в изучение торфонакопления и его продуктивности в условиях болотной среды в зависимости от различных природных факторов внесли российские ученые Н. И. Пьявченко, А. В. Пичугин, С. Н. Тюремнов, И. Ф. Ларгин и др. [3–5].

Характерно, что изучение торфяных месторождений в Беларуси начато еще в 70-х годах 19-го века. Эти исследования в основном носили геоботанический и ботанико-географический характер. Основной вклад в оценку торфяных ресурсов Беларуси во второй половине 20-го века внесли ученые Института торфа АН БССР А. П. Пидопличко, М. А. Конойко, Н. Н. Бамбалов, А.Г. Дубовец, С. Г. Беленький [6–8]. Было установлено, что в Беларуси имеется 9192 торфяных месторождения, а их общая площадь составляет 2396 тыс. га. Также как и в России, в Беларуси преобладают верховые торфяные месторождения.

На территории нашей республики торфяные месторождения распределены неравномерно. Наиболее заболоченная часть Беларуси – Полесская низменность, особенно ее центральная часть – Припятское Полесье. Так, в Брестской области заболоченные территории составляют 63,9 %, в то время как в Гродненской области заболоченность самая низкая – 6,6 %. В настоящее время 963 тыс. га торфяников осушено под сельхозугодья, 312 тыс. га используется в естественном состоянии в качестве заказников и заповедников, 109 тыс. га отведено для добычи торфа, а 31,1 тыс. га занимают резерваты наиболее ценных видов торфяного сырья [9].

Болотоведами было выделено пять торфяно-болотных областей [6].

Первая группа – это область верховых болот, залегающих в Приозерье (северная часть республики). Торфяники здесь занимают более 10 % территории области, а средняя глубина торфяной залежи составляет 2,0 м. Верховой торф в данном регионе составляет более 38 % в структуре общих геологических запасов. Здесь расположены наиболее крупные месторождения верхового типа. Так, запасы верхового торфа только на самом северном месторождении Ельня достигают более 100 млн. т.

Вторая область торфонакопления находится в западной части республики. Она заторфована на 7,7 %. Верховые залежи здесь распространены в минимальном количестве в сравнении с другими торфоболотными областями.

Третья область торфонакопления расположена в центральной части Беларуси. Для нее характерно наличие сравнительно крупных месторождений верхового типа. Общая площадь торфяных площадей в этой области составляет более 15 % ее территории, среди них – 23,5 % месторождения верхового типа.

Четвертая область расположена в восточной части Беларуси и представлена в основном мелкими месторождениями. Торфяные площади здесь занимают 5,5 % от общей площади территории, а среди них отложения верхового типа составляют около 11 % территории.

Пятая группа торфонакопления расположена на юге республики и представлена болотами Полесья. В этой торфоболотной области находятся преимущественно низинные залежи торфа. Ими представлено более 86 % торфяных площадей, а малочисленные торфяные месторождения верхового типа – мелкозалежные и не представляют интереса для промышленной добычи и переработки.

Из приведенных литературных данных видно, что месторождения верхового типа в нашей республике представлены в первую очередь крупными торфяными массивами в ее северной части (1-ая торфяно-болотная область). Торфяные месторождения верхового типа залегают также в центральной и южной частях республики. Однако в северо-западном регионе сконцентрированы преимущественно месторождения верхового типа, сложенные малоразложившимся сфагновым торфом, а на верховых месторождениях южной части Беларуси залегают торф с более высокой степенью разложения.

С генетических позиций выделены три группы верховых болот [10]. Первой группой являются месторождения юливиального происхождения, представленные по всему профилю только верховыми видами торфа (Северная часть Беларуси). Они, как правило, имеют мощную залежь с выпуклой поверхностью, сложенную преимущественно сфагновым торфом. Другие (две) разновидности торфяных болот развивались, проходя стадии: низинное болото – переходное – верховое или же переходно-верховое.

Залежь верхового торфа имеет, как правило, такое стратиграфическое строение, когда под покровом болотных растений (сфагновые мхи, пушица и др.) залегают малоразложившийся слой сфагнового торфа, а с увеличением ее глубины степень разложения торфа возрастает и может достигать 45–55 %, что характерно для пушицево-сфагнового, сосново-пушицевого, пушицевого и других видов высокоразложившегося верхового торфа.

Торфяные болота являются сложной природной развивающейся и саморегулирующейся экосистемой с важными природоохранными функциями. Это особенно характерно для верховых торфяных месторождений, которые выполняют особую водоудерживающую роль. Так, в 1 м³ сфагнового торфа естественного залегания концентрируется до 1 тыс. литров воды. Таким образом, торфяные болота олиготрофного типа являются мощным аккумулятором и хранилищем чистой пресной воды. Они активно влияют на гидрологический режим прилегающих территорий: в засушливые годы частично сбрасывая свои запасы воды в водоприемники, а затем восстанавливая эти запасы в

многоводные по метеоусловиям годы, поддерживая на должном уровне стояние грунтовых вод и повышая влагообеспеченность прилегающих полей, лесов и пастбищ.

Осушение болот без учета их функций в природе приводит к изменению микроклимата на прилегающих территориях. Наибольший ущерб при этом наносится в тех случаях, если торфяные месторождения расположены на водоразделах в поймах рек или озер. Известно, что неосушенная торфяная залежь хорошо проводит тепло и способна его аккумулировать, а затем отдавать в окружающую среду, увлажняя воздух. Это предотвращает перегрев или переохлаждение воздуха в зависимости от поры года, исключая засухи и смягчая микроклимат. Характерно, что осушение больших болотных комплексов – таких, как Белорусское Полесье, привело к изменению не только микроклимата этого региона, но и климата в целом в нашей стране [11, 12].

Торфяно-болотные комплексы с биогеохимических позиций можно оценивать, как природные фильтры, создающие барьер и очищающие поверхностные и подземные воды, разрушая органические и биологические загрязнители в процессе жизнедеятельности болотной флоры.

Необходимо особо отметить роль естественных болот в формировании газового состава атмосферы. Болотная растительность поглощает диоксид углерода – один из основных компонентов парниковых газов в атмосфере и под действием солнечного света превращает его в органическое вещество растений, которые после их отмирания трансформируются в торф. Таким образом, болота способны выводить углекислый газ из состава атмосферы и не возвращать его обратно. Взамен выведенного углекислого газа растения в атмосферу выделяют эквивалентное количество кислорода. По данным белорусских ученых в нашей стране гектар естественного болота ежегодно выводит из атмосферы 550–1800 кг углекислого газа и выделяет в атмосферу 260–700 кг кислорода. Это означает, что белорусские девственные болота оказывают благоприятное влияние на атмосферу [13, 14].

В последние годы выявлено, что весьма велика роль белорусских болот для европейских и общепланетарных биосферных процессов. В Беларуси, в центре Европы, в естественном состоянии сохранились крупные болота олиготрофного типа и сильно заболоченные обводненные поймы рек, большинство из которых расположены на путях миграции водноболотных птиц из Европы, Африки на север России и обратно. Девственные белорусские болота дают пищу и отдых мигрирующим птицам, часть из которых остается здесь на гнездование.

Учитывая важные функции болот в природной среде и в жизни общества, в Беларуси на современном этапе наблюдается взвешенный и осторожный подход к освоению и разработке неосвоенных торфяных месторождений, а также более глубокое изучение влияния каждого

из факторов, влияющих на экологическую безопасность, имея в виду их историческую, учебно-познавательную и рекреационную ценность.

Еще в конце прошлого столетия белорусскими учеными И. Г. Тановицким, Г. С. Антоновой, С. В. Мельниковой и В. В. Янушевским были предложены критерии отбора болотных массивов для создания охраняемых территорий [15–18]. Эти критерии объединены в несколько групп и всесторонне учитывают значимость торфяного месторождения в природной среде и обществе. Они, в первую очередь, рассматривают такие экологические факторы, как водоохранное и ресурсоохранное значение торфоболотной системы, а также эстетическое, оздоровительное, научное и другие значения охраняемого объекта.

К охраняемым территориям Беларуси отнесены месторождения с редкими видами флоры и фауны, с местами произрастания лекарственных растений и обитания животных, занесенных в Красную книгу, а также торфяные залежи уникальные по стратиграфии и содержащие запасы наиболее ценного торфяного сырья для его химической переработки, и, в первую очередь, верхового торфа, необходимого для резервации и последующего рационального использования. Следовательно, основным принципом отбора торфяно-болотных систем для охраны и резервации в нашей стране являются их природоохранные, ресурсоохранные, рекреационные, научные, исторические и общекультурные ценности.

Таким образом, многолетние исследования в области болотоведения и болотопользования показывают, что торфяно-болотные комплексы являются уникальной системой и выполняют многочисленные природные функции, поэтому требуется взвешенный и осторожный подход к их освоению, обеспечивающий сохранность уникальных торфяных месторождений для наших потомков.

Список литературы

1. Косов, В.И. Торф. Ресурсы, технологии, геоэкология / В.И. Косов, А.С. Беляков [и др.]. – С.Пб.: Наука, 2007. – 452 с.
2. Кац, Н.Я. Болота земного шара / Н.Я. Кац. – М.: Наука, 1971. – 290 с.
3. Пьявченко, Н.И. Торфонакопление и его продуктивность / Н.И. Пьявченко // Динамика органического вещества в процессе торфообразования. – Л., 1978. – С. 141–155.
4. Пичугин, А.В. Торфяные месторождения / А.В. Пичугин. – М.: Высшая школа, 1967. – 275 с.
5. Тюремнов, С.Н. К вопросу методики опробования залежи при разведке торфяных месторождений / С.Н. Тюремнов, И.Ф. Ларгин // Сб. статей по изучению торфяных месторождений. – М., 1956. – С. 180–185.
6. Пидопличко, А.П. Торфяные месторождения Белоруссии (генезис, стратиграфия, районирование) / А.П. Пидопличко. – Минск: АН БССР, 1961. – 192 с.
7. Бамбалов, Н.Н. Болотообразовательные процессы на территории Белоруссии / Н.Н. Бамбалов, А.Г. Дубовец, С.Г. Беленький // Проблемы Полесья. – 1990. – Вып. 13. – С. 75–90.

8. Пидопличко, А.П. Торфяные и сапропелевые месторождения / А.П. Пидопличко, Г.Д. Горбутович // Проблемы Полесья.– Минск: Наука и техника, 1972. – Вып. 1. – С. 292–312.
9. Бамбалов, Н.Н. Роль болот в биосфере / Н.Н. Бамбалов, В.А. Ракович [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2005. – 285 с.
10. Кухарчик, Т.И. Верховые болота Беларуси. Трансформация, проблемы использования / Т.И. Кухарчик. – Минск: Наука и техника, 1996. – 135 с.
11. Бамбалов, Н.Н. Биологический и геологический круговороты веществ на болотах / Н.Н. Бамбалов, В.А. Ракович // Генезис, эволюция и роль болот в биосферных процессах: Тез. докл. Междунар. конф. – Минск, 1994.– С. 3–4.
12. Логинов, В.Ф. Влияние мелиорации на региональный климат Беларуси / В.Ф. Логинов // Природные ресурсы. – 1977. № 1. – С. 24–27.
13. Бамбалов, Н.Н. Принципы биосферной совместимости природопользования на болотах и торфяных месторождениях / Н.Н. Бамбалов, В.А. Ракович // Природные ресурсы. – 1996. – № 1. – С. 135–139.
14. Бамбалов, Н.Н. Роль болот в формировании газового состава атмосферы / Н.Н. Бамбалов, В.А. Ракович, А.А. Шишко // Хімія і праблемы выкладання. – 1997. – Вып. 9. – С. 18–25.
15. Антонова, Г.С. Методические указания по выявлению торфяных месторождений в качестве природоохранных объектов / Г.С. Антонова, С.В. Мельникова, И.Г. Тановицкий. – Минск: Наука и техника, 1979. – 15 с.
16. Тановицкий, И.Г. Заповедники и заказники на торфяных месторождениях БССР / И.Г. Тановицкий – Минск: Наука и техника, 1983. – 102 с.
17. Тановицкий, И.Г. Антропогенные изменения торфяно-болотных комплексов/ И.Г. Тановицкий, Ю.М. Обуховский. – Минск: Наука и техника, 1988. – 160–165 с.
18. Тановицкий, И.Г. Рациональное использование торфяных месторождений и охрана окружающей среды / И.Г. Тановицкий. – Минск.: Наука и техника, 1980. – 40 с.

PEAT DEPOSITS AND MODERN APPROACHES TO THEIR UTILIZATION

G. V. Naumova, A. E. Tomson, N. A. Zhmakova, T. F. Ovchinnikova, N. L. Makarova

Data on peat deposits dissemination in various regions of the Globe and particular features of their formation depending on natural factors are given. Modern scientific ideas on the role of raised peat deposits in biosphere processes and main criteria of their selection to create on the territory of Belarus reservations, nature conservation areas, reserves of valuable peat raw material are shown.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ РАВНОВЕСИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАФТАЛИНА С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ГУМИНОВЫМИ КИСЛОТАМИ ВЕРХОВОГО ТОРФА

Л. В. Нечаев*, О. Н. Чайковская*, И. В. Соколова*, А. В. Савельева**

*Томский государственный университет, г. Томск, e-mail: lvnechaev@rambler.ru
tchon@phys.tsu.ru, sokolova@phys.tsu.ru

**Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, e-mail: anna@ipc.tsc.ru

В статье представлены результаты определения констант равновесия для взаимодействия нафталина с гуминовыми кислотами (ГК) верхового торфа, а также с модифицированными гуминовыми кислотами верхового торфа. В обоих случаях показано закономерное уменьшение связывание нафталина и ГК при увеличении концентрации последних, а также увеличение взаимодействия нафталина и модифицированных ГК низкой концентрации, что указывает на изменение структуры ГК в процессе модификации.

Введение. Нафталин – токсичное органическое вещество, относящееся к классу полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Он входит в список 187 самых опасных загрязнителей атмосферы (по данным ЕРА). Помимо нафталина, к ПАУ относятся такие соединения, как фенантрен, антрацен, пирен, а также бенз(а)пирен. Многие ПАУ обладают канцерогенными, мутагенными и тератогенными свойствами. Эти вещества выделяются в окружающую среду при сжигании каменного угля, в меньшей степени – нефтепродуктов, присутствуют в табачном дыме, образуются при сжигании опавшей листвы, промышленного и бытового мусора. Из атмосферы ПАУ попадают в почву, озёра и реки. Вследствие малой растворимости в воде они накапливаются в донных отложениях, адсорбируются частичками почвы, проникают через мембраны корневых систем в растения, и далее – в организм животных и человека.

Взаимодействие гуминовых кислот (ГК) с ПАУ существенно влияет на биоаккумуляцию этих токсикантов. Непосредственной причиной наблюдаемого снижения эффективности действия ПАУ в присутствии ГК является межмолекулярное взаимодействие токсикантов с гуминовыми кислотами, приводящее к образованию комплексов ПАУ-ГК. Макромолекулярные размеры комплексов ПАУ-ГК препятствуют их проникновению в живые организмы. ГК различного происхождения связывают ПАУ не в одинаковой степени. ГК почвы и донных отложений взаимодействуют с ПАУ значительно лучше, чем растворённые в воде. Гуминовые кислоты, содержащиеся в каменном угле, сильнее связывают ПАУ, чем ГК торфов и компостов. Эти факты обусловлены различиями в структуре макромолекул ГК. Гуминовые кислоты каменного угля состоят из ароматических колец с небольшим числом заместителей, тогда как формирующиеся ГК торфов и компостов содержат не только ароматическое ядро, но и развитую периферию, включающую разнообразные функциональные группы. По современным представлениям взаимодействие между молекулами ГК и ПАУ обусловлено π - π сопряжением электронов ароматических колец, не исключающим, однако, образование комплексов с переносом заряда. Степень связывания ПАУ с ГК тем выше, чем больше гидрофобность ПАУ. Определённую роль играют также взаимодействия типа хозяин-гость, образование супрамолекулярных структур. Это подтверждается зависимостью констант комплексообразования ПАУ и ГК от концентрации гуминовых кислот, а также от pH раствора [1]. Таким образом, изучение

взаимодействия ГК и ПАУ может, с одной стороны, дать возможность приблизительной оценки структуры макромолекул ГК, а с другой – предоставить важную с практической точки зрения информацию о способности данных ГК к аккумуляции опасных токсикантов.

В связи со сказанным выше, целью данной работы является оценка констант равновесия взаимодействия модельного органического соединения из класса ПАУ – нафталина – с природными гуминовыми кислотами, выделенными из верхового торфа, а также с продуктами модификации этих кислот.

Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования были выбраны гуминовые кислоты верхового торфа Томской области. Гуминовые кислоты выделяли из остатка торфа после удаления водорастворимых и легкогидролизуемых компонентов, обрабатывая 0,1 н. раствором NaOH из расчета 150 см³ раствора на 1 г навески. Щелочную экстракцию повторяли трижды. Гуминовые кислоты в щелочном растворе осаждали 4 % раствором HCl. Для удаления свободных и связанных металлов, содержащихся в ГК, проводили реакцию деминерализации.

Модификация гуминовых кислот с ОГЖ была проведена на лабораторном аналоге планетарной мельницы-активатора серии АГО-2С разработки ИХТТМ СО РАН, в течение 2 мин. со скоростью вращения барабанов 1350 об/мин. Модифицированные ГК очищали от не прореагировавших реагентов переосаждением в 0,1 н растворе NaOH.

Был приготовлен насыщенный раствор нафталина в воде путём выдерживания смеси вещества и дистиллированной воды в ультразвуковой ванне в течение 30 минут, а затем в темноте при комнатной температуре в течение суток. Насыщенный раствор был отфильтрован и разбавлен в два раза дистиллированной водой. С помощью закона Бугера-Ламберта-Бера оценили концентрацию нафталина в полученном растворе путём его сравнения с растворами нафталина в этаноле. Концентрация нафталина составила $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Были сняты спектры поглощения и флуоресценции данного раствора. Длина волны возбуждения спектров флуоресценции составляла 270 нм.

Матричные растворы гуминовых кислот с концентрацией 1 г/л были приготовлены путём добавления соответствующего количества сухого препарата ГК в 0,1 н. раствор NaOH и дальнейшего выдерживания полученной смеси в течение 30 минут в ультразвуковой ванне с подогревом до 45 °С, и затем в течение суток в темноте при комнатной температуре. Из матричных растворов путём разбавления дистиллированной водой приготовили две серии растворов ГК с интервалом концентраций от $2 \cdot 10^{-4}$ г/л до $2 \cdot 10^{-6}$ г/л.

Для исследования взаимодействия нафталина с ГК были приготовлены две серии растворов. Концентрация нафталина во всех этих растворах имела значение $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л, а концентрация соответствующей ГК изменялась от 10^{-6} до 10^{-4} г/л. Рассчитанные значения pH

растворов изменялись в пределах от 7 (для концентрации ГК = 10^{-6} г/л) до 9 (для концентрации ГК = 10^{-4} г/л). Были сняты спектры поглощения и флуоресценции полученных растворов (длина волны возбуждения 270 нм) по стандартной методике. Константы равновесия K_b для взаимодействия ГК и нафталина были рассчитаны по уравнению:

$$F_0/F = 1 + K_b[\text{ГК}] \quad (1)$$

где F_0 – интенсивность флуоресценции нафталина в максимуме излучения, F – интенсивность флуоресценции нафталина в максимуме излучения при добавлении ГК, [ГК] – концентрация ГК, г/л. Эта методика была впервые предложена в работе [2]. Она основана на определении тушения флуоресценции соединения в присутствии ГК.

Обсуждение результатов. Значения констант комплексообразования K_b для различных концентраций ГК приведены в таблице 1. Полученные значения указывают на закономерное уменьшение связывания ГК и нафталина с увеличением концентрации ГК, а также на увеличение взаимодействия ГК с нафталином после модификации для самой низкой концентрации ГК.

Таблица 1
Значения констант равновесия (K_b) для взаимодействия
ПАУ и ГК в зависимости от концентрации ГК

Концентрация ГК, $\times 10^6$ г/л	$K_b, \times 10^{-3}$ л/г	
	ГК из верхового торфа	ГК из верхового торфа модифицированные
1	59,4	208,3
5	15,0	14,6
10	10,6	5,8
50	1,2	1,0
100	0,9	0,9

Из литературы известно, что при малых значениях концентрации ГК в растворе присутствуют отдельные макромолекулы, ядра которых построены из конденсированных бензольных колец [3]. Именно с ароматическими частицами в составе ГК взаимодействуют молекулы нафталина, поэтому наличие в системе отдельных макромолекул ГК способствует связыванию этих веществ с образованием комплексов. При увеличении концентрации ГК образуются крупные мицеллоподобные агрегаты, затрудняющие доступ молекул нафталина к ароматическим фрагментам, поэтому взаимодействие ГК и нафталина в этом случае не столь значительно. Некоторые авторы предполагают взаимодействие между ГК и ПАУ по типу хозяин-гость (образование супрамолекулярных структур) [1]. Такой тип взаимодействия предполагает увеличение константы K_b с увеличением концентрации ГК (из-за образования ассоциатов ГК, в полостях которых могли бы разместиться молекулы ПАУ), однако подобная тенденция не прослеживается в ходе наших экспериментов.

Список литературы

1. Duanping Xu, Shuquan Zhu, Hong Chen, Fasheng Li. Structural characterization of humic acids isolated from typical soils in China and their adsorption characteristics to phenanthrene // Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. – 276. – 2006. – P. 1–7.
2. Thomas D. Gauthier, Edward C. Shane, William F. Guerin, W. Rudolf Seitz and Clarence L. Grant. Fluorescence quenching method for determining equilibrium constants for polycyclic aromatic hydrocarbons binding to dissolved humic materials // Environ. Sci. Technol. – Vol. 20. – No. 11. – 1986. – P. 1162–1166.
3. Fabrizio De Paolis & Jussi Kukkonen. Binding of organic pollutants to humic and fulvic acids: influence of pH and the structure of humic material // Chemosphere. – Vol. 34. – No. 8. – 1997. – P. 1693–1704.

DETERMINATION OF EQUILIBRIUM CONSTANTS OF NAPHTHALENE'S INTERACTION WITH MODIFIED PEAT'S HUMIC ACIDS

L. V. Nechaev, O. N. Tchaikovskaya, I. V. Sokolova, A. V. Savelyeva

The paper presents the results of the determination of equilibrium constants for the interaction of naphthalene with humic acids (HA from, peat, and with the modified peat's humic acids. In both cases shown decrease in the binding of naphthalene and HA with increasing concentrations of the latter, as well as increased interaction of naphthalene and modified HA of low concentration, indicating on a change in the structure of HA in the process of modification.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЗОЛЕ ТОРФА МЕТОДОМ МС-ИСП

И.В.Подколзин*, А.В.Михайлова**, Н.П.Ахметьева***

*Владимирский государственный университет, г. Владимир

**Институт геохимии и аналитической химии РАН, г. Москва, e-mail: xemafiltr@ya.ru

***Институт водных проблем РАН, г. Москва

Проведен элементный анализ золы торфа ранее осушенных болот Московской и Тверской областей. Анализ выполняли масс-спектрометрическим методом с индуктивно-связанной плазмой на приборе "ELAN DRC II" (Perkin Elmer, США). Полученные данные обрабатывали с помощью программы "Elan ICP-MS Instrument Control", версия 3.4. Определено 28 элементов: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Ce, Zr, Nb, Mo, Cd, In, Sn, Cs, Ba, Hf, Pb, Bi, Th и U. Обнаружено, что содержание некоторых металлов повышено (например, Ti, Cr, V).

В последние годы наблюдается рост интереса к большим площадям территорий, занятым ранее осушенными и выработанными торфяными болотами. Эти места давно заброшены, что привело к негативным последствиям: несанкционированному их использованию и как следствие возгораниям, засоренности, отстрелу птиц и другим, вредным в экологическом плане, воздействиям. Раньше на торф смотрели только как на топливный ресурс, поэтому все лабораторные исследования были направлены в сторону контроля его энергетических и немногих других сопутствующих характеристик.

Из-за большого периода заброшенности (более 30 лет) этих территорий Московской и других центральных областей в настоящее время трудно восстановить, чем были загрязнены выработанные карьеры, какие свалки и кем там устраивались – об этом можно только догадываться. Сложность исследования заключается еще и в том, что слои торфяной залежи были нарушены (возможно, перевернуты). В связи с осушением и многолетним использованием торфа также был нарушен состав микробных сообществ, которые, в основном, оказались уничтоженными. В связи с этим, говорить о возобновлении в ближайшее время торфяными болотами своих многочисленных природных функций (например, формирование ультрапресных вод) возможности нет. Поэтому изучение химического состава и других свойств торфа и торфяных залежей актуально для определения стратегии оптимального их использования в дальнейшем. Проведение исследований по свойствам и химическому составу торфа вызвано и пожарами 2010 г., а также экологической безопасностью. В цель работы также входило сравнение составов природного торфа и горелого торфяника. Результаты этих исследований полезны для интенсивно проводимых работ по обводнению в плане изменившихся сорбционных свойств горелого торфа и дальнейшего экологического состояния этих территорий, рядом с которыми находятся большие жилые комплексы.

В работе исследовались образцы торфа, отобранные в 2010 и 2011 гг. на болотных массивах Московской и Тверской областей. В Московской области – это торфоместорождение Радовицкий мох Шатурского района, подвергшееся сильным пожарам в 2010 и 2011 гг. Гигроскопическая влага на выгоревшем участке составляет менее 10 % по всему шурфу до 0.7 м, а торфа у расположенного рядом болотца – 55.6 % (над уровнем

болотных вод на 0.3 м). Место заложения шурфа – открытая местность с редкими обгоревшими или полубогоревшими стволами березы и сосны. На поверхности залегает торфяная зола светло-желтого цвета, мелкая, пылевидная, мощностью 0.2 м. Ниже залегает полубогоревший темно-коричневый плотный торф. Пожары приводят к неравномерному распределению химических компонентов по разрезу, к изменению в рельефе – понижению до 1 м, что ведет к неравномерному распределению и застою воды.

В Тверской области исследовались торфяные месторождения Галицкий мох, Вешка, Шумново (Конаковский и Калининский районы), охваченные пожаром в 2010 г. или расположенные вблизи горевших лесов и свалок. В Тверской области очень много болот практически всех известных типов. Они занимают 10–12 % площади области. Естественно, что их современное состояние и их будущее волнует жителей, специалистов и любителей природы этого края [1]. Перечислим особенности исследуемых территорий (торфяных месторождений).

Болото Шумново: площадь – 234 га, верховое, не горело. Торф разрабатывался с 1922 до 1950-х гг. Пожар 2010 г. охватил близлежащие свалку (городской полигон ТБО) и лес по линии ЛЭП, проходящей с юга от болота. Преимущественное направление ветра – юго-западное, т. е. ветер дул на болото. Анализ болотной воды в 0.7 км от линии огня несет следы загрязнения.

Болото Вешка [2, 3], у деревни Тарлаково. Площадь 7.79 га. Болото низинное, заросло ивой, березой, не осушалось. Из болота вытекает дрена, восприимчив которой река Крутец. Около 50 лет болото принимает стоки животноводческой фермы. Болото не пострадало от летних пожаров 2010 г. Пробы разреза 1 отобраны в 70 м от силосной ямы на краю болота с востока. Пробы разреза 2 отбирались немного дальше (200 град. по азимуту). Пробы разреза 3 – северная окраина, ближе к животноводческой ферме (60 м).

Торфяник Галицкий мох расположен вблизи пос. им. Радченко. Низинно-переходное болото осушалось, много лет выработывалось, имеются большие заброшенные карьеры, заполненные водой. В результате пожара 2010 г. сильно изменился разрез грунта и химический состав болотных вод. На исследуемой площадке пожара при тлении торфяника температура почвы была около 100–110 °С (выложенный кусочек торфа, отобранный с глубины 0.4 м, прожигает газету и оплавляет полиэтилен), температура уменьшается только на глубине 0.5 м. Были отобраны образцы монолитных проб торфа для исследования фильтрационных свойств. В горелом торфе коэффициент фильтрации оказался в 100 раз выше, чем в природном торфе. Исследованы пробы торфа на влагоемкость – способность торфа удерживать определенное количество воды после избыточного увлажнения. Установлено, что в нашем случае влагоемкость природного торфа в 1.5 раза выше.

Для установления элементного состава применяли высокочувствительный метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС–ИСП). Некоторые результаты анализа представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

**Результаты анализа образцов из торфа месторождений Радовицкий мох,
Галицкий мох и Шумново¹**

Элемент	Содержание в образце, мг/кг				
	Радовицкий мох		Галицкий мох		Шумново
	Природный торф, 0.3 м	Горелый торф, 0.12 м	Природный торф, 0.5 м	Горелый торф, 0.15 м	Горелый торф, 0.2 м
Гигроскопическая H ₂ O, %	55.6	7.1	70.3	2.7	58.2
Зольность, %	3.8	76.5	9.3	49.1	24.8
Ti	730.5	203.5	400.1	202.8	104.7
V	66.6	58.4	174.6	413.4	22.6
Cr	2.99	12.4	83.6	46.4	2.8
Mn	224.0	26.3	515.9	100.7	4.0
Fe, %	1.65	0.2	7.46	0.7	0.1
Co	3.4	0.7	3.8	0.5	0.11
Ni	н.о. ²	н.о.	н.о.	1.6	н.о.
Cu	30.3	6.7	14.6	2.8	3.3
Zn	11.1	1.9	18.0	1.4	0.46
Ga	5.8	1.9	1.1	0.9	1.4
As	4.3	8.1	31.3	2.7	2.5
Rb	11.4	2.03	0.71	0.4	0.9
Sr	324.9	254.9	261.9	40.7	36.7
Y	6.3	6.3	43.6	42.3	6.4
Zr	19.9	6.7	169.7	175.4	3.2
Nb	0.98	0.19	3.37	2.18	0.1
Mo	5.6	1.8	7.4	0.96	1.2
Cd	0.45	0.3	0.45	0.11	0.06
In	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01
Sn	1.08	0.14	0.3	0.14	0.04
Cs	1.09	0.2	0.08	0.04	0.1
Ba	381.3	466.6	382.3	54.4	59.8
Ce	17.4	24.3	15.5	41.2	23.2
Hf	0.1	0.1	2.18	1.7	0.06
Pb	29.6	12.7	0.07	0.25	2.4
Bi	0.17	0.16	0.02	0.02	0.06
Th	2.69	2.26	6.97	2.75	2.34
U	1.52	1.57	6.38	1.98	4.97

Примечание: ¹ – образцы отобраны в 2011 г., месторождение горело в 2010 г.; ² н.о – не обнаружено.

Таблица 2

Результаты анализа образцов болота Вешки¹

Элемент	Содержание в образце, мг/кг						
	Разрез 1		Разрез 2			Разрез 3	
	Торф (0.1 м)	Торф (0.2 м)	Торф (0.5)	Торф (0.7 м)	Торф (0.8 м)	Торф (0.1 м)	Торф (0.2 м)

Гигроскопическая H ₂ O, %	9.0	6.0	12.4	47.6	8.8	3.4	2.6
Зольность, %	31.9	60.8	9.44	7.84	3.99	83.1	86.9
Ti	40.9	19.8	454.5	223.7	15.1	6.9	7.5
V	31.1	20.8	57.5	44.7	15.1	9.0	1.7
Cr	0.29	2.4	16.5	12.5	0.97	н.о.	н.о.
Mn	96.8	8.7	187.3	126.2	8.8	51.6	8.9
Fe, %	0.15	0.05	3.6	1.6	0.04	0.03	0.01
Co	0.6	0.14	4.9	2.4	0.21	0.5	0.09
Ni	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.29	1.1	н.о.
Cu	3.8	1.1	55.96	23.6	1.6	0.1	0.3
Zn	19.4	0.7	6.4	23.0	0.8	1.4	0.4
Ga	0.9	0.6	3.5	2.9	0.3	0.4	0.08
As	10.5	5.7	19.2	15.2	1.5	4.2	3.9
Rb	0.002	0.96	2.8	2.1	0.9	0.6	0.2
Sr	48.9	16.5	230.2	2.1	0.9	11.6	4.0
Y	8.5	6.9	8.2	6.6	3.0	2.0	1.3
Zr	2.9	1.4	19.7	14.1	2.9	0.5	0.3
Nb	0.09	0.03	1.2	0.8	0.02	0.01	0.01
Mo	3.2	0.67	3.1	2.6	0.15	0.3	0.3
Cd	0.61	0.05	184.0	0.03	0.01	0.03	0.01
In	0.005	0.001	0.01	0.005	0.001	0.001	н.о.
Sn	0.2	0.2	1.0	1.1	0.1	0.1	0.1
Cs	0.12	0.08	0.1	0.2	0.1	0.06	0.02
Ba	125.8	54.9	253.4	176.8	36.5	20.7	8.6
Ce	18.6	20.9	19.6	16.0	8.5	7.2	4.4
Hf	0.05	0.02	0.08	0.04	0.001	0.01	0.005
Pb	1.6	0.08	1.04	0.87	0.4	1.5	0.4
Bi	0.04	0.02	0.34	0.02	0.02	0.02	0.01
Th	1.4	1.2	2.6	1.8	0.8	0.5	0.2
U	8.3	2.2	20.1	13.7	1.4	0.1	0.1

Примечание: ¹ – образцы 2010 г., торфяное месторождение не горело.

Предварительно торф озоляли в сушильном шкафу и затем сжигали в муфеле при 800 °С в течение трех часов, чтобы избежать возможного влияния органических веществ, составляющих часть пробы торфа, а также для предварительного концентрирования элементов (в 7–8 раз). В настоящее время желательно также знать минеральный состав именно золы.

В работе использовали азотную кислоту сверхчистую и пероксид водорода ("Merck", Германия); многоэлементные калибровочные стандарты (смеси, включающие в себя различные элементы, как по массам, так и по группам; стандарты на один элемент: "Panreac", Испания и "Ultra Scientific", "Perkin-Elmer", США). Калибровочный раствор готовили разбавлением соответствующих стандартов. Разбавления проводили ультрачистой деионизованной водой (15–18 МОм·см², ТУ 2123-002-00213546-2004) и в пластиковой посуде.

Разложение золы торфа осуществляли азотной кислотой и пероксидом водорода в микроволновой системе "MWS 2" ("BERGOFF", Германия) в тефлоновых стаканах DAP60K

(давление 40 бар, температура 230 °С, навеска пробы 500 мг). Измерения проводили на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой "ELAN DRC II" ("Perkin Elmer", США). Полученные данные обрабатывали с помощью программы "Elan ICP-MS Instrument Control", версия 3.4. Погрешность анализа до 10 % (отн.). Для торфа нет специального стандарта, поэтому для сравнения приводим регламентируемые показатели из ГОСТ Р 53381-2009 "Почвы и грунты. Грунты питательные. Технические условия" для металлов не более (в мг/кг): Pb – 130; Ni – 80; Zn – 220; As – 10; Cd – 2.0 и Cu – 132. В официально утвержденных ОДК (1995 г.) для валового содержания шести тяжелых металлов показатели следующие (мг/кг): Pb – 65; Ni – 40; Zn – 110; As – 5; Cd – 1.0 и Cu – 66.

Согласно экспериментальным данным месторождения торфа можно отнести к переходному (Радовицкий мох) или низинному (Галицкий мох, Вешки) типам. Торф высокоминерализован и содержит тяжелые металлы, в основном, антропогенного происхождения (кроме Ba и Sr). Известно, что торф накапливает металлы, в основном, связывая их в комплексы с органическим веществом. В горелом торфе, как видно из табл. 1, органические комплексы разрушаются из-за выгорания органики и в зависимости от степени тления торфа по-разному вымываются, что сопровождается для большинства металлов уменьшением их концентрации.

Список литературы

1. Панов В.В. Восстановление выработанных и нарушенных торфяных болот // Матер. Всерос. Торфяного форума (Тверская обл., Эммаус, 2011 г). – Тверь, 2011. – С. 50.
2. Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е., Лола М.В. Экологическое состояние природных вод водосбора Ивановского водохранилища и пути по сокращению их загрязнения. – М.: 2008. – 240 с.
3. Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е. Использование торфяных болот в качестве приемника животноводческих стоков // Матер. VII Всерос. с междуна. участием научной школы "Болота и биосфера". – Томск: Изд-во ТГПУ, 2010. – С. 129.

DETERMINATION OF HEAVY METALS IN PEAT ASHES BY THE METHOD OF MS-ICP

I.V. Podkolzin, A.V. Mikhailova, N.P. Akhmetyeva

The element analysis peat ash content of earlier drained bogs of the Moscow and Tverskaya areas is carried out. The analysis carried out a inductively coupled plasma-mass spectrometry on the "ELAN DRC II" device (Perkin Elmer, the USA). The obtained data processed by means of the Elan ICP-MS Instrument Control program, version 3.4.

28 elements are defined: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Ce, Zr, Nb, Mo, Cd, In, Sn, Cs, Ba, Hf, Pb, Bi, Th and U. It is revealed that the content of some metals is raised (for example: Ti, Cr, V).

СТРУКТУРИРОВАНИЕ КОСМОСНИМКОВ БОЛЬШОГО ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА

К.К. Протасов *, К.Т. Протасов **

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск,

*e-mail: kprotasov@sibmail.com, **e-mail: prot@iao.ru

Разработан простой алгоритм кластерного анализа. Работа алгоритма иллюстрируется решением практической задачи структурирования космических снимков Большого Васюганского болота.

При разработке моделей дистанционного исследования Земли важную роль играет проблема поиска устойчивых взаимосвязей энергетических, спектральных, геометрических и биофизических параметров земных покровов при формировании образов растительных ценозов в условиях фенологических вариаций природных комплексов.

Пусть мы имеем выборку независимых спутниковых наблюдений $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N$ из распределения с некоторой плотностью $f(\mathbf{x})$, задача состоит в том, чтобы декомпозировать эту плотность на одномодальные составляющие. Несложно оценить моду (т.е. точку, в которой плотность $f(\mathbf{x})$ принимает максимальное значение) и поверхность равного уровня этой плотности. Один из наиболее удобных способов оценки моды состоит в следующем. Среди шаров с центрами в точках выборки, содержащих не менее $m(N)$ этих точек, выбираем шар наименьшего радиуса. Моду распределения с плотностью $f(\mathbf{x})$ оценим вектором из усредненных координат точек, попавших в шар. Рассмотрим процедуру поиска локальных мод смешанного распределения $f(\mathbf{x})$, предварительно определив минимальное расстояние σ_{\min} между выборочными точками $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N$ следующим образом

$$\sigma_{\min}^2 = N^{-1} \sum_{j=1}^N (\mathbf{x}_j - \mathbf{x}_i)^T \tilde{G}(\mathbf{x}_j - \mathbf{x}_i) = \min_{\{i \neq j\}}, \quad (1)$$

где G – оценка корреляционной матрицы. Это расстояние определяет минимальную окрестность каждой выборочной точки и может являться индикатором количества соседних точек, попавших в окрестность. Отсюда следует идея алгоритма обнаружения мод смешанного распределения, а именно, если некоторая выборочная точка содержит наибольшее количество точек в своей минимальной окрестности, то она и может служить оценкой локальной моды смешивающего распределения [1].

Работа алгоритма заключается в последовательном анализе окрестностей точек смешанной выборки $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N$. На первом шаге из этой выборки исключается точка, окрестность которой содержит наибольшее количество соседних точек. Эта точка является оценкой локальной моды и запоминается в массиве оценок мод. На втором шаге из точек оставшейся последовательно перенумерованной выборки $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_{N-1}$ исключается точка σ_{\min} , окрестность которой содержит наибольшее количество соседних точек. Эта точка является оценкой второй локальной моды и так же запоминается в массиве оценок мод. Продолжая этот процесс, на t шаге, наконец, приходим к ситуации, когда выбранная окрестность уже не

содержит соседних точек. Если количество оставшихся выборочных точек велико, следует увеличить окрестность σ_{\min} , заменяя её величиной $\sigma_i = \sigma_{\min} + \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{N} \cdot t$, где

$$\sigma_{\max}^2 = N^{-1} \sum_{j=1}^N (\mathbf{x}_j - \mathbf{x}_i)^T \tilde{G}(\mathbf{x}_j - \mathbf{x}_i) = \max_{\{i,j\}}. \quad (2)$$

Кроме того, всегда остается некоторое количество точек, которое можно интерпретировать как выбросы, не пригодные для оценивания мод. Теперь необходимо проверить значения полученных мод на предмет их близкого расположения и, если величина «критерия близости» мала, эти моды следует объединить. Теперь в массиве мод содержатся лишь те значения, которые служат предварительными оценками математических ожиданий и их можно подвергнуть процедуре уточнения.

В том случае, когда количество предварительно выделенных классов, полученных упрощенными алгоритмами кластерного анализа, достаточно велико, на втором шаге рассмотрим процедуру укрупнения кластеров путем «слияния» близких классов. Для этого необходимо оценить степень «близости классов» в терминах ошибки распознавания, хотя бы приближенно. Ввиду того, что вероятности ошибки классификации оценить затруднительно, так как необходимо произвести интегрирование взвешенных функций плотности в многомерных признаковых пространствах, целесообразно использовать границы вероятности ошибок. Действительно, в случае двух классов, средняя вероятность ошибочных решений \mathcal{E} , выраженная через вариационное расстояние Колмогорова, имеет вид

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2} \left[1 - \int_{R^n} |P_1 f(\mathbf{x}/1) - P_2 f(\mathbf{x}/2)| d\mathbf{x} \right], \quad 0 \leq \mathcal{E} \leq 1/2, \quad (3)$$

где $f(\mathbf{x}/1)$, $f(\mathbf{x}/2)$ – условные функции плотности классов 1 и 2 соответственно, а R^n – область интегрирования. Оказывается, что

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{2} (1 - 4\mathcal{E}_n^2)^{1/2} \leq \mathcal{E} \leq \mathcal{E}_n,$$

где $\mathcal{E}_n = [P_1 \cdot P_2]^{1/2} \exp\left\{-\mu\left(\frac{1}{2}\right)\right\}$, и величину $\mu\left(\frac{1}{2}\right) = -\ln \int_x [f(\mathbf{x}/1) - f(\mathbf{x}/2)]^{1/2} d\mathbf{x}$,

называемую расстоянием Бхаттачария, можно использовать в качестве упрощенного критерия разделимости классов.

Теперь рассмотрим простой вариант распознавания образов или автоматической классификации с гауссовыми моделями описания классов. Для гауссовой модели расстояние Бхаттачария имеет вид

$$\mu_N\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{8}(\mathbf{m}_1 - \mathbf{m}_2)^T \left(\frac{\Sigma_1 + \Sigma_2}{2}\right)^{-1} (\mathbf{m}_1 - \mathbf{m}_2) + \frac{1}{2} \ln \frac{\frac{1}{2}|\Sigma_1 + \Sigma_2|}{|\Sigma_1|^{1/2} \cdot |\Sigma_2|^{1/2}}, \quad (4)$$

где \mathbf{m}_i, Σ_i – математическое ожидание и корреляционная матрица i – го класса, $i = 1, 2$;
если $\Sigma_1 \cong \Sigma_2$, что верно при “близких” классах, то

$$\mu_N\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{8}(\mathbf{m}_1 - \mathbf{m}_2)^T \Sigma^{-1} (\mathbf{m}_1 - \mathbf{m}_2) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\Sigma|}{|\Sigma|} \cong 0, \quad \Sigma \cong \frac{1}{2}, \quad (5)$$

и расстояние Бхаттачария может служить критерием объединения двух распределений, а точнее, двух выборочных ансамблей наблюдений (для которых μ_N мало) в одну группу, образующую однородный класс. Эти точки формируют кластер и исключаются из дальнейшего рассмотрения, процесс повторяется до тех пор, пока не останется небольшое количество векторов, не вошедших ни в один из классов. Это аномальные вектора, непригодные для обучения, и их отнесение к тому или иному классу происходит на этапе распознавания.

В результате переходим к небольшому, заранее заданному оператором, числу классов. На третьем этапе полученные классы служат обучающими выборками алгоритма распознавания образов. В этом случае байесово решающее правило последующего агрегирования выборочных данных в кластеры имеет вид:

$$u = \arg \max_{l=1, \dots, C} P(\omega_l) \cdot f(\mathbf{x} | \omega_l), \quad (6)$$

где

$$f(\mathbf{x} | \omega_l) = \frac{1}{(2 \cdot \pi)^{k/2} \cdot \prod_{i=1}^k (\lambda_i)^{1/2}} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \cdot (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_l)^T \cdot G^{-1} \cdot (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_l) \right\}, \quad (7)$$

G – оценка ковариационной матрицы с использованием всей смешанной выборки,
 λ_i – собственные значения ковариационной матрицы, $i = 1, \dots, k$.

Приведем пример работы алгоритма по спутниковым данным геосистемы Большого Васюганского болота. Результаты кластерного анализа представлены на рис. 1–4.

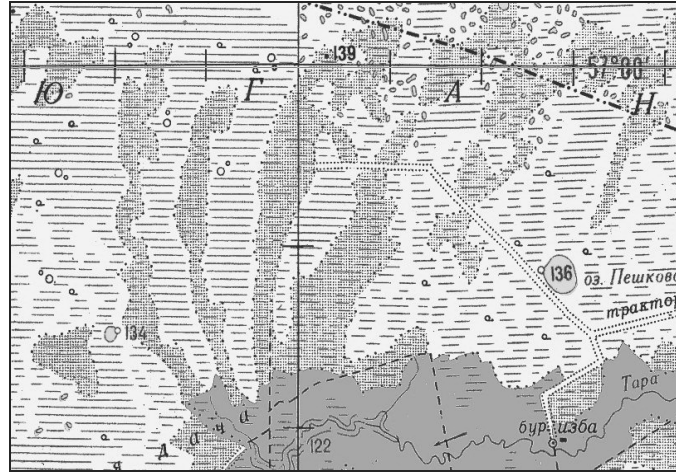


Рисунок 1. Фрагмент Васюганского болота у озера Пешкова (карта масштаба 0,5 км)



Рисунок 2. Фрагмент Васюганского болота (космический снимок)

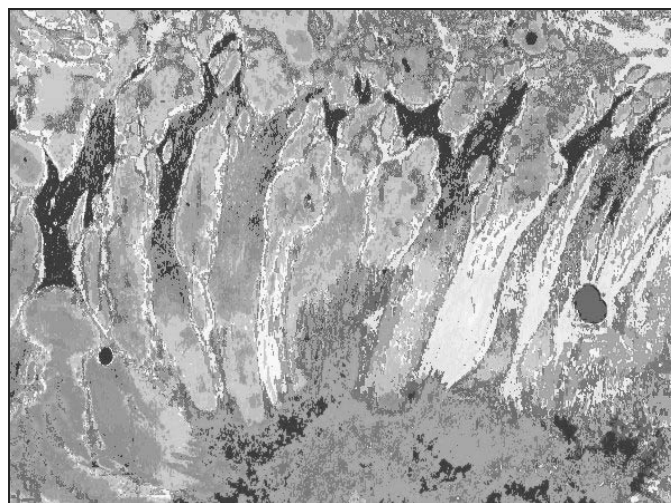


Рисунок 3. Результат кластерного анализа (выделены 20 классов)

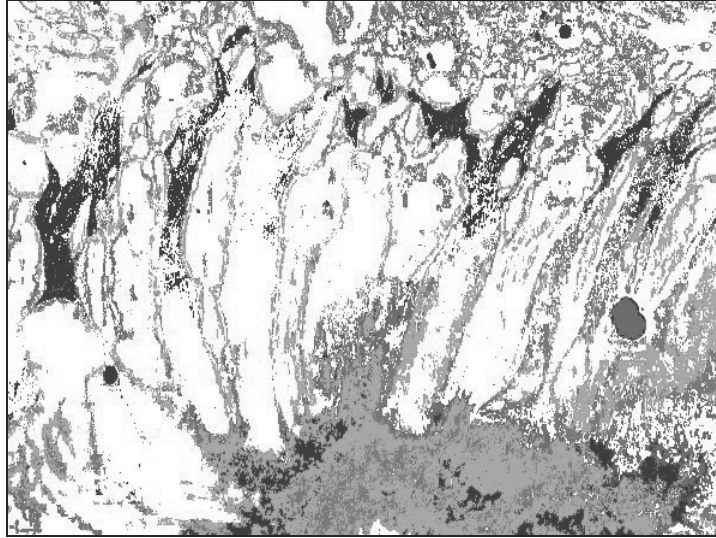


Рисунок 4. Результат кластерного анализа (представлены 2 класса: открытая вода и растительность)

Список литературы

1. Жиглявский А.А. Математическая теория глобального случайного поиска. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1985. – 296 с.
2. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 512 с.

A SIMPLE ALGORITHM FOR CLUSTER ANALYSIS: HYPERSPHERES METHOD

K.T. Protasov, K.K. Protasov

A simple algorithm for cluster analysis. The algorithm is illustrated by the solution of practical problems of structuring space imagery Big Vasyugan mire.

БОЛОТООБРАЗОВАНИЕ В ПОЙМЕ Р.ЕСАУЛОВКА (КАНСКАЯ ЛЕСОСТЕПЬ)**А.Б. Родионова**

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, e-mail: rodionovaab@yandex.ru

В статье представлены результаты ботанического анализа торфяных отложений болотного массива «Кускун» в пойме р. Есауловка (Канская лесостепь). Дана оценка условий увлажнения за весь период торфонакопления и выделены фазы в развитии болота, описана свойственная им растительность.

Введение. Болота представляют собой уникальные природные системы, выполняющие большое количество биосферных функций, в том числе информационно-историческую, которая заключается в том, что торфяные залежи болот рассматриваются как объект, содержащий информацию о динамике локальной и региональной растительности, о климатических и гидрологических условиях времени торфонакопления. Это имеет большое значение для выявления закономерностей развития природной среды.

На территории лесостепной зоны Красноярского края ранее были изучены болотные ландшафты Ачинской, Красноярской и Минусинской лесостепей [2]. Территория Канской лесостепи – самой восточной и наибольшей по площади из всех островных северных лесостепей края, ранее не была изучена с точки зрения образования и эволюционного развития болот. По данным геологоразведочных работ, проводимых в 50-е годы XX века Главторффондом, средняя площадь болот Канской лесостепи в границах промышленной глубины составляет около 14 тыс. га, общая площадь всех болот и заболоченных земель составляет примерно 150 тыс. га [8]. Болотные массивы приурочены к поймам и первым надпойменным террасам, торфяные залежи характеризуются высокой зольностью, средней и высокой степенью разложения и небольшой мощностью – в среднем 1,0 м [3, 4, 8].

Болотные массивы в долине реки Есауловки сосредоточены в пределах равнинной территории, наиболее крупные из них – «Коленчатое» при с. Шалинское (площадь 3341 га), «Пикченское» около д. Тингино (506 га), «Изогнутое» за д. Тертеж (663 га), «Кускун» около п. Кускун (488 га).

Объекты и методы исследования. Объектом исследования является пойменный болотный массив «Кускун», расположенный на правом берегу р. Есауловка (правый приток р. Енисей) в направлении на северо-северо-запад от д. Кускун.

Источником водно-минерального питания болотного массива являются грунтовые и полые воды, незначительное влияние оказывают сточные воды с ограничивающих болотный массив поднятий на севере и западе с абсолютными высотами 355 и 376 м соответственно.

В составе современного растительного покрова в прирусловой части болота преобладает осоково-разнотравная растительность с лабазником и ивой, торфяная залежь здесь имеет мощность 0,40–0,50 м.

Центральная и присклоновая часть болота покрыта ельником разнотравно-хвощово-сфагновым с гипновыми мхами. Древесный ярус образован елью (*Picea obovata* Ledeb.), в небольшом количестве встречается сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour.), в травяном ярусе доминирующее положение занимает хвощ (*Equisetum palustre* L.), отмечены осоки, фиалка одноцветковая, сердечник европейский, папоротник (*Thelypteris palustris* Schott.) и др.; из кустарничков встречается клюква мелкоплодная (*Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr.). Среди мхов доминирует *Sphagnum warnstorffii* Russ, в небольшом количестве зафиксирован зеленый мох (*Brachythecium rivulare* Br. Sch. et Gmb).

В центральной части болотного массива был заложен шурф общей мощностью 1,70 м, из них: 1,05 м торф средней и высокой степени разложения, включающий обилие хорошо сохранившихся остатков древесных пород (части крупных веток и фрагменты стволов, шишки ели); в интервале от 1,05 до 1,39 м залегают гумуссированные супесчаные отложения с включением различного количества сильно разложившихся растительных остатков; 1,39–1,65 м – гумусированные легко- и среднесуглинистые отложения с единичным включением тканей хвощей, папоротников, коры и древесины хвойных; 1,65–1,70 м – тяжелый суглинок серого цвета с единичными включениями растительных остатков.

Отбор образцов для ботанического анализа торфа и подстилающих отложений был проведен из шурфа с интервалом в 2 см. Ботанический анализ был выполнен согласно общепринятой в болотоведении методике [10].

При реконструкции гидрологического режима использовался метод экологических шкал увлажнения Л.Г. Раменского и др. [9], построена экологическая кривая, которая отражает динамику степени увлажненности болотного массива за всё время формирования торфяной залежи. В дополнение использовался метод расчета индекса влажности по растительным остаткам, встречающимся в торфяной залежи, предложенный Г.А. Елиной и Т.К. Юрковской [5].

Результаты исследования. По результатам проведенного ботанического анализа исследуемая торфяная залежь отнесена к низинному типу, лесо-топяному подтипу, древесно-травяной группе. В сложении толщи участвуют следующие виды торфа: еловый, елово-кедровый, древесно-хвощевой, древесно-осоковый, березово-осоковый, древесно-гипновый и осоковый. Основными растениями-торфообразователями являются ель сибирская, сосна сибирская, хвощ болотный и осоки (преимущественно дернистая, в меньшей степени сближенная, волосистоплодная, и двудомная) (рис.).

(*Eriophorum vaginatum* L.), осока дернистая (*C. cespitosa* L.), волосистоплодная (*C. lasiocarpa* Ehrh) и тонкоцветная (*C. tenuiflora* Wahlenb.) в сумме до 10–15 %.

В дальнейшем наблюдалось постепенное увеличение доли осок в составе палеосообществ с доминирующим положением *C. cespitosa* L., доля участия хвойных пород сократилась. Наблюдалось непродолжительное распространение березы (сформировался древесно-осоковый торф в интервале глубин 0,54–0,44 м от поверхности).

Затем при увеличении степени увлажненности территории при болотно-луговом увлажнении (89–93 ступень) и индексе влажности 5–6 на смену древесным сообществам приходят топяные, с преобладанием осокового фитоценоза, за время существования которого накопился слой осокового торфа мощностью 14 см (0,44–0,30 м). Доминирующее положение среди осок, как и ранее, принадлежало осоке дернистой (в волокне торфа отмечено от 35 % – до 70 % её остатков), встречались осока волосистоплодная, сближенная (*C. appropinquata* Schum.), двудомная (*C. dioica* L.), топяная (*C. limosa* L.), зафиксирована кора ивы – 5 %, ткани хвощей – 5–10 % и сабельника (*Comarum palustris*) – ед.

Далее снова наблюдается понижение степени увлажненности и индекса влажности. Об этом свидетельствует возобновление участия хвойных пород, хвощей и папоротников в составе растительных сообществ, доля осок снижается. В интервале глубин 0,30–0,08 м от поверхности в сложении торфяной толщи участвуют древесно-осоковый, еловый, древесно-хвощевой виды торфа. При сыро-луговом увлажнении развивается ельник с небольшим участием кедра, травяным ярусом из хвощей, папоротников и осок.

С глубины 0,08 м от поверхности в составе торфяного волокна фиксируется появление и стабильное участие зеленых и сфагновых мхов (*Sphagnum warnstorffii* Russ, *Brachythecium rivulare* Br. Sch. et Gmb), количество которых в верхних образцах достигает 40 %.

Заключение. Болотные ландшафты лесостепных зон европейской части, Западной Сибири и Красноярского края имеют общую немаловажную особенность – примерно одинаковое время начала заболачивания в позднеатлантическое время [1, 7]. По результатам ранее проведенных исследований лесостепной зоны Красноярского края [2] известно, что болота в пределах Красноярской лесостепи начали формироваться в конце позднеатлантического периода (около 5500 лет назад), на территории Минусинской лесостепи позже – в конце атлантического – начале суббореального времени (4500–3700 лет назад) [11]. В целом, на территории Красноярского края возраст болот уменьшается в меридиональном направлении с севера (лесная зона, где начало болотообразования датировано бореальным периодом) на юг (лесостепная зона, где значительная часть болот имеет атлантический и суббореальный возраст), что соответствует выявленной Н.Я. Кац тенденции [6]. Можно предположить, что начало торфонакопления в пойме р. Есауловка началось в

позднеатлантическое время, точнее оценить временные этапы развития болота позволят результаты радиоуглеродного анализа, которые будут получены позже.

Таким образом, в пойме р. Есауловка впервые был проведен детальный ботанический анализ торфа и подстилающих отложений. Установлено, что смена растительных сообществ происходила в следующем направлении: на начальных этапах развития при сыро-луговом увлажнении и индексе влажности был развит елово-кедровый разнотравно-хвощевой лес с небольшим участием березы и сосны; далее при увеличивающемся увлажнении развитие получил березняк осоково-разнотравный, затем осоковый фитоценоз; в последующем распространение при сыро-луговом увлажнении получил ельник с небольшим участием кедра, травяным ярусом из хвощей, папоротников и осоки, трансформировавшийся в ельник разнотравно-хвощово-сфагновый с гипновыми мхами, развитый в настоящее время.

При оценке палеогидрологического режима на общем фоне постепенного увеличения увлажнения, отмечен период уменьшения обводненности болотного массива (до 81–82 ступени по шкале Л.Г. Раменского, индекс влажности 3–4) в интервале глубин 12–18 см от поверхности. Подобная тенденция уменьшения увлажнения отмечена ранее на болотных массивах Красноярской лесостепи в конце раннесубатлантического – начале среднесубатлантического периода [2].

Список литературы

1. Волкова Е. М. , Бурова О. В. , Новенко Е. Ю. Реконструкция динамики ландшафтов северной лесостепи по данным комплексных исследований Большеберезовского болота (бассейн Верхнего Дона, Тульская область) // Болота и биосфера: Сб. материалов 7-ой Научной Школы. – Томск: ЦНТИ, 2010. – С. 148–151.
2. Гренадерова А.В. Динамика болот Красноярской и Минусинской лесостепей: Автореф. ... дис. канд. географических наук. – Барнаул, 2005. – 22 с.
3. Гренадерова А.В., Родионова А.Б. Особенности развития болотного массива «Кускун» (Канская лесостепь) // География, история и геоэкология на службе инновационного образования: Сб материалов VI межд. научно-практической конф. – Красноярск: Изд-во Красноярского гос. педагог. ун-та, 2011. – С. 231–233.
4. Гренадерова А.В., Родионова А.Б. К вопросу изучения болот Канской лесостепи // География, история и геоэкология на службе инновационного образования: Сб матер. VII межд. научно-практ. конф. – Красноярск: Изд-во Красноярского гос. педагог. ун-та, 2012. – С. 333–335.
5. Елина ГА, Юрковская Т.К. Методы определения палеогидрологического режима как основа объективизации причин сукцессий растительности болот // Ботан. журнал. – 1992. – №7. – С. 120–124.

6. Кац Н.Я. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. – М.: Гос. изд-во географической литературы, 1948. – 320 с.
7. Лисс О.Л. Пространственно-временные закономерности развития болот в голоцене (на примере Западной Сибири) // Болота и биосфера: Сб. материалов 2-ой Научной Школы. – Томск: ЦНТИ, 2003. – С. 10–24.
8. Платонов Г.М. Болота лесостепи средней Сибири. – Москва: Наука, 1964. – С. 3–30.
9. Раменский Л.Г., Цаценкин Л.Г., Чижиков И.А., Антипин Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. – М.: Государственное изд-во сельскохозяйственной литературы, 1956. – С. 57–67.
10. Торфяные месторождения и их разведка (руководства по лабораторно-практическим занятиям). – М.: Недра, 1977. – С.181–197.
11. Ямских Г.Ю., Гренадерова А.В. Развитие болотных ландшафтов на территории Южно-Минусинской котловины // Материалы XIII научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока (27–29 ноября 2007, г. Иркутск). – Т.2 – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2007. – С.147–148.

**THE FORMATION OF BOGS IN THE FLOODPLAIN ESAULOVKA
(KANSK FOREST-STEPP)**

A.B. Rodionova

The paper represents results of the botanical analysis deposits of peat bog «Kuskun» in the floodplain Esaulovka (Kansk partially-wooded), the estimation of moisture conditions during the whole period of peat accumulation and allocated in the development phase of the bog, described their characteristic vegetation.

ИЗМЕРЕНИЯ ЭМИССИИ МЕТАНА ИЗ ПОЧВ РОССИИ: СТАЦИОНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

А.Ф. Сабреков^{*}, М.В. Глаголев^{*,**}

^{*} Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: misternickel@mail.ru

^{**} Югорский государственный Университет, г. Ханты-Мансийск, e-mail: m_glagolev@mail.ru

Анализируется характер и географическое распределение исследований, посвящённых измерению эмиссии метана на территории России. Выделено три типа исследований, каждый из которых характеризуется своими особенностями. В данной работе приведено описание всех известных нам стационарных исследований эмиссии метана на территории России: перечислены названия географических объектов, на которых велись работы, их принадлежность к той или иной природной зоне, административная принадлежность, типы исследованных болотных экосистем.

Введение. В связи с возможным влиянием возрастающих концентраций CH_4 на глобальный энергетический бюджет атмосферы, для количественного учета наземных источников/стоков CH_4 были предприняты значительные усилия. Предварительный анализ распределения глобального потока CH_4 показал, что более половины годовой эмиссии из болот приходится на расположенные между 50 и 70° с.ш. [1, 2], что соответствует географическому расположению России.

В России площадь торфяников составляет 8 %, а вместе с заболоченными мелкоотторфованными землями возрастает до 20 %. Таким образом, среди всех стран мира Россия обладает самыми обширными площадями торфяников, следовательно, можно ожидать, что среди этих экосистем именно болота России будут играть наиболее значительную роль в обмене парниковыми газами с атмосферой [3]. Действительно, если говорить вообще о болотах Северного полушария, то главнейшими источниками метана среди них являются болота на территории России, Канады и Аляски, обуславливающие¹, соответственно, 64 %, 11 % и 7 % от всей эмиссии из болот северного полушария.

Инвентаризации мощностей источников и стоков метана в бореальных, субарктических и арктических болотах уделялось существенное внимание в различных научных проектах, таких как, например, «Arctic Boundary Layer Experiment (ABLE)», «Canadian Northern Wetlands Study (NOWES)», «Changing Permafrost in the Arctic and its Global Effects in the 21st Century (PAGE21)» и др. Результаты, полученные при реализации этих проектов, стали широко доступны научному сообществу благодаря публикациям в специальных выпусках «Journal of Geophysical Research» и в других ведущих научных журналах [2]. Однако в результате выполнения указанных проектов между различными Из 25 значений удельных потоков CH_4 , измеренных в арктических/субарктических экосистемах

¹ Как считается по предварительным данным, которые, впрочем, могут оказаться неточными.

географическими областями созданся существенный дисбаланс подробности представления потоков парниковых газов в научной литературе. Приведем лишь два примера.

Из 25 значений удельных потоков CH_4 , измеренных в арктических/субарктических экосистемах и представленных в обзоре [2], 21 значение (т.е. 84 %) оказывается полученным на территории Аляски; а из 34 значений, измеренных в бореальных болотах и представленных в том же обзоре, 23 значения (т.е. около 68 %) оказываются полученными на территории Канады (ср. с приведенными выше долями вклада Аляски и Канады в эмиссию из болот северного полушария). Поэтому не является удивительным тот факт, что оценки эмиссии CH_4 , полученные экстраполяцией от исследовательского полигона до регионального масштаба, дают, например, для болот в полосе от 50° до 70° с.ш. величины, различающиеся у разных исследователей более чем в 2 раза – от 25–35 $\text{TgCH}_4/\text{год}$ [4, 5] до более 65 $\text{TgCH}_4/\text{год}$ [1]. Такой значительный разброс, вероятно, обусловлен отчасти тем, что в этих оценках практически совсем не учитывались экспериментальные данные, полученные на территории России (вместо них использовались те или иные экстраполяции – различные у разных авторов).

Основные типы измерений эмиссии CH_4 на территории России. Анализируя характер и пространственно-временные масштабы исследований, проведённых на территории России, можно выделить три типа работ, ставящих и решающих задачу измерения удельного потока (впрочем, одно исследование может относиться сразу к нескольким типам):

- работы стационарного характера, в которых основное внимание уделяется изучению интенсивности эмиссии на одном и том же болоте;
- работы, ставящие перед собой цель исследовать пространственное разнообразие величины удельного потока метана из болот различных природных зон и типов, которые впоследствии могут использоваться при региональной инвентаризации потока метана;
- работы, посвящённые проверке моделей, с помощью которых планируется либо получить более масштабные оценки эмиссии, либо оценить потенциальные изменения интенсивности эмиссии в контексте глобальных изменений климата (понятно, что эти работы также будут относиться к первому или второму типу).

Настоящая работа посвящена исследованиям первого типа. Они, как правило, проводятся одной и той же научной группой на протяжении нескольких лет в одной географической точке (на болотах, считающихся типичными для определённой климатической зоны), включают в себя изучение сезонной динамики эмиссии, сопровождаются изучением интенсивности образования и окисления метана в толще болота, часто сопряжены с исследованием всего углеродного баланса. На территории России нам

известно 9 таких стационарных серий исследований: 6 в зоне тайги и 3 – в зоне тундры (табл. 1). Ввиду того, что у различных авторов одни и те же болотные экосистемы могут описываться весьма по-разному (особенно это актуально для зоны тундры, поскольку в этой зоне довольно тяжело провести границу между болотными и тундровыми экосистемами), мы называли объекты так же, как и авторы в соответствующих публикациях.

Стационарные исследования эмиссии CH_4 в России. Проведенный нами анализ около 150 публикаций (полные библиографические ссылки на эти работы см. в [6], а здесь мы указываем только фамилии исследователей), посвящённых измерению эмиссии метана на территории России, показывает, что в плане изученности эмиссии CH_4 особенно выделяется Западно-Сибирская равнина. Это, впрочем, неудивительно ввиду её экстремальной заболоченности: на территории равнины располагается крупнейшая в мире Васюганская болотная система (данной территории так или иначе посвящены 58 % всех известных нам публикаций, содержащих экспериментальные данные об эмиссии метана). На территории этого региона располагается несколько крупных стационаров, в том числе стационар Института почвоведения и агрохимии СО РАН «Плотниково», исследования на котором проводятся в течение последних 20 лет.

Данным, полученным именно на указанном стационаре, посвящено в той или иной мере 35 % всех известных нам публикаций, содержащих экспериментальные данные об эмиссии метана: Глаголев и Смагин, 2003, 2006; Глаголев и Клепцова, 2007; Глаголев и Шнырёв, 2007; Глаголев и Эгнаташвили, 2004; Глаголев с соавт., 1999, 2000, 2001, 2003, 2003а, 2004, 2005, 2007, 2008; Десятков с соавт., 1997; Клепцова с соавт., 2010а; Наумов, 1999, 2002, 2003; Паников, 1998; Паников с соавт., 1993; Шнырёв и Глаголев, 2006, 2007, 2007а; Bohn et al., 2007; Christensen et al., 2000, 2003; Friberg et al., 2003; Glagolev, 1998, 2008; Glagolev et al., 1999, 2000, 2000а, 2001, 2001а; Inoue et al., 1995, 1997; Kotsyurbenko et al., 2004; Maksyutov et al., 1995, 1999, 1999а, 2001; Krasnov et al., 2010; Nakano et al., 1998; Naumov, 2001; Panikov, 1994; Panikov and Dedysh, 2000; Panikov et al., 1997, 2001; Takeuchi et al., 2000, 2003; Tamura and Yasuoka, 1999; Vasiliev and Naumov, 2001.

Для Западно-Сибирской равнины проведено несколько региональных инвентаризаций потока метана, основанных на экспериментальных измерениях удельного потока метана в различных климатических зонах, на различных типах болотных микроландшафтов, а также инвентаризация, основанная на так называемом обратном моделировании, проводимая по измерениям концентрации метана в атмосфере, полученным с помощью вышек [7].

Стационарные исследования эмиссии метана на территории России

Объект (административная принадлежность, координаты и природная зона) ¹⁾	Тип болотных экосистем ²⁾ , на которых велись измерения (как их называют авторы); годы проведения измерений	Исследователи
Западнодвинский лесоболотный стационар (Тверская область, ПЮТа, 56.16° с.ш., 32.18° в.д.)	Олиготрофный ГМК, эвтрофная черноольховая топь; с 1990 по настоящее время	Глухова с соавт., 1999; Вомперский с соавт., 2000
	ГМК на верховом болоте, рям, эвтрофная черноольховая топь, приозёрная сплавина, заболоченный лес, ельник; 1990.	Паников и Зеленев, 1992; Паников с соавт., 1992
	Рям; 1991-1992	Panikov, 1994
Центрально-лесной государственный природный биосферный заповедник (Тверская область, ПЮТа, 56.30° с.ш., 32.30° в.д.)	Олиготрофная осоково-сфагновая топь и заболоченный лес; 1998-1999	Левин с соавт., 2000
Стационар «Таган» (Томская область, подзона подтайги, 56.35° с.ш., 84.80° в.д.)	Сосново-берёзово-зеленомошная эвтрофная топь (понижения и повышения); с 2009 года по настоящее время	Глаголев с соавт., 2009б, 2009в, 2010
Стационар «Плотниково» (Томская область, ПЮТа, 56.8° с.ш., 82.8° в.д.)	Мезотрофные топи с различными доминантами среди сосудистых растений, олиготрофные топи и гряды в составе ГМК и ГМОК, рямы, сплавины и внутриболотные озёра; с 1991 года по настоящее время	Перечислены выше в тексте настоящей статьи
Стационар «Полынянка» (Томская область, ПЮТа, 56.95° с.ш., 82.52° в.д.)	Рямы и олиготрофные осоково-сфагновые топи; 1998-2000	Glagolev et al., 2001a; [8]
Вышка «Карасёвое» (Томская область, ПоСТ, 58.25° с.ш., 82.42° в.д.)	Все типы болот, находящиеся в области покрытия вышки (примерно 10 ⁵ км ²); с 2004 года по настоящее время	[9]
Вышка «Демьянское» (Тюменская область, ПоСТ, 59.78° с.ш., 70.87° в.д.)	Все типы болот, находящиеся в области покрытия вышки (примерно 10 ⁵ км ²); с 2004 года по настоящее время	[9]
Стационар «Мухрино» (ХМАО, ПоСТ, 60.93° с.ш., 68.67° в.д.)	Олиготрофные мочажинах, грядах, рямых, внутриболотных озёрах и приозёрных сплавинах; 2007-2010	Клепцова с соавт., 2010; [10; 11]
Близ г. Воркута (Республика Коми, ПЮТ, ЗНеВеМ)	Стационары «Тальник» (67.32° с.ш., 63.73° в.д.) и «Уса» (67.00° с.ш., 63.50° в.д.): в кустарничковой тундре, на мерзлотных буграх и олиготрофных осоково-сфагновых мочажинах, 2003	Глаголев и Смагин, 2005
	Стационар «Тальник», бугорки и понижения хорошо дренированной мелкобугорковатой тундры, а также центр и окраины верховых осоково-сфагновых болот, 2001-2003 гг.	Карелин и Замолодчиков, 2008

	67.38° с.ш., 63.37° в.д., 1999 и 2001 гг.: влажные понижения на торфяных плато, восстановительные сукцессии на поверхности торфяных плато, занятые лишайником вершины торфяных плато, сфагновые торфяные плато, кустарничковая тундра, лишайниковая тундра, мерзлотные бугры, эвтрофные мочажины	Heikkinen et al., 2002, 2004
	«в южных кустарничковых тундрах окрестностей г. Воркута в территориальных комплексах понижений и повышений», «последние 10 лет».	Честных с соавт., 2007
Близ пос. Чокурдах (Республика Саха-Якутия, ПАТ, ЗНеВеМ, 70.8° с.ш., 147.5° в.д.)	Терраса, занятая типичными тундровыми сухими и обводнёнными ландшафтами, и периодически затопляемая пойма, с 2003 года по настоящее время	van Huissteden et al., 2005, 2007, 2009; van der Molen et al., 2007, 2007a; Petrescu et al., 2008; [12]
Остров Самойлов, расположенный в дельте р. Лена (Республика Саха-Якутия, ПАТ, ЗНеВеМ, 72.37° с.ш., 126.47° в.д.)	Полигональное болото (как на обводнённых центральных частях полигонов, так и на занимающих повышенные позиции в микрорельефе валиках, обрамляющих полигоны по краям), с 1999 года по настоящее время	Вагнер с соавт., 2002; Kirschke et al., 2008; Kutzbach et al., 2004; Sachs et al., 2008, 2008a; Wagner and Morozova, 2006; Wagner et al., 2003, 2003a, 2003b, 2005; Wille et al., 2007, 2008
	Масштабная оценка для всей дельты р. Лены, 2008	Schneider et al., 2009

Примечания: ¹⁾ ПЮТа – подзона южной тайги; ПоСТ – подзона средней тайги; ПЮТ – подзона южной тундры, ПАТ – подзона арктической тундры, ЗНеВеМ – зона непрерывной вечной мерзлоты; ²⁾ ГМК – грядово-мочажинный комплекс; ГМОК – грядово-мочажинно-озерковый комплекс.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Европейскому Союзу за поддержку данной работы по проекту FP7-ENVIRONMENT PAGE21, контракт № GA282700.

Список литературы

1. Matthews E., Fung I. Methane emission from natural wetlands: global distribution, area, and environmental characteristics of sources // *Global Biogeochemical Cycles*. – 1987. – V. 1. – P. 61–86.
2. Vourlitis G.L., Oechel W.C. The Role of Northern Ecosystems in the Global Methane Budget // *Ecol. Studies*. V. 124: *Global Change and Arctic Terrestrial Ecosystems* / W.C. Oechel (ed.). – 1996. – P. 266–289.
3. Sirin A., Minaeva T., Chistotin M., Glagolev M., Suvorov G. Land-use Changes on Peatlands in Russia and Green House Gas Emissions // *Geophysical Research Abstracts*. 2009. Vol. 11. P. 13134. EGU General Assembly 2009, (19-24 April 2009, Vienna, Austria). – URL: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2009EGUGA.1113134S> (дата обращения 03.01.2011).

4. Aselmann I., Crutzen P.J. Global distribution of Natural Freshwater Wetlands and Rice Paddies, their Net Primary Productivity, Seasonality and Possible Methane Emissions // *Journal of Atmospheric Chemistry*. – 1989. – V. 8. – P. 307–358.
5. Fung I., John J., Lerner J., Matthews E., Prather M., Steele L.P., Fraser P.J. Three-Dimensional Model Synthesis of the Global Methane Cycle // *Journal of Geophysical Research*. – 1991. – V. 96. – P. 13033–13065.
6. Глаголев М.В. Аннотированный список литературных источников по результатам измерений потоков CH₄ и CO₂ из болот России // *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*. – 2010. – Т. 1. – № 2. С. 5–57. – URL: http://www.ugrasu.ru/uploads/files/Glagolev_an.pdf (дата обращения: 04.11.2011).
7. Kim H.-S., Maksyutov S., Glagolev M.V., Machida T., Patra P.K., Sudo K., Inoue G. Evaluation of methane emissions over West Siberian wetlands based on inverse modeling // *Environmental Research Letters*. 2011. V.6. №3, 035201, doi:10.1088/1748-9326/6/3/035201.
8. Сергеева М.А., Задорожная С.В. Образование и эмиссия метана в торфяных залежах олиготрофного болота // *Болота и биосфера: Сборник материалов Пятой научной школы (11–14 сентября 2006 г.)*. – Томск: ЦНТИ, 2006. – С. 238–244.
9. Sasakawa M., Ito A., Machida T., Tsuda N., Niwa Y., Davydov D., Fofonov A., Arshinov M. Annual variation of CH₄ emissions from the middle taiga in West Siberian Lowland (2005–2009): a case of high CH₄ flux and precipitation rate in the summer of 2007 // *Tellus B*. – 2012. – V. 64. 17514, doi: 10.3402/tellusb.v64i0.17514.
10. Sabrekov A.F., Kleptsova I.E., Glagolev M.V., Maksyutov S.S., Machida T. Methane emission from middle taiga oligotrophic hollows of Western Siberia // *Вестник ТГПУ*. – 2011. – Вып. 5. – С. 135–143.
URL: http://vestnik.tspu.ru/files/PDF/articles/sabrekov_a._f._135_143_5_107_2011.pdf (дата обращения 11.01.2012).
11. Sabrekov A.F., Glagolev M.V., Filippov I.V., Kazantsev V.S., Lapshina E.D., Machida T., Maksyutov S.S. Methane Emissions from North and Middle Taiga Mires of Western Siberia: Bc8 Standard Model // *Moscow University Soil Science Bulletin*. – 2012. – Vol. 67. – No. 1. – P. 45–53.
12. Parmentier F.J.W, van Huissteden J., van der Molen M.K., Schaepman-Strub G., Karsanaev S.A., Maximov T.C. and A. J. Dolman. Spatial and temporal dynamics in eddy covariance observations of methane fluxes at a tundra site in northeastern Siberia // *Journal of Geophysical Research*. – 2011. – V. 116, G03016, doi:10.1029/2010JG001637.

METHANE EMISSION MEASUREMENTS FROM RUSSIAN SOILS: INVESTIGATIONS AT STATIONARY SITES

A.F. Sabrekov, M.V. Glagolev

Study represents a list of methane emission investigations conducted in Russia by different research groups at stationary sites. This list includes test site descriptions consisting of geographical and administrative identity, natural zone and types of studied mire ecosystems.

The authors acknowledge the financial support by the European Union FP7-ENVIRONMENT project PAGE21 under contract no. GA282700.

ИЗМЕРЕНИЯ ЭМИССИИ МЕТАНА ИЗ ПОЧВ РОССИИ: ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗНООБРАЗИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЭМИССИИ МЕТАНА

А.Ф. Сабреков *, М.В. Глаголев *, **, И.Е. Клептова **

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, e-mail: misternickel@mail.ru

**Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, e-mail: m_glagolev@mail.ru, kleptsova@gmail.com

Анализируется характер и географическое распределение исследований, посвящённых изучению пространственного разнообразия величины эмиссии метана на территории России. В данной работе приведено описание всех известных нам исследований пространственного разнообразия величины эмиссии метана на территории России: перечислены названия географических объектов, на которых велись работы, их принадлежность к той или иной природной зоне, административная принадлежность, типы исследованных болотных экосистем, упоминаются исследователи и годы некоторых их соответствующих публикаций.

Введение. Роль метана как парникового газа, оказывающего заметное влияние на климат, хорошо известна ([1, 2], Ильясов с соавт., настоящий сборник), поэтому мы не будем на ней останавливаться. Существенная роль почв как источников/стоков метана также уже была рассмотрена в работах (Глаголев с соавт., Сабреков и Глаголев, настоящий сборник). Однако работ, в которых были бы сделаны попытки систематизировать имеющиеся результаты измерений эмиссии метана почвами России, пока еще очень мало.

По-видимому, одними из первых были базы данных (БД) в работах [1, 2]. Краткие характеристики всех перечисленных БД приведены в таблице 1.

Таблица 1

Базы данных, содержащих измерения удельных потоков CH₄ из почв России					
БД	Количество измерений (записей)				Примечания
	заявленное первым автором	реальное			
		всего	из них выполнено в РФ	за границей	
[1]	143	142	43	99	В РФ автор выделил 21 тип почв, способных выделять CH ₄ , поэтому для 7 типов в БД вообще не оказалось ни одного измерения
[2]	>500	>500	?	?	В РФ автор выделил 34 типа почв, способных выделять или поглощать CH ₄ , поэтому для 6 типов в БД оказалось лишь 1–2 измерения
[3]	≈ 200	146	146	0	Была реализована лишь в виде текстового файла
[4]	> 600	1	1	0	Декларировалось, что данная БД входит в состав «банка данных», содержащих кроме нее БД математических моделей и БД литературных ссылок
[5]	> 600	>600	>600	0	В основном содержала измерения в Западной Сибири

К сожалению, указанные базы данных создавались в то время, когда собственно в России еще почти не выполнялись измерения удельных потоков CH₄ из почв, в связи с чем для оценок возможных потоков CH₄ из различных регионов России авторы часто опирались

на данные измерений в других странах (на тех же типах почв). Создание БД, которая содержала бы именно результаты измерений, выполненных в России, было декларировано в [3, 4], однако эти БД, явившиеся результатом студенческих курсовых работы, почти сразу перестали заполняться данными, поэтому представляют чисто исторический или учебный интерес. По-видимому, единственной реальной БД по измерениям эмиссии CH_4 в России на сегодня является [5], но и эта БД содержит относительно мало информации. В связи с вышесказанным, задача систематизации измерений, выполненных на территории РФ, до сих пор актуальна.

Результаты и обсуждение. Проведенный нами анализ около 150 публикаций (полные библиографические ссылки на эти работы см. в [6], а здесь мы указываем только фамилии исследователей), посвящённых измерению эмиссии метана на территории России, выполненных не на полевых стационарах, а в результате разовых выездов и экспедиций, показывает, что эта группа исследований характеризуется большим пространственным разнообразием и меньшим временным охватом измерений в одной точке (по сравнению со стационарными исследованиями). Рассматривать эту группу удобно по географическому принципу: исследования на Европейской территории России в таблице 2, исследования в Западной Сибири (от Уральских гор до р. Енисей) в таблице 3 и исследования в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке России в таблице 4. Отметим, что исследования нашей группы в эти таблицы не вошли, поскольку о них можно составить весьма полное представление по работе [7].

Таблица 2
*

Измерения эмиссии метана на Европейской территории России

Объект (административная принадлежность, координаты и природная зона, годы измерений)	Тип болотных экосистем, на которых велись измерения (как их называют авторы)	Авторы
Ростовская обл. (зона степи, 2008)	Обыкновенный и южный чернозём, лугово-чернозёмные (на водоразделе), тёмно-каштановые, каштановые, аллювиальные лугово-чернозёмные (в пойме) и засоленные почвы	[8]
Склон долины р. Любожиха близ г. Пущино (Московская обл., ЗШИЛ, 54.82° с.ш., 37.58° в.д., 2007-2008)	Серые лесные почвы различной степени эродированности с луговой и лесной растительностью и аллювиально-луговые почвы с лугово-болотной растительностью	[9]
Приокско-террасный заповедник (Московская обл., ЗШИЛ, 54.92° с.ш., 37.63° в.д., 1993)	Осоково-пушицево-сфагновая ассоциация, поросшая берёзой и сосной	Panikov, 1994

Болотный массив Ламмин-Соу (Ленинградская обл., ПоСТ, 60.26° с.ш., 29.77° в.д., 2007)	Грядово-мочажинный комплекс на олиготрофном болоте, рям, осоково-сфагновая топь	Калужный с соавт., 2009
Береговая зона пойменного эвтрофного озера в бассейне р. Сысола (Респ. Коми, ПоСТ, 61° с.ш., 51° в.д., 2010)	Сообщества сплавины из сфагновых мхов и сосудистых растений; разнотравно-осоковое кочкарное сообщество с зарослями ивы и берёзы	[10]
Болота Кия-Нур и Куз-Нур (Республика Коми, ПоСТ, 61.68° с.ш., 50.75° в.д., 1990)	Омбротрофное кустарничко-осоково-сфагновое болото с островками соснового леса, лес, рям, ГМК	Паников с соавт., 1992; Panikov, 1994; Slobodkin et al., 1993
Болото Мэдла-Пэв-Нюр к северо-западу от г. Сыктывкар (Респ. Коми, ПоСТ, 61.9° с.ш., 50.2° в.д., 2010)	Мезоолиготрофное болото: кустарничково-сфагновые, осоково-сфагновые и шейхцериево-сфагновые сообщества	[11]
Кольский полуостров (Мурманская обл., ПЮТ, 67.05° с.ш., 40.07° в.д., 1994)	Плоскобугристое болото: переувлажнённые осоково-сфагновые понижения и дренированные кустарничковые повышения	Christensen et al., 1995
Стационар Халмер-Ю (Респ. Коми, ПЮТ, ЗНеВеМ, 67.95° с.ш., 64.67° в.д., 1990)	Торфяные бугры, плоскобугристые комплексы, обводнённые осоково-пушицево-сфагновые понижения и небольшие озёра.	Паников и Зеленов, 1992; Паников с соавт., 1992; Slobodkin et al., 1993
Северная часть полуострова Канин (Архангельская обл., ПТТ, ЗНеВеМ, 68.44° с.ш., 45.36° в.д., 1994)	Переувлажнённые осоково-сфагновые понижения с множеством мелких озёр и дренированные кочковатые кустарничково-моховые плато	Christensen et al., 1995
Печорский залив (Архангельская обл., ПТТ, ЗНеВеМ, 68.51° с.ш., 52.79° в.д., 1994)	Возвышенное гомогенное плоскобугристое болото: переувлажнённые осоково-сфагновые понижения и кустарничково-лишайниковые понижения	Christensen et al., 1995
Остров Колгуев (Архангельская обл., ПАТ, ЗНеВеМ, 69.16° с.ш., 49.36° в.д., 1994)	Влажная пониженная осоково-сфагновая область вдоль небольшого ручья и дренированное возвышенное мохово-кустарничковое плато	Christensen et al., 1995

Примечание: * ЗШИЛ – зона широколиственных лесов, ПоСТ – подзона средней тайги, ПЮТ – подзона южной тундры, ПАТ – подзона арктической тундры, ПТТ – подзона типичной тундры, ЗНеВеМ – зона непрерывной вечной мерзлоты; ГМК – грядово-мочажинный комплекс.

Таблица 3

Измерения эмиссии метана в Западной Сибири *

Объект (административная принадлежность, координаты и природная зона, годы измерений)	Тип болотных экосистем, на которых велись измерения (как их называют авторы)	Авторы
Близ г. Барабинск (Новосибирская обл., зона лесостепи, 55.23° с.ш., 79.08° в.д., 2009-2010)	Рям; осоково-тростниковая ассоциация на периферии болотного комплекса; осоково-сфагновая ассоциация на приозёрной полосе	[12]

Стационар института лесоведения СО РАН «86 квартал» (Томская обл., подзона южной тайги, 56.37° с.ш., 84.67° в.д., 1992)	Омбротрофное болото со сфагнумом, поросшее сосной; мезотрофное болото с ГМК; открытая осоково-сфагновая топь; разделённая островками леса; кедровая согра.	Panikov, 1994
Близ г. Ханты-Мансийск в междуречье рек Обь и Иртыш (Ханты-Мансийский автономный округ, ПоСТ, 60.98° с.ш., 70.17° в.д., 2004-2006)	Рям, ГМК: кустарничково-сфагновые гряды и олиготрофные осоково-сфагновые мочажины, проточные мезотрофные осоково-сфагновые топи	Наумов с соавт., 2007 Naumov et al., 2007
	Озёра внутри мезотрофного болота: более глубокое озеро (измерения на краю и в середине) и менее глубокое (измерения в центре)	Repo et al., 2007
Близ г. Нижневартовск (Ханты-Мансийский автономный округ, ПоСТ, 60.93° с.ш., 76.83° в.д., 2001)	Олиготрофный ГМК; рям; открытые олиготрофные и мезотрофные сфагновые топи	Наумов, 2002
Близ г. Ноябрьск (Ямало-Ненецкий автономный округ, подзона северной тайги, 63.17° с.ш., 75.50° в.д., 1999)	Плоско-бугристое болото; рям; олиготрофный ГМК; мезоолиготрофная осоково-сфагновая топь	Наумов, 2002
Надымский район (Ямало-Ненецкий автономный округ, подзона северной тайги, зона островной вечной мерзлоты, 2010)	Болотные почвы под осоково-сфагновой растительностью; плоско-бугристый торфяник; деградирующий торфяник	[13]
Близ г. Пангоды, на водоразделе рек Надым и Ныда (Ямало-Ненецкий автономный округ, зона лесотундры, 65.87° с.ш., 74.97° в.д., 2005)	Плоскобугристое болото: кустарничково-лишайниковые мёрзлые бугры и осоково-сфагновыми олиготрофными сообществами мочажин в понижениях микрорельефа	Наумов с соавт., 2007 Naumov et al., 2007
	Внутриболотные озёра: на краю озера и в центре озера	Repo et al., 2007
Южная часть полуострова Ямал (Ямало-Ненецкий автономный округ, ПАТ, ЗНеВеМ, 68.10° с.ш., 71.70° в.д., 1995, 1996)	Полигональное осоково-кустарничковое болото, пушицево-сфагновые эвтрофные топи в поймах рек, осоково-сфагновые болота на местах высыхания озёр	Heyer et al., 2002
Полуостров Ямал, западная («З») 69.96° с.ш., 67.60° в.д. и северная («С») 72.73° с.ш., 70.72° в.д. окраины (Ямало-Ненецкий автономный округ, ПАТ, ЗНеВеМ, 1994).	«З»: влажные понижения и дренированные повышения плоскобугристого болота; «С»: крайки небольших озёр и грани полигонов полигонального болота	Christensen et al., 1995

Примечание: * – см. примечание к табл. 2.

Измерения эмиссии метана в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке*

Объект (административная принадлежность, координаты и природная зона, годы измерений)	Тип болотных экосистем, на которых велись измерения (как их называют авторы)	Авторы
Близ г. Якутск (Респ. Саха-Якутия, ПоСТ, ЗНеВеМ, 62° с.ш., 129° в.д., 1993, 2000, 2004)	Аласы (озёра, образовавшиеся на месте таяния вечной мерзлоты согласно Morishita et al., 2001); сплавины по периферии аласов; заболоченные и заторфованные кромки аласов; окружающие автоморфные ландшафты: леса и луга.	Maksyutov et al., 1995; Morishita et al., 2001; Nakayama et al., 1994; Takakai et al., 2006;
Центральная Эвенкия (Красноярский край, ПоСТ, 64° с.ш., 100° в.д., год не указан)	Почвы склонов южной и северной экспозиции гомогенного лиственничника	[14]
Близ г. Игарка (Красноярский край, граница северной тайги и лесотундры, ЗнеВеМ, 67.50° с.ш., 86.42° в.д., 2003)	Термокарстовые озёра и окружающие их автоморфные лесо-кустарничковые ландшафты.	Flessa et al., 2006
Близ посёлка Черский (Респ. Саха-Якутия, ПАТ, ЗНеВеМ, 68.5° с.ш., 161.4° в.д., 1995)	Пойма р. Колыма: обводнённые мочажины и дренированный луг.	Nakano et al., 2000; Tsuyuzaki et al., 2001
Близ северо-восточной научной станции в посёлке Черский (Респ. Саха-Якутия, ПАТ, ЗНеВеМ, 68.76° с.ш., 161.34° в.д., 2003-2004)	Термокарстовые озёра; точечные источники и «горячие точки» выхода пузырьков метана.	[15]
Северо-восточная часть дельты р. Колыма (Респ. Саха-Якутия, ПАТ, ЗНеВеМ, 69.36° с.ш., 163.58° в.д., 1994)	Дренированный пушицевое-сфагновый кочковатый фрагмент тундры.	Christensen et al., 1995
Бассейн р. Большая Чукочьа (Респ. Саха-Якутия, ПАТ, ЗНеВеМ, 69.77° с.ш., 161.43° в.д., 1991)	Полигональное комплексное болото, сопряжённое с озёрами.	Panikov, 1994
Остров Врангеля (Чукотский автономный округ, ПАТ, ЗНеВеМ, 70.96° с.ш., 179.56° в.д., 1994)	Влажные понижения (вероятно, что это затопленные центры полигонов) и дренированные травяно-осоково-моховые гряды между понижениями.	Christensen et al., 1995
Остров Муостах, бухта Тикси (Респ. Саха-Якутия, ПАТ, ЗНеВеМ, 71.5° с.ш., 130.0° в.д., 1993)	Пушицево-осоковая затопленная мочажина и относительно сухой мохово-кустарничковый торфяной бугор.	Nakayama, 1995; Nakayama and Akiyama, 1994; Nakano et al., 2000
Полуостров Лопатка, близ устья р. Индигирка (Респ. Саха-Якутия, ПАТ, ЗНеВеМ, 72.19° с.ш., 148.44° в.д., 1994)	Переувлажнённые центры полигонов, занятые осокой, и дренированные пушицево-осоково-сфагновые гряды.	Christensen et al., 1995
Дельта р. Яны (Респ. Саха-Якутия, ПАТ, ЗНеВеМ, 72.31° с.ш., 140.83° в.д., 1994)	Переувлажнённые пониженные центры полигонов и дренированные гряды между центрами полигонов.	Christensen et al., 1995
Оленекский залив (Респ. Саха-Якутия, ПАТ, ЗНеВеМ, 73.30° с.ш., 116.93° в.д., 1994)	Осоковый луг с влаголюбивыми мхами и дренированный кочко-ватый травяно-моховый ландшафт.	Christensen et al., 1995

Остров Фадеевский (Респ. Саха-Якутия, ПАТ, ЗНеВеМ, 75.50° с.ш., 143.24° в.д., 1994)	Переувлажнённое травяно-моховое дно долины реки и дренированный травяной склон долины.	Christensen et al., 1995
Северо-восточная окраина полуострова Таймыр (Красноярский край, ПАТ, ЗНеВеМ, 75.88° с.ш., 94.57° в.д., 1994)	Плоское гомогенное осоковое боло-то и дренированное возвышенное травяно-мохово-лишайниковое плато	Christensen et al., 1995
Северо-западная окраина полуострова Таймыр (Красноярский край, ПАТ, ЗНеВеМ, 76.47° с.ш., 111.23° в.д., 1994)	Пушицево-кустарничково-моховое плоское понижение и дренированный моховый склон.	Christensen et al., 1995
Остров Котельный (Респ. Саха-Якутия, ПАТ, ЗНеВеМ, 75.06° с.ш., 140.19° в.д., 1994)	Полигональное болото: переувлажнённые пониженные центры полигонов и дренированные грани полигонов.	Christensen et al., 1995
Полуостров Челюскин (Красноярский край, ПАТ, ЗНеВеМ, 77.04° с.ш., 102.53° в.д., 1994)	Окрайка потока талой воды и дренированный травяно-мохово-лишайниковый склон.	Christensen et al., 1995

Примечание: * – см. примечание к табл. 2.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Европейскому Союзу за поддержку данной работы по проекту FP7-ENVIRONMENT PAGE21, контракт № GA282700.

Список литературы

1. Rozanov A.B. 1995. Methane Emission from Forest and Agricultural Land in Russia. WP-95-31. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis.
2. Zelenev V.V. 1996. Assessment of the Average Annual Methane Flux from the Soils of Russia. WP-96-51. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis.
3. Суворов Г.Г., Шнырев Н.А., Глаголев М.В. База данных по эмиссии метана из почв России // Экспериментальная информация в почвоведении: теория и пути стандартизации: Труды Всерос. конф. (20–22 декабря 2005 г., Москва). – М.: Изд-во МГУ, 2005. – С. 149–151.
4. Шнырев Н.А., Глаголев М.В. Банк данных по эмиссии метана из почв России // Болота и биосфера: Сборник матер. Пятой научной школы (11–14 сентября 2006 г., Томск). – Томск: ЦНТИ, 2006. – с. 283–286.
5. Glagolev M.V., Maksyutov S.S., Peregon A.M., Shnyrev N.A. 2007. The data base of CH₄ emission from soils of Russia // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: Прошлое и настоящее: Матер. Второго межд. полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 24 августа – 2 сентября 2007 г.) / Под ред. акад. С.Э. Вомперского. – Томск: Изд-во НТЛ. – С. 128–129.
6. Глаголев М.В. Аннотированный список литературных источников по результатам измерений потоков CH₄ и CO₂ из болот России // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. – 2010 – Т. 1. – №. 2. – С. 5–57. – URL: http://www.ugrasu.ru/uploads/files/Glagolev_an.pdf (дата обращения: 23.05.2012).
7. Glagolev M., Kleptsova I., Filippov I., Maksyutov S., Machida T. Regional methane emission from West Siberia mire landscapes // Environ. Res. Lett.. – 2011. – V. 6. – № 4, 045214, doi:10.1088/1748-9326/6/4/045214. – URL: http://iopscience.iop.org/1748-9326/6/4/045214/pdf/1748-9326_6_4_045214.pdf (дата обращения 08.12.2011).
8. Гарькуша Д.Н., Фёдоров Ю.А., Тамбиева Н.С. Эмиссия метана из почв Ростовской области // Аридные экосистемы. – 2011. – Т. 14. – № 4. – С. 44–52.
9. Semenov M.V., Kravchenko I.K., Semenov V.M., Kuznetsova T.V., Dulov L.E., Udal'tsov S.N., and Stepanov A. L. Carbon Dioxide, Methane, and Nitrous Oxide Fluxes in Soil Catena Across the Right Bank of the Oka River (Moscow Oblast) // Eurasian Soil Science. – 2010. – Vol.43. – №5. – P. 541–549, doi: 10.1134/S0032180X10050072.

10. Патова Е.Н., Сивков М.Д., Патова А.Д. Эмиссия CH_4 в сообществах переходного болота береговой зоны пойменного эвтрофного озера среднетаёжной зоны (бассейн реки Сысола) // Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны: Тезисы докл. междунаучной конференции.– Сыктывкар: 2011. – С. 97–99.
11. Михайлов О.А., Мигловец М.Н., Загирова С.В., Гончарова Н.Н. Эмиссия парниковых газов в экосистемах мезо-олиготрофного болота средней тайги // Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны: Тезисы докл. междунаучной конференции.– Сыктывкар: 2011. – С. 82–83.
12. Naumov A.V. Modern Gas-Exchange Processes in Forest-Steppe Sphagnum Bogs in the Baraba (West Siberia) // Contemporary Problems of Ecology. – 2011. – Vol. 4. – No. 5. – P. 487–491.
13. Бобрик А.А., Гончарова О.Ю. Продукция парниковых газов в почвах болотных экосистем севера Западной Сибири // Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны: Тезисы докл. междунаучной конференции.– Сыктывкар: 2011. – С. 17–18.
14. Евграфова С.Ю., Гродницкая И.Д., Криницын Ю.О., Сырцов С.Н., Масагина О.В. Эмиссия метана с поверхности почвы в тундровых и лесных экосистемах Сибири // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2010. – №12. – С. 80–86.
15. Walter K.M., Zimov S.A., Chanton J.P., Verbyla D. and F.S. Chapin III. Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming // Nature. – 2006. – V.443. – №7. – P. 71–75. doi:10.1038/nature05040.

METHANE EMISSION MEASUREMENTS FROM RUSSIAN SOILS: INVESTIGATIONS OF SPATIAL VARIABILITY

A.F. Sabrekov, M.V. Glagolev, I.E. Kleptsova

Study represents a list of methane emission investigations conducted in Russia by different research. This list includes test site descriptions consisting of geographical and administrative identity, natural zone and types of studied mire ecosystems.

The authors acknowledge the financial support by the European Union FP7-ENVIRONMENT project PAGE21 under contract no. GA282700.

ДИНАМИКА ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ БОЛОТАМИ СИБИРИ

М.А. Сергеева, М.В. Бенц

Томский государственный педагогический университет, г. Томск, agroecol@yandex.ru

В работе приведено обобщение многолетних данных по эмиссии диоксида углерода и метана болотами Сибири.

Введение. Торфяные болота оказывают существенное влияние на газовый состав атмосферы. С одной стороны они обладают уникальной способностью на долгое время изымать из атмосферы диоксид углерода, накапливая его в виде торфяных залежей, с другой стороны они являются одним из основных источников метана. Важная роль болот в формировании потоков (эмиссии и стока) парниковых газов, послужила причиной их активного исследования [1–7].

На современном этапе исследований большей частью затрагиваются процессы образования и эмиссии метана болотами. Так проводится активное изучение болот на содержание микроорганизмов, участвующих в процессах образования и окисления метана, и оценка их активности [8, 9], проводятся работы по исследованию трансформации органического вещества [10–12]. Принятая в 1992 г. Рамочная конвенция ООН об изменении климата, обязала каждую страну составить свой баланс источников и стоков парниковых газов [13], что явилось причиной появления большого количества работ по измерению эмиссии парниковых газов [3, 4, 14–16].

Следует отметить, что большинство работ посвящены эмиссии метана из болот, вклад которых составляет около 20 % от общего потока CH_4 в атмосферу. Но необходимо учитывать, что болота функционируют не только как нетто-источник метана, но и как нетто-сток углекислого газа. Углерод аккумулируется в торфах, если его фиксация при фотосинтезе растений превышает дыхание и вынос с болотными водами. В относительно холодных климатических условиях Сибири в сочетании с анаэробнозом скорость деструкции органического вещества ограничена, что является причиной образования торфяных болот, которые депонируют углерод в виде торфяной залежи. К сожалению работы российских исследователей по оценке эмиссии CO_2 малочисленны [17–20]. Кроме этого практически все работы по измерению выбросов CH_4 и CO_2 , несмотря на их широкий географический разброс (Сибирь исследована практически полностью), чаще являются разовыми за вегетационный период, а длительные стационарные исследования практически отсутствуют.

Основная задача представленной работы заключается в обобщении данных по эмиссии CO_2 и CH_4 , полученных в результате многолетних исследований на стационарах Томского государственного педагогического университета.

Объекты и методы. На трех болотных стационарах ТГПУ в разное время (1986–2011 гг.) были начаты исследования по динамике эмиссии диоксида углерода, а в дальнейшем метана и закиси азота [21–23].

Болотный стационар «Васюганье» расположен в междуречье рек Бакчар – Икса (в окрестностях дер. Полынянка Бакчарского района Томской области) на отрогах Васюганского болота. На территории стационара для проведения режимных наблюдений был выбран ландшафтный профиль с наблюдательными пунктами. Торфяная залежь рассматриваемого профиля относится к верховому типу.

Стационар «Таган» находится на территории эвтрофного торфяного месторождения «Таган», которое расположено на левобережной террасе р. Томи. Для проведения наблюдений было выбрано три пункта: п. 1 – целинный участок, п. 2 – участок, на котором проведена агролесомелиорация, и выработанный участок болота.

Стационар «Турочак» расположен в Турочакском районе республики Алтай. Для проведения режимных наблюдений было выбрано три торфяных месторождения: Турочакское и Баланак – эвтрофного типа, Кутюшское – мезотрофного типа. Подробная характеристика всех объектов приведена в [24].

Динамика эмиссии CO_2 первоначально изучалась абсорбционным методом [25], а начиная с 2004 г. CO_2 и CH_4 – камерным методом [26].

Результаты исследования и обсуждения. Проведенные исследования показали, что на олиготрофном ландшафтном профиле (Васюганье) суммарный поток CO_2 в разные годы исследований изменяется от 10 до 230 мг $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{час}$. Общая закономерность в динамике эмиссии CO_2 в разные годы исследований выражалась в следующем: максимальные величины отмечались в мае и сентябре, в июне происходило резкое снижение потока диоксида углерода; в июле поток CO_2 вновь возрастал включительно по сентябрь (рис. 1). Следует отметить, что средние величины эмиссии CO_2 в разных пунктах ландшафтного профиля по значениям очень близки и изменяются незначительно, несмотря на разные по мощности торфяные залежи. То есть прогнозируемое увеличение эмиссии на более глубоких залежах (3 м) в процессе изучения это не подтвердилось. По всей вероятности скорость трансформации органического вещества в торфяной залежи определяется, прежде всего, биологической активностью слагающих торфяную залежь торфов. Так в нашем случае мы имели 1 м торфяную залежь в трансаккумулятивной позиции ландшафтного профиля, представляющего геохимический барьер данного ландшафтного профиля.

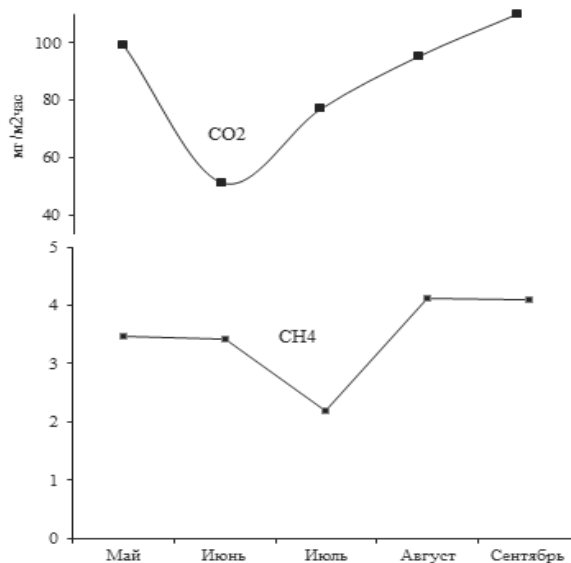


Рисунок 1. Среднеголетняя динамика эмиссии CO₂ и CH₄ на ландшафтном профиле (Васюганье)

Статистический анализ многолетних исследований показал, что интенсивность выделения CO₂ олиготрофным болотом достоверно определяется температурой верхнего слоя залежи (0–50 см), т.е. чем больше прогревается этот слой, тем интенсивнее процесс выделения CO₂. Также для всех пунктов ландшафтного профиля характерно наличие нелинейной зависимости между уровнем болотных вод и выделением диоксида углерода. Вероятно, снижение уровня болотных вод способствует более интенсивному прогреванию торфяной залежи, что в свою очередь приводит к увеличению интенсивности газообмена.

Поток метана на ландшафтном профиле олиготрофно сопряженных болот в разные годы исследований изменялся от 1,2 до 8,6 мгCH₄/м²·час. Наиболее высокие значения эмиссии в среднем для всех лет исследований отмечались в начале и конце вегетационного периода, наименьшие в июле.

Интенсивность выделения CH₄ на ландшафтном профиле достоверно определяется уровнем болотных вод, при снижении которых поток метана уменьшается. Кроме этого интенсивность эмиссии CH₄ достоверно связана с температурой торфяного слоя 0–50 см ($r = 0,81$) и численностью метанотрофов в этом слое ($r = 0,92$).

На эвтрофном болоте «Таган», который получили статус мелиоративно-болотного стационара в 1997 г., наблюдения за эмиссией диоксида углерода сначала велись только на выработанном участке, а в 2007 г. они продолжались еще на двух пунктах (нативном и агролесомелиорации). В этот же период были начаты работы по оценке эмиссии метана.

На нативном участке болота среднеголетняя эмиссия CO₂ аналогична эмиссии олиготрофного болота и определяется экстремальными значениями в пределах 56,13–112,14

мг $\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{час}$. В разные годы исследований на этом участке эмиссия диоксида углерода за вегетационный период изменяется незначительно. Аналогичные закономерности характерны и для многолетней эмиссии CH_4 , значения которой на нативном участке эвтрофного болота изменяются от 5,6 до 1,2 мг $\text{CH}_4/\text{м}^2\cdot\text{час}$ (рис. 2).

Участок на котором была проведена агролесомелиорация, характеризуется более высокими значениями эмиссии диоксида углерода (12,66–390,41 мг $\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{час}$) и метана (4,69–69,379 мг $\text{CH}_4/\text{м}^2\cdot\text{час}$). Повышенные значения эмиссии CO_2 в этом пункте можно объяснить низким УБВ. На протяжении нескольких лет уже в мае УБВ на участке с лесомелиорацией был ниже 20 см от поверхности, в то время как на нативном участке (п.1) этот же период УБВ находился у поверхности. В динамике эмиссии диоксида углерода и метана выделяются общие закономерности, максимальные потоки отмечались в июне, минимальные в мае (рис. 2).

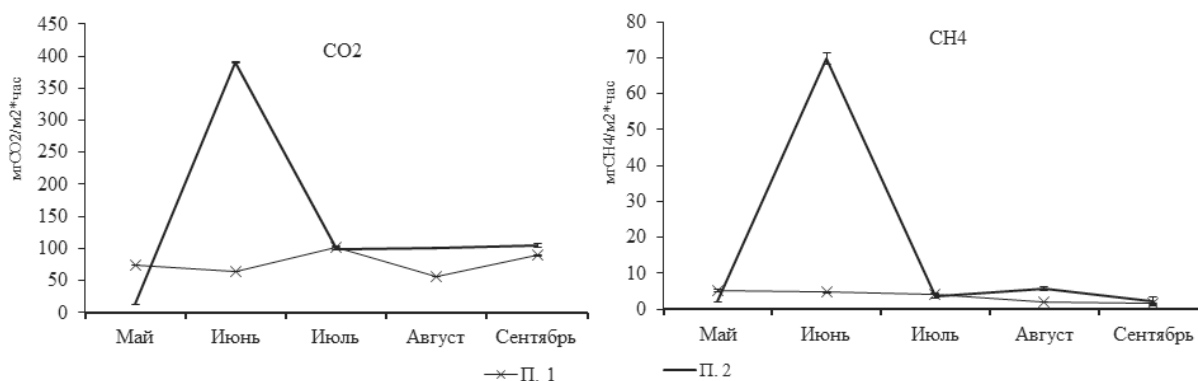


Рисунок 2. Эмиссия диоксида углерода и метана на эвтрофном болоте «Таган»

На выработанном участке болота Таган эмиссия CO_2 изменялась от 20,2 до 937,6 мг $\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{час}$, что в 9 раз превышало поток диоксида углерода с нативного участка, и в 3 раза с участка агролесомелиорации.

Многолетние исследования на выработанном участке позволили выявить зависимость интенсивности эмиссии CO_2 от колебаний окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) в верхнем 40-см слое ($r=0,61$). Высокие положительные значения ОВП повышают интенсивность процесса минерализации органического вещества в торфяных залежах. Установлена также слабая, но достоверная линейная связь интенсивности выделения CO_2 от температуры слоя 0–10 ($r=0,45$) и 0–40 ($r=0,46$) см. Взаимосвязь между количеством выделившегося диоксида углерода и положением болотных вод, согласно выявленному корреляционному анализу, характеризуется нелинейным видом.

Болотный стационар Турочак включает пункты исследований на 3-х болотах: эвтрофные болота Турочак и Баланак и переходное Кутюшское. Величины эмиссии CO_2 и

CH₄ на эвтрофных болотах изменяются в пределах от –40 до 80 мг CO₂/м²*час и от 8 до 11 мгCH₄/м²*час соответственно, т.е. эмиссия примерно такая же, как и на эвтрофном болоте Таган, расположенным в Западной Сибири.

Три года исследований за динамикой эмиссии показали, что на болоте Турочак отмечается постепенное увеличение эмиссии CO₂ на протяжении вегетационного периода. В мае происходит поглощение диоксида углерода (–43,92 мгCO₂ /м²*час), в июле – выделение (22,43 мгCO₂ /м²*час), а в сентябре величина эмиссии достигает максимума (78,14 мгCO₂ /м²*час), превышая летние значения примерно в 3,5 раза. Эмиссия метана характеризуется иными закономерностями. В мае фиксировалось поглощение CH₄ (–9,10 мгCH₄/м²*час), в июле эмиссия метана составила 8,04 мг/м²*час и незначительно увеличилась в сентябре (рис. 3).

На торфяном болоте Баланах из-за высоких УБВ в мае измерения эмиссии CO₂ и CH₄ не проводились. Июль и сентябрь характеризуются практически одинаковыми величинами эмиссии диоксида углерода (61,3–60,05 мгCO₂ /м²*час) и метана (9,8–10,3 мгCH₄/м²*час).

На переходном болоте Кутюшское максимальные значения эмиссии как CO₂, так и CH₄ отмечались в мае, в июле. В сентябре CO₂, и CH₄ выделялось меньше, но если поток CO₂ снижался почти в 2 раза, то CH₄ незначительно (рис. 3).

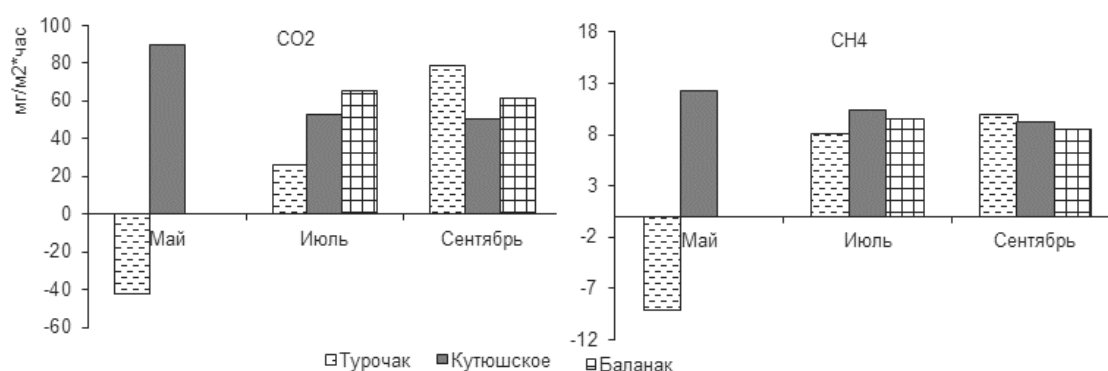


Рисунок 3. Динамика эмиссии CO₂ и CH₄ болотами Горного Алтая

Заключение. Проведенные многолетние исследования показали, что на олиготрофном болоте в разные годы исследований максимальные величины потоков CO₂ и CH₄ отмечались в мае и сентябре, в летний период происходило резкое снижение эмиссии.

Эвтрофное болото Таган на нативном участке характеризуются незначительными колебаниями эмиссии диоксида углерода и метана за вегетационный период. На участке с агролесомелиорацией эмиссия CO₂ и CH₄ за вегетационный период неравномерна, максимальные значения отмечаются в июне. Мелиоративный и выработанный участки болота Таган отличаются большими величинами потоков диоксида углерода и метана.

Проведенный статистический анализ многолетних исследований показал, что интенсивность выделения CO₂ и CH₄ олиготрофным болотом достоверно определяется температурой верхнего горизонта (0–50 см) и УБВ. Аналогичные закономерности выявлены и для эмиссии CO₂ на выработанном участке эвтрофного болота.

Список литературы

1. Gorham, E. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming / E. Gorham // *Ecol. Appl.* – 1991. – P. 182–195.
2. Вомперский, С. Э. Роль болот в круговороте углерода / С. Э. Вомперский // Биогеоценоотические особенности болот и их рациональное использование. – М. : Наука, 1994. – С. 5–37.
3. Panikov, N. S. Cold season CO₂ and CH₄ emission from boreal peat bogs (west Siberia): Winter fluxes and thaw activation dynamics / N. S. Panikov, S. N. Dedysh // *Global Biogeochemical Cycles.* – 2000. – V. 14 (4). – P. 1071–1080.
4. Naumov, A. V. Carbon budget and emission of greenhouse gases in bog ecosystems of Western Siberia / A. V. Naumov // *Eurasian soil Science.* – 2004. – V. 37 (1). – P. 58–64.
5. Ваганов, Е. А. Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода // Ваганов Е.А., Ведрова Э. Ф., Ефремов С. В. и др. // *Сибирский экологический журнал.* – 2005. – № 4. – С. 631–649.
6. Сергеева М.А., Инишева Л.И. Биохимические процессы в олиготрофных торфяных залежах Васюганского болота // *Вестник Томского гос. педаг. ун-та.* – 2008. – Вып. 4 (78). – С. 57–63.
7. Наумов, А. В. Верховые болота лесостепной зоны как источники/сток парниковых газов / А. В. Наумов // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: Матер. Третьего междунар. полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 27 июня – 5 июля 2011). – Новосибирск, 2011. – С. 123–124.
8. Дедыш, С. Н. Ацидофильные метанотрофные бактерии: автореф. дис... докт. биол. наук. – М., 2005. – 44 с.
9. Кизилова, А. К. Оценка состава метаногенных архей в торфяных почвах с помощью ПЦР-ДГГЭ технологии // А. К. Кизилова, М. В. Чистотин, И. К. Кравченко // *Материалы VII Всероссийской с междунар. участием научной школы «Болота и биосфера» (1–3–15 сентября 2010 г.).* – Томск : Изд-во Томского гос. педаг. ун-та, 2010. – С. 42–47.
10. Ефремов, С. П. Экспериментальная диагностика торфонакопления и трансформации органического вещества в лесоболотных экосистемах Западной Сибири / С. П. Ефремов, Т. Т. Ефремова // *Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы Второго междунар. полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 24 августа – 2 сентября 2007 г.).* – Томск : Изд-во НТЛ, 2007. – С. 95–98.
11. Паршина, Е. К. Деструкция растительного вещества в болотных экосистемах таежной и лесотундровой зон Западной Сибири : автореф. дис... канд. биол. наук / Е. К. Паршина. – Томск, 2009. – 23 с
12. Головацкая, Е. А. Деструкция растительного вещества в торфяной залежи Кирсановского болота / Е. А. Головацкая, Л. Г. Абзалимова, Е. В. Порохина // *Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: Матер. Третьего междунар. полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 27 июня – 5 июля 2011).* – Новосибирск, 2011. – С. 102–103.
13. Заварзин, Г.А. Цикл углерода в природных экосистемах России / Г.А. Заварзин // *Природа.* – 1994. – № 7. – С. 15–18.

14. Глаголев, М. В. К вопросу о существовании внутрисуточной динамики потока метана из болотной почвы / М. В. Глаголев, И. В. Жужман, М. В. Чистотин // Эмиссия и сток парниковых газов на территории Северной Евразии. – Пушино, 2003. – С. 32–33.
15. Ефремова, Т. Т. Особенности метаногенеза на олиготрофных болотах Западной Сибири и оценка факторов среды в связи с корректной экстраполяцией потоков CH_4 на большие территории / Т. Т. Ефремова, Н. М. Бажин // Сибирский экологический журнал. – 1998. – № 7. – С. 563–570.
16. Глаголев, М. В. Летне-осенняя эмиссия диоксида углерода и метана осушенными торфяниками, измененными при хозяйственном использовании, и естественными болотами (на примере участка Томской области) / М. В. Глаголев, М. В. Чистотин, Н. А. Шнырев, А. А. Сиринов // Агрохимия. – 2008. – 5. – С. 56–68.
17. Паников, Н. С. Эмиссия углекислого газа и метана из северных болот в атмосферу: динамика, влияние экологических факторов и возможные механизмы регуляции / Н. С. Паников, В. В. Зеленев // Материалы 1-ой междунар. конференции «Криопедология». – Пушино, 1992. – С. 174–181.
18. Кобак, К. И. Роль болот в углеродном цикле (на примере Ленинградской области) / К. И. Кобак, М. С. Боч, О. Н. Кранкина // Материалы III Научной Школы «Болота и биосфера» (13–16 сентября 2004 г.). – Томск : ЦНТИ, 2004. – С. 10–20.
19. Головацкая, Е. А. Интенсивность продуцирования CO_2 сфагновыми торфами в нативных условиях / Е. А. Головацкая, Е. А. Дюкарев // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы Второго междунар. полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 24 августа – 2 сентября 2007 г.). – Томск : Изд-во НТЛ, 2007. – С. 130.
20. Naumov, A. V. West Siberian peatlands: comparative study of greenhouse gas emission in middle Taiga and forest tundra climatic conditions / A. V. Naumov, J. T. Huttunen, M. E. Repo and et. // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы Второго междунар. полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 24 августа – 2 сентября 2007 г.). – Томск : Изд-во НТЛ, 2007. – С. 132–135.
21. Головацкая, Е. А. Элементы углеродного баланса биогеоценозов в системе олиготрофных и эвтрофных болот южно-таежной подзоны Томской области: автореф. дис... канд. биол. наук. – Томск, 2002. – 23 с.
22. Белова, Е. В. Выработанные торфяные почвы южно-таежной подзоны Западной Сибири, свойства и особенности их функционирования : автореф. дис... канд. биол. наук. – Томск, 2003. – 23 с.
23. Сергеева, М. А. Биохимические процессы углеродного цикла в олиготрофных торфяных почвах южно-таежной подзоны Западной Сибири: автореф. дис... канд. биол. наук. – Томск, 2007. – 23 с.
24. Болотные стационары Томского государственного педагогического университета / Л. И. Инишева, В. Ю. Виноградов, О. А. Голубина [и др.]. – Томск: Изд-во Томского гос. педагог. ун-та, 2010. – 118 с.
25. Штатнов, В. И. К методике определения биологической активности почвы / В. И. Штатнов // Доклады Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук. – 1952. – Вып. 6. – С. 27–28.
26. Eilrich, B. Formation and transport of CH_4 and CO_2 in deep peatlands – Presentee a la Faculte des Sciences de l'Universite de Neuchatel (Suisse) pour l'obtention du grade de Docteur es Sciences. – 2002. – p. 168.

GREENHOUSE GAS EMISSION DYNAMIC IN BOGS OF SIBERIA

M. A. Sergeeva, M.V. Bents

In article long-term results of investigation of emission carbon dioxide and methane on bogs of Siberia are considered.

ГРУППЫ ФАЦИЙ БОЛОТ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А. А. Синюткина

Томский государственный университет, г. Томск, Россия, ankalaeva@yandex.ru

В статье рассмотрены принципы ландшафтной классификации болотных фаций юго-востока Западно-Сибирской равнины. Представлена характеристика наиболее распространенных геосистем заболоченных территорий, основанная на анализе данных полевых исследований, проведенных автором в 2008–2011 гг. Проведенные исследования раскрывают ландшафтное разнообразие и дают возможность проведения оценки устойчивости болот рассматриваемой территории.

Территория юго-востока Западной Сибири отличается высокой заболоченностью и значительным разнообразием болотных ландшафтов. Сложная структура болот требует для их изучения применения комплексного подхода с учетом как отдельных компонентов геосистемы так и взаимодействий между ними. Предложенная автором классификация разработана с учетом комплексного строения болот позволяет раскрывать закономерности развития болотных геосистем, а также дать оценку современного состояния заболоченных территорий юго-востока Западно-Сибирской равнины.

Объектом исследования являются болота и заболоченные леса юго-востока Западно-Сибирской равнины. Заболоченность рассматриваемой территории превышает 50%. Наблюдаются значительные различия в степени заболоченности и типе преобладающих болотных ландшафтов. Наибольшей заболоченностью отличаются бассейны рек Тым, Кеть, Васюган, Чая, пойма р. Обь, менее заболочены – бассейны рек Томь, Чулым. Для оценки ландшафтного разнообразия болот изучаемой территории автором разработана классификация болотных ландшафтов. За основную единицу классификации болот принята ландшафтная фация (объединение элементарных геомеров по В.Б. Сочаве), подчиненная геомерам более высокого ранга. При разработке классификации использовался принцип «снизу», когда таксономические единицы низшего ранга объединялись в группировки более высокого иерархического уровня. В рамках данной работы ландшафтные фации по схожести растительных ярусов объединялись в группы фаций. Группы фаций образуют классы фаций с учетом их водно-минерального питания (олиготрофные, мезотрофные, эвтрофные). Кроме собственно болотных, классификация включает заболоченные лесные и луговые фации, подверженные процессам болотообразования [1].

В основу описания выделенных групп фаций положены материалы полевых ландшафтных исследований, проведенных автором в 2007–2011 гг. Ландшафтные описания выполнены на территории бассейнов рек Кеть, Чулым, Чая, в долинах рек Томи, Оби и др. (всего более 100 точек). Полевые ландшафтные описания включали в себя определение характеристик мезо- и микрорельефа, растительности, строения торфяной залежи,

подстилающих минеральных пород и др. Далее представлена краткая характеристика основных групп фаций, выделенных на территории юго-востока Западно-Сибирской равнины:

Олиготрофные болота. *Комплексная грядово-мочажинная и грядово-озерковая с древесно-кустарничковыми грядами и травяно-моховыми мочажинами группа фаций.* Болота данной группы фаций преобладают на центральных частях и склонах крупных верховых болотных массивов. Микрорельеф грядово-мочажинный и грядово-озерковый. Мочажины часто осложнены кочками. Уровень болотных вод над поверхностью мочажин. Наблюдаются различия в растительном покрове гряд и мочажин. В мочажинах древесная растительность отсутствует. Кустарничковый ярус с проективным покрытием около 20 % образован подбелом, клюквой кассандрой. Травяной покров представлен шейхцерией, росянкой, очеретником (70 %). Сфагнум фускум с проективным покрытием 80 % образует моховой ярус. На грядах произрастает сосна в угнетенном состоянии. Кустарничковый ярус представлен кассандрой, багульником, подбелом, клюквой с общим проективным покрытием 80 %. Травяной покров отсутствует. Мохово-лишайниковый покров образован сфагновыми мхами с преобладанием сфагнум фускум (70 %) и лишайниками (30 %). Мощность торфяной залежи 2 м и более. Торфяная залежь имеет сложное строение и сложена верховыми торфами топяного подтипа с низкой степенью разложения.

Древесно-кустарничково-моховая группа фаций. Древесно-кустарничково-моховые фации распространены на склонах и вершинах крупных верховых болотных массивов, образуют отдельные небольшие болота. Микрорельеф фаций кочковатый и крупнокочковатый. Положительные формы образованы моховыми подушками и приствольными повышениями. В крупных понижениях встречаются небольшие по размеру осоковые кочки. Высота положительных форм в среднем составляет 25–30 см, иногда достигает 60 см, размере меняются от 40–50 см до 150–200 и более. Положительные формы в большинстве фаций занимают 50–70 % поверхности болота. Уровень болотных вод обычно ниже средней поверхности фаций. Древесная растительность представлена сосной, реже встречается кедр. Высота деревьев колеблется от 0,5 до 5 м. Проективное покрытие крон не превышает 10 %. Проективное покрытие кустарничкового яруса достигает 70–90%. Широко развит кустарничковый ярус, проективное покрытие которого достигает 70–90 %. Доминирующими являются багульник и кассандра, реже встречаются подбел и клюква. Травяной покров их осоки и морошки имеет проективное покрытие не более 30–40 % и развит не на всех фациях древесно-кустарничково-моховой группы. Моховой покров образован сфагновыми мхами с проективным покрытием 90–100 %. Верхний горизонт торфяной залежи сложен верховыми торфами моховой группы с преобладанием фускум-

торфа с низкой степенью разложения. Глубже следует слой сосново-сфагнового верхового торфа со средней степенью разложения. В придонном слое часто встречается переходный древесно-сфагновый торф. Мощность торфяной залежи колеблется от 1 до 4 м и более.

Мезотрофные болота. *Древесно-моховая и древесно-травяно-моховая группа фаций.* Болота данной группы фаций часто встречаются на окраинах крупных верховых болотных массивов, на террасах рек, в ложбинах древнего стока. Для древесно-моховых и древесно-травяных фаций характерен кочковатый и крупнокочковатый микрорельеф с вытянутыми формами со средним размером в плане 60–100 см и высотой 25 см. Амплитуда колебаний высот достигает 40 см. В большинстве случаев положительными формами микрорельефа занято около 60 % площади фаций. Уровень болотных вод расположен ниже средней поверхности болота. Древесный ярус образован сосной, реже встречаются береза, кедр. Средняя высота древесного яруса 7–8 м, диаметр стволов – менее 10 см. Сомкнутость яруса незначительна – менее 0,15. Деревья находятся в угнетенном состоянии, стволы часто покрыты лишайниками, нижние ветви сухие. Большое количество поваленных деревьев и усохших стволов. Проективное покрытие кустарничками около 30 %. Кустарнички – багульник, кассандра, клюква – произрастают преимущественно на положительных формах микрорельефа. Травяная растительность занимает около 50 % фаций. Травяной покров образован вахтой трехлистной, сабельником болотным, осокой дернистой, разными видами хвощей. Проективное покрытие мхами 70–100 %. Наиболее распространены сфагновые мхи, реже встречаются гипновые.

Торфяная залежь древесно-моховых фаций обычно соответствует современному растительному покрову. Для фаций наиболее характерна переходная лесотопяная торфяная залежь, мощность которой обычно не превышает 2 м.

Древесная группа фаций. Древесные фации распространены преимущественно на террасах рек. Для них характерен кочковатый и крупнокочковатый микрорельеф с округлыми формами со средним размером в плане 60–80 см и высотой 40 см. Микрорельеф отличается значительными амплитудами колебаний высот (более 80 см). В большинстве случаев положительными формами микрорельефа занято около 60 % площади фаций. Уровень болотных вод ниже средней поверхности болота. Мезотрофные фации древесной группы отличаются развитием древесного яруса высотой до 15–20 м с сомкнутостью крон 0,15–0,2. В видовом составе доминирует сосна, реже встречаются береза, ель, кедр. Часто деревья находятся в угнетенном состоянии. На положительных формах микрорельефа распространены кустарнички – багульник, кассандра, голубика, изредка встречаются черника и клюква. Проективное покрытие кустарничковым ярусом в среднем составляет 30 %. Видовой состав травяной растительности разнообразен. На древесных болотах

произрастают разные виды осок, белокрыльник, сабельник, вейник, вахта, морощка, кипрей, хвощи. Травы занимают около 50 % поверхности фаций. Проективное покрытие мхами колеблется от 40 до 90 %. Наиболее распространены сфагновые мхи, изредка встречаются гипновые.

Торфяная залежь обычно сложена древесным, древесно-сфагновым и древесно-осоковым переходными торфами со степенью разложения более 20 %. В большинстве случаев залежь однородна по глубине, что свидетельствует о постоянстве в развитии болот данной группы.

Травяно-моховая группа фаций. Травяно-моховые болота распространены на окраинах переходных болотных массивов, на контакте верховых и низинных болот. Микрорельеф фаций представлен округлыми осоковыми кочками и вытянутыми моховыми подушками размером 40*80 см и средней высотой 20 см. Амплитуда колебаний высот обычно не превышает 40 см. Уровень болотных вод стоит близко к поверхности или выше. Древесная растительность практически отсутствует. Иногда встречаются отдельные экземпляры сосны и березы высотой менее 1 м в угнетенном состоянии. Кустарничковый ярус образуют кассандра, багульник, подбел, клюква. Проективное покрытие меняется от 20 до 60 %. Видовой состав травяного покрова образуют осоки, белокрыльник, вахта, шейхцерия, хвощи, встречаются отдельные экземпляры росянки. Моховой покров занимает 90–100 % поверхности болота. Доминирующими являются сфагновые мхи. Торфяная залежь имеет сложное строение и сложена сфагновым, осоково-сфагновым, древесно-сфагновым торфами с разной степенью разложения. Придонные горизонты отдельных фаций сложены низинными торфами. Мощность торфяной залежи обычно не превышает 3 м.

Эвтрофные болота. *Древесная группа фаций.* Древесные фации распространены на краевых участках низинных болот, в поймах рек. Микрорельеф низинных болот древесной группы кочковатый и часто осложнен выворотнями, поваленными стволами деревьев. Значительные по высоте и размеру бугры образованы приствольными повышениями. Преобладают осоковые кочки высотой 30 см, диаметром 15–30 см. Положительными формами микрорельефа занято около половины поверхности фаций. Микрорельеф осушенных фаций древесной группы ровный или слабоволнистый без выраженных кочек и бугров. Уровень болотных вод ниже средней поверхности фаций. Фации отличаются выраженным древесным ярусом с высотой деревьев до 25 м и сомкнутостью крон более 50 %. Деревья в угнетенном состоянии, встречаются усохшие деревья. Подлесок разрежен, образован ивами, смородиной с проективным покрытием 10–20 %. На приствольных повышениях встречаются кустарнички – багульник, брусника, редко клюква с проективным покрытием 10 % и менее. Видовой состав травяного яруса разнообразен. Здесь произрастают

осоки, вахта, папоротник, сабельник, морощка, костяника, кипрей, хвощ, камыш с проективным покрытием более 50 %. Моховой покров с проективным покрытием более 50 % образован гипновыми мхами, изредка встречаются сфагновые мхи. Мощность торфяной залежи достигает 4 м. Залежь образована торфами древесной, древесно-травяной и древесно-моховой групп с высокой степенью разложения. Придонные горизонты образованы гипновыми и осоково-гипновыми торфами.

Древесно-травяно-моховая и кустарничково-травяно-моховая группа фаций. Болота данной группы фаций широко распространены на террасах крупных и средних рек. Микрорельеф фаций образован округлыми осоковыми кочками и вытянутыми моховыми подушками, часто осложнен валежником. Высота кочек может достигать 50 см и более, но в среднем составляет около 30 см, средний диаметр осоковых кочек 25 см, другие положительные формы – 50–60 см. В большинстве случаев положительными формами занято более половины поверхности фаций. Уровень болотных вод расположен близко к поверхности болота. Высота деревьев обычно не превышает 5–7 м с проективным покрытием не более 15 %. Кустарниковый ярус представлен ивами. В кустарничковом ярусе произрастают карликовая березка, кассандра, голубика, редко багульник и клюква с проективным покрытием не более 50 %. Травяная растительность занимает 40–80 % поверхности фаций. В видовом составе преобладают осоки, хвощи, вахта, сабельник, вейник и др. Моховой покров, проективное покрытие которого достигает 60 %, представлен гипновыми и сфагновыми мхами. Мощность торфяной залежи меняется от 0,4 до 4 м и более. В строении залежи преобладают осоково-гипновый и осоково-сфагновый низинные торфа со средней степенью разложения.

Травяно-моховая и травяная группа фаций. Травяно-моховые и травяные фации встречаются в центральных частях низинных болот, в поймах рек. Микрорельеф мелкопочковатый, слабоволнистый, почти ровный. Высота кочек достигает 40 см. Положительными формами занято более половины поверхности фаций. Уровень болотных вод превышает среднюю поверхность болот, что обуславливает отсутствие здесь древесной растительности. Редко встречаются отдельные экземпляры березы в угнетенном состоянии, высотой не более 1–2 м. Кустарниковый ярус образован ивами с проективным покрытием около 10 %. Травяной ярус занимает 80–100 % поверхности болота и представлен следующими видами: хвощи, осоки, белокрыльник, сабельник, вахта, пушица, камыш, рогоз, вех и др. Проективное покрытие моховым покровом – 20–30 %. Произрастают как сфагновые, так и гипновые мхи. Мощность торфяной залежи меняется от 1,5 до 4 м и более. Преобладают осоковый, осоково-гипновый, осоково-сфагновый низинные торфа, придонные горизонты сложены низинными торфами древесной группы.

Заболоченные леса. *Древесная группа фаций.* Заболоченные леса широко распространены в переходной зоне между болотными массивами и суходольными лесами. Микрорельеф обычно крупнокочковатый. Крупные формы образованы приствольными буграми между которыми расположены осоковые кочки. Микрорельеф осложнен поваленными стволами, выворотнями. Средняя высота 25–30 см. Формы часто без четких контуров, неправильных форм и в размере достигают 100*100 см. Уровень болотных вод ниже средней поверхности болота. В древесном ярусе произрастают кедр, береза с доминированием сосны. Высота деревьев колеблется в пределах 10–20 м. Состояние яруса угнетенное. Кустарничковый ярус образован кассандрой, багульником, брусникой, клюквой. Проективное покрытие на разных фациях меняется от 20 до 90 %. Травяной покров с проективным покрытием 50–70 % образован преимущественно осокой дернистой, реже встречаются вейник, белокрыльник, морощка. Моховой покров представлен сфагновыми, иногда гипновыми мхами с проективным покрытием до 70–80 %. Торфяная залежь с мощностью менее 1 м образована торфами древесной, древесно-моховой и древесно-травяной групп со средней и высокой степенью разложения.

Предложенная классификация позволит провести ландшафтное картографирование заболоченных территорий Западно-Сибирской равнины. Группа фаций является основной единицей картографирования при составлении среднемасштабных ландшафтных карт. Проведенное исследование раскрывает ландшафтное разнообразие и дает возможность проведения оценки устойчивости болот и заболоченных земель рассматриваемой территории.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (ГК № П742., № 14.740.11.0199)

Список литературы

1. Синюткина А.А. Классификация болотных геосистем Томской области // Вестник Томского государственного университета. – 2012. – № 357. – С. 192–195.

FACIES GROUP OF WEST SIBERIA SOUTH-EAST MIRE

Sinyutkina Anna

The paper represents the principles of landscape classification mire facies of south-east West Siberian. The characteristics of the most common wetland geosystems based on the analysis of data from field studies conducted by the author in 2008-2011. The studies reveal the landscape diversity and provide an opportunity to assess the stability of the wetlands.

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ЛЕСНЫХ И ТУНДРОВЫХ ПОЧВ КРИОЛИТОЗОНЫ СЕВЕРА СИБИРИ

С.Н. Сырцов, И.Д. Гродницкая

Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН, г. Красноярск,
e-mail: kaideil@list.ru, igrod@ksc.krasn.ru

Изучена микробная активность в почвах разных типов болот лесных экосистем Центральной Эвенкии и в тундре севера Сибири (дельта р. Лены). Определены респирометрическая активность микробных сообществ, способность к метанотрофии заболоченных участков, мезотрофных и полигональных болот. Установлены функциональные особенности микробоценозов и различия в скорости трансформации органических веществ в криогенных болотах северной тайги и тундры.

Введение. Важнейшим фактором лесорастительной способности почв являются биогеохимические функции микробных сообществ – мобилизация и трансформация азот- и углеродсодержащих комплексов, эмиссия диоксида углерода (CO_2) и метана (CH_4). Заболоченные и переувлажненные территории играют критическую роль в управлении потоками основных парниковых газов Киотского протокола.

В торфяной залежи в анаэробных условиях разложение органического вещества сопровождается выделением метана. По оценкам разных авторов, от 0.5 до 7 % первичной фитопродукции болотного фитоценоза превращается в CH_4 , вклад болотных экосистем в глобальную эмиссию метана может достигать 15 %. Полевые измерения величин эмиссии метана в болотах Западной Сибири показали, что они высоки и варьируют от 0.5 до 40 мг $\text{CH}_4\text{-C/ (чм}^2\text{)}$ [1]. В современных тундровых почвах, болотах и осадках озер летом повсеместно происходит бактериальное метанообразование, сопровождающееся эмиссией метана с поверхности тундры – до 7 % глобального потока CH_4 в атмосферу, величина потока варьирует от 0 до 250 мг/(м²сут) [2].

Количество выделяемого в атмосферу CO_2 и CH_4 зависит от температуры и влажности почвы, типа растительности, а также от активности почвенного микробного сообщества

Целью исследования являлось определение и сравнение микробной активности и способности к метанотрофии разных типов болот, расположенных в зоне распространения вечной мерзлоты двух регионов Сибири, отличающихся между собой климатическими условиями (резко-континентальные и субарктические).

Объекты и методы. Изучались микробные сообщества заболоченных участков (Б1, Б2, Б4) и мезотрофного болота (Б3) Центральной Эвенкии, встречающиеся локально в условиях застойного увлажнения на низких и высоких надпойменных террасах рек Кочечум и Нижняя Тунгуска (64°с.ш. 100°в.д.). В субарктическом регионе исследовали два полигональных болота (Б1С и Б2С), находящихся на о. Самойловский (дельта р. Лена, 72°с.ш. 126°в.д.).

Одновременно в двух исследуемых регионах из болот и заболоченных участков по всему профилю отбирались почвенные образцы, в которых респирометрическими методами при использовании газового хроматографа Agilent 7890A (США), определялась концентрация CO₂, CH₄, рассчитывались микробная биомасса (БМ), интенсивность дыхания (БД), микробный метаболический коэффициент (QR), способность к метанотрофии.

Результаты исследования и обсуждение. Отмечено, что микробиологическая активность торфяных почв заболоченных лиственничников и переходного болота, расположенных в криолитозоне Центральной Эвенкии выше, чем в полигональных субарктических (табл. 1). Наиболее высокими значениями микробной биомассы отличалось олиго-мезотрофное болото (Б3) – 671 мкг С/г почвы на бугре и 511 мкг С/г почвы в западине. Значения микробной биомассы в мезотрофных болотах выше в 3–27 раз (рис.1), а интенсивность базального дыхания в 28–90 раз выше (табл. 1), чем в полигональных.

Таблица 1

Микробная активность исследуемых болот

Болото	Глубина, см	БД, мкгС-CO ₂ / ч / г	БМ, мкг С/г почвы	QR	Метанотрофия, мкг CH ₄ / г почвы / ч
Болото 1 (о. Самойловский)					
Бугор	0-10	0.601	149	0.02	0.0035
	10-20	0.070	18	0.03	0.0450
	20-35	0.101	13	0.04	0
Западина	0-10	0.283	175	0.05	0.0795
	10-20	0.079	46	0.06	0.0566
	20-35	0.042	14	0.11	0.0050
Болото 3 (Тура)					
Бугор	0-10	10.64	671	0.31	0.0091
	10-20	12.41	532	0.32	0.0091
	20-30	16.61	431	0.52	0.0104
	30-40	12.14	312	0.53	0.0124
Западина	0-10	27.48	511	0.96	0.0085
	10-20	10.46	317	0.45	0.011
Болото 4 (Тура)					
Бугор	0-5	4.13	295	0.19	0.0112
	5-10	2.42	252	0.13	0.0092
Западина	0-10	8.01	495	0.22	0.0108
	10-20	6.76	467	0.20	0.0084

Установлено, что функциональная активность всех болот почвенных микробоценозов зависит от близости залегания мерзлоты. Это проявляется в большей интенсивности микробиологических и биохимических процессов верхних почвенных горизонтов – микробная активность убывает с глубиной, достигая минимума в надмерзлотном слое, что особенно выражено в полигональных болотах.

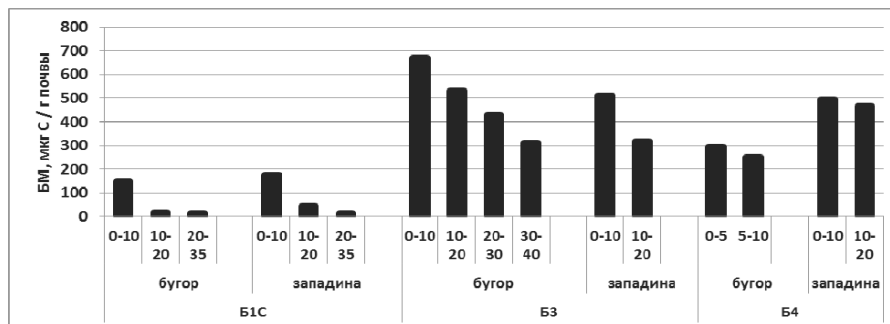


Рисунок 1. Значения микробной биомассы (БМ) в почве исследуемых болот

В полигональных болотах способность к метанотрофии выше, чем в олиго-мезотрофных в 1.2–2.7 раза.. Наиболее низкие значения метанотрофии зарегистрированы в Б4 (0.01 мкг $\text{CH}_4/\text{г}$ час) (табл. 1., рис. 2).

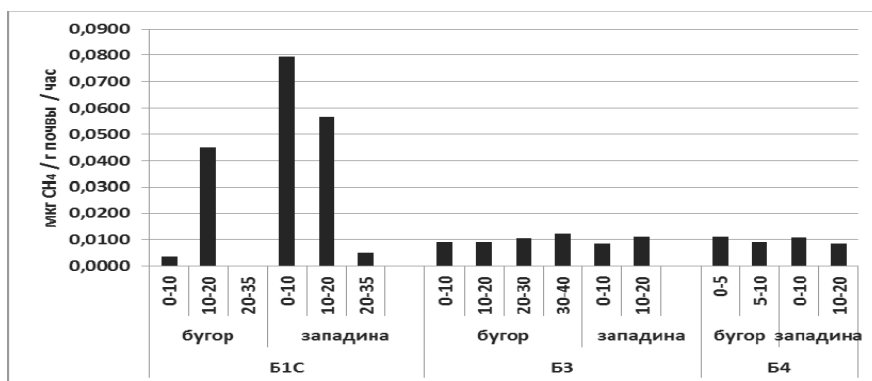


Рисунок 2. Метанотрофная активность в исследуемых болотах

Экофизиологическое состояние микробсообществ ($QR < 1$) всех болот находится в пределах природной вариабельности и свидетельствует об их экологической устойчивости. Низкие значения коэффициента ($QR < 0.2$) в полигональном болоте Б1С указывают на его низкую трофность.

Работа поддержана проектами РФФИ (11-05-00374-а, 11-04-01884-а).

Список литературы

1. Паников Н.С. Эмиссия метана из верховых болот Западной Сибири в зависимости от характера растительного покрова / Н.С. Паников, М.В. Глаголев, И.Л. Кравченко [и др.] // Журн. экол. химии. – 1997. – Т. 6. – №1. – С. 59–67.
2. Dedysh S.N. Methanotrophic bacteria of acid sphagnum bogs // Microbiology. – 2002.–V.71. – № 6. – P. 638–649.

THE PROPERTIES OF MICROBIAL COMMUNITIES FUNCTIONING IN FOREST AND TUNDRA PERMAFROST SOILS OF NORTHERN SIBERIA

S.N. Syrtsov, I.D. Grodnitskaya

Soil microbial activity was studied in different bog types in forest (Central Evenkiya) and tundra (r. Lena delta) ecosystems of northern Siberia. Respiratory activity and methanotrophy ability of soil microbial communities were determined in wetlands, mesotrophic and polygonal bogs. Functional properties of microbocenosis and differences in rate organic matter transformation were determined in permafrost bog soils of northern taiga and tundra.

МОДЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ БОЛОТНЫХ ВОД С УЧЕТОМ ИСПАРЕНИЯ

Д.М. Шумакова^{*}, Е.А. Дюкарев^{**}, М.В. Решетько^{*}

^{*} Томский политехнический университет, г. Томск, Россия, e-mail: shumakovadm@mail.ru

^{**} Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г.Томск, Россия,
e-mail: egor@imces.ru

В работе представлены результаты модельных расчетов положения уровня вод относительно поверхности болота с использованием уравнения водного баланса и результатов натурных наблюдений.

Введение. Положение уровня вод относительно поверхности болота является не только основным показателем степени обводненности болот, но и важной характеристикой водного режима болот: стока, испарения, влагосодержания, и т. д. Как известно, изменения уровня воды на болотах определяются целым рядом факторов: осадками, испарением, стоком и водно-физическими свойствами деятельного слоя болот. Поскольку структура и водно-физические свойства деятельного слоя различных болотных микроландшафтов отличаются друг от друга, то даже при одних и тех же погодных условиях колебания уровней воды будут различаться если не характером хода уровня, то его амплитудой [1].

В настоящей работе представлены результаты модельных расчетов положения уровня вод относительно поверхности болота с использованием уравнения водного баланса и результатов натурных наблюдений. Исследование проводилось на территории геофизического стационара «Васюганье» Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, на Бакчарском болотном массиве (площадью около 1400 км²), расположенном в междуречье рек Икса и Бакчар в Бакчарском районе Томской области. Растительность представлена сосново-кустарничково-сфагновым фитоценозом [2]. Ряды осадков получены с помощью автоматического осадкомера, а ряды уровней вод – с использование автономного дифференциального измерителя давления.

Изменение уровней воды. Анализ хода среднесуточных значений уровня болотных вод показал, что во время или после дождя происходит резкое повышение уровня воды, а затем идет медленное его понижение. Временной ход уровней воды и сумм суточных осадков представлен на (рис. 1). В период с 16 по 24 апреля происходит непрерывающееся повышение уровня воды (в начале графика). В данный период происходило интенсивное снеготаяние на всей территории болот, поступление растаявшей воды в торфяную залежь. При прекращении таяния снега начинается медленный спад уровня воды вследствие стекания воды с болотного массива в русловую сеть. За последующий период колебания имеют меньшую амплитуду.

В ряде случаев происходит запаздывание в изменении уровня вод после интенсивных дождей, что связано с дотеканием дождевой воды с вышестоящих элементов болота.

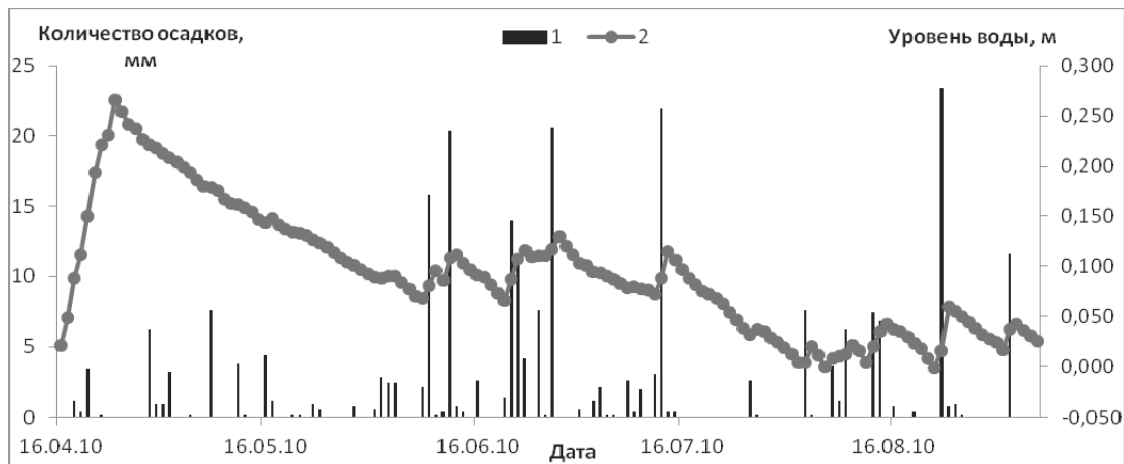


Рисунок 1. Изменение уровней воды и количества осадков за период с 16 апреля по 6 сентября 2010г. (1 – колебания УБВ, 2 – количество осадков)

Выполненный анализ хода уровней болотных вод и сумм осадков суточного разрешения позволил сформулировать гипотезы, которые далее использованы для разработки модели уровневого режима болотных вод.

Моделирование временного хода УБВ. Уравнение водного баланса будет включать в себя приходную часть, состоящую из получения влаги за счёт атмосферных осадков и притока воды с прилегающих повышенных частей рельефа. Тогда уравнение баланса запишется следующим образом:

$$dW = W_0 - W_1 = k_0 P_0 + k_1 P_1 + (-k_S)(W_0 - W_m) - E,$$

где W_0 – уровень воды в текущий день; W_1 – уровень воды в предыдущий день; P_0, P_1 – суммы осадков текущего и предшествующего дня; k_0, k_1 – коэффициенты трансформации осадков, показывающие, какая доля осадков идет на изменение уровня; k_S – коэффициент интенсивности стока; W_m – минимальный уровень воды, после достижения которого сток прекращается; E – величина испарения.

Для расчетов испарения использован метод теплового баланса [3], в котором величина испарения связана с радиационным балансом и скоростью приземного ветра соотношением:

$$E = (1 + k_E V_B) * a R,$$

где k_E – коэффициент интенсивности испарения; V_B – скорость ветра на высоте 10м (м/сек); a – коэффициент пропорциональности (мм/см²·ккал); R – сумма радиационного баланса поверхности болота (ккал/см²·мес).

Используя dW в качестве зависимой переменной, а остальные переменные как предикторы, можем определить коэффициенты уравнения множественной регрессии.

Проведенный анализ в системе Statistica 8.0 показал, что все коэффициенты являются значимыми на уровне 0,01.

По имеющимся значениям коэффициентов можем определить величину минимального уровня, после которого сток практически прекращается $W_m = k_s W_m / k_s$. Полученный уровень располагается на глубине 19, 37 и 42 см для 2009, 2010 и 2011 гг. соответственно. При падении уровня вод до рассчитанных значений сток с болота существенно уменьшается, либо его величина достаточно мала, чтобы говорить, о том, что стока нет. Минимальный теоретически возможный уровень воды в болоте для 2011 и 2010 гг. в два раза ниже, чем для 2009, что говорит о различных закономерностях гидрологического режима исследуемого участка в 2009, 2010 и 2011 гг.

На рисунке 2 приведены графики хода наблюдаемых и расчетных уровней воды. Как видим, прогнозные значения, в целом удовлетворительно повторяют ход наблюдаемых изменений. Наибольшие расхождения между прогнозными и фактическими значениями получаются для пиковых всплесков в изменении уровня воды, для которых предсказанные значения гораздо выше наблюдаемых.

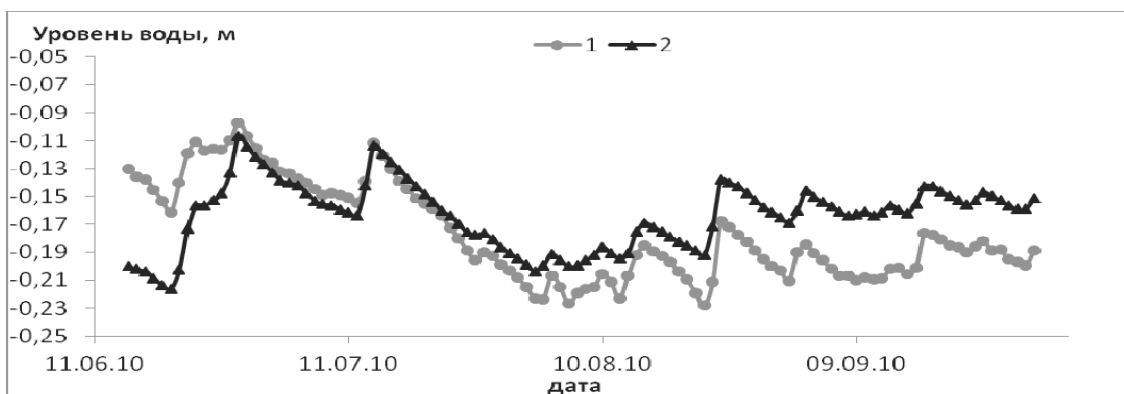


Рисунок 2. Относительное изменение уровней воды за период с 15 июня по 30 сентября 2010 г. (1 – измерения, 2 – расчет)

Средняя ошибка прогноза для всего ряда составляет 0,0038 м. Значение коэффициента детерминации ($R^2 = 0,77$), говорит о хорошем приближении линии регрессии к наблюдаемым данным и о возможности построения качественного прогноза. Так как значения не близки к единице, предполагается, что на изменение уровня воды влияют и другие параметры, не учтенные в нашей модели, или между переменными существуют сложные нелинейные взаимосвязи.

Рассматривалась зависимость изменения уровней болотных вод на исследуемой точке и уровней, рассчитанных по осадкам на ближайшей метеостанции Бакчар (рис. 3). В целом, кривые повторяют ход друг друга. Следовательно, значения осадков станции Бакчар могут быть использованы для расчёта изменения уровней болотных вод за период с 1999 по 2011 гг.

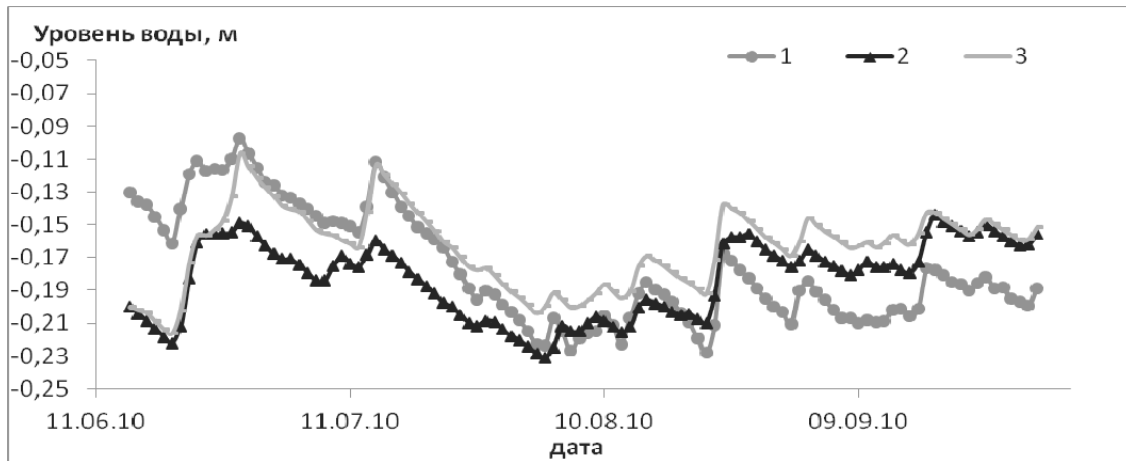


Рисунок 3. Относительное изменение уровней воды за период с 15 июня по 30 сентября 2010 г. (1- измерения, 2 – расчет по осадкам м/с Бакчар, 3 – расчёт по осадкам стационара)

Заключение. Разработанная модель удовлетворительно согласуется с данными натурных наблюдений. Водный режим болотных микроландшафтов хорошо коррелирует с метеорологическим режимом даже на прилегающих к ним суходолах. Поэтому по полученным на суходольных метеостанциях данным можно рассчитать уровень болотных вод, а также испарение. Таким образом, уровни болотных вод, рассчитанные с использованием данных осадков метеостанции Бакчар, могут быть использованы для моделирования изменения уровней вод на исследуемом участке болота или динамики процессов в болотных экосистемах.

Список литературы

1. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири / Под. ред. С.М. Новикова. – СПб. : ВВМ, 2009. – 536 с.
2. Головацкая Е.А., Порохина Е.В. Ботаника с основами фитоценологии: Биологическая продуктивность болотных биогеоценозов: учебно-методическое пособие / Под ред. к.б.н., доцента В.А. Дырина. – Томск: Изд-во Томского гос. пед. ун-та, 2005. – 64 с.
3. Рекомендации по расчёту испарения с поверхности суши. – Л. Гидрометеиздат, 1976. – 96 с.

MODEL CALCULATION OF CHANGES IN LEVELS OF BOG WATERS IN VIEW OF EVAPORATION

D.M. Shumakova, E.A. Dyukarev, M.V. Reshetko

The paper presents results of model calculations of the surface water level relative to the bog with the water balance equation and the results of field observations.

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСТЕНИЙ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ

Э.Р. Юмагулова

Нижевартовский государственный гуманитарный университет, г. Нижевартовск,
e-mail: elvirau2009@yandex.ru

Анализируются данные по особенностям интенсивности фотосинтеза, транспирации и дыхания листьев растений верховых болот Среднего Приобья. Растения верховых болот разных жизненных форм характеризуются невысокой скоростью физиологических процессов, что связано со стабилизацией жизненных функций в неблагоприятных условиях.

Введение. Ханты-мансийский автономный округ, в том числе Нижевартовский район входят в зону таежных лесов, большая площадь которых занята болотами верхового типа. Болота выполняют важную функцию в таежном биоме: депонируют большое количество углекислого газа, выполняют водорегулирующую роль, выступают как аккумуляторы огромного количества загрязнителей.

Растительность болот характеризуется присутствием специализированных групп растений, произрастающих в неблагоприятных условиях (обилие влаги и ее застойность или слабая проточность, низкая теплопроводность, бедность торфа элементами минерального питания, высокая кислотность почвенного раствора, низкое содержание кислорода, постоянное нарастание сфагновой дернины и торфа) [1, 2, 3].

Существует достаточное количество работ по характеристике растительных сообществ данных видов биоценозов [2, 4, 5, 6], однако эколого-физиологические особенности отдельных видов растений болот в настоящее время изучены недостаточно.

Объекты и методы. Исследования проводились с 2002 по 2011 годы в период с июня по август месяц на верховом болоте в окрестностях п. Высокого Нижевартовского района. Все определения велись в солнечную погоду, в дневной период времени. Температура воздуха составляла 26–28 °С, почвы 12–14 °С.

Листья у кустарничков для исследования отбирали со среднего яруса, у трав из средней части растения, у деревьев из средней части кроны южной стороны в трех-четырёх кратной повторности. Возраст хвои составлял 3–4 года. Полученные результаты достоверны на уровне 95 %, т.е. $P < 0,05$.

Изучение эколого-физиологических особенностей проводились с использованием 6 видов эковиоморф [7]: 1) вечнозеленые кустарнички брусничного типа – мирт (*Chamaedaphne calyculata*), клюква болотная (*Oxycoccus palustris*), подбел многолистный (*Andromeda polifolia*); 2) вечнозеленые кустарнички эрикоидного типа – багульник болотный (*Ledum palustre*); 3) травы с длинными узкими складчатыми или свернутыми листьями – пушица россиолум (*Eriophorum rossiolum*), осока острая (*Carex acuta*), пушица влагилищная

(*Eriophorum Vaginatatum L.*); 4) травы с широкими толстыми жестковатыми листьями – морошка приземистая (*Rubus chamaemorus*); 5) летне-зеленые листопадные кустарнички – голубика обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea*), берёза карликовая (*Betula pebescens*); 6) деревья – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), сосна сибирская (*Pinus sibirica*).

Были исследованы особенности фотосинтеза, дыхания и водообмена. Определение интенсивности фотосинтеза проводились по приросту сухого вещества в единицу времени, дыхание по выделению углекислого газа, транспирацию весовым методом по Иванову [8, 9].

Результаты исследования и обсуждение. На основе проведенных исследований нами было показано, что интенсивность фотосинтеза у изученных болотных растений колеблется в среднем от 8,63 до 27 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2/\text{ч}$. (рис.1).

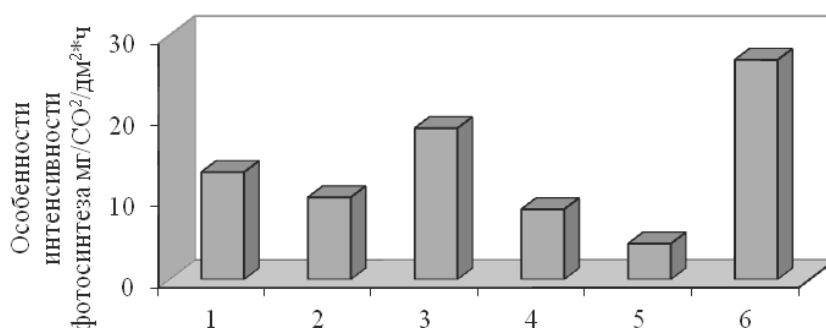


Рисунок 1. Интенсивность фотосинтеза растений верховых болот (усредненные величины). 1 – вечнозеленые кустарнички брусничного типа; 2 – вечнозеленые кустарнички эрикоидного типа; 3 – травы с длинными узкими складчатыми или свернутыми листьями; 4 – травы с широкими толстыми жестковатыми листьями; 5 – летне-зеленые листопадные кустарнички; 6 – деревья

Полученные результаты подтверждают литературные данные о том, что интенсивность фотосинтеза болотных растений невелика [10]. Наименьшую величину фотосинтеза имели летне-зеленые листопадные кустарнички, у которых данный показатель составлял в среднем 8,63 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2/\text{ч}$. Средние значения интенсивности фотосинтеза имели кустарнички: вечнозеленые брусничного типа, вечнозеленые эрикоидного типа и травы с широкими толстыми жестковатыми листьями – от 10 до 18 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2/\text{ч}$.

Максимальная величина фотосинтеза была характерна для трав с длинными узкими складчатыми или свернутыми листьями и деревьев: береза карликовая, сосна сибирская, сосна обыкновенная (соответственно 18,6 и 27 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2/\text{ч}$).

Таким образом, анализ фотосинтезирующей деятельности изученных растений показал, что для них характерна низкая интенсивность накопления органического вещества на единицу площади листа.

Изучение такого функционального показателя, как интенсивность дыхания показало следующее: варьирование величины дыхания у разных экобиоморф колебалось в 3–4 раза и составляло от 0,132 до 5,72 мгСО₂/г/ч.

Интенсивность дыхания корней была ниже, чем интенсивность дыхания листьев, при этом наблюдалась положительная корреляция между величиной интенсивности дыхания в органах растений и интенсивностью фотосинтеза. Растения, имеющие низкую интенсивность дыхания органов, характеризовались низкой величиной фотосинтеза. Низкой интенсивностью дыхания корней отличались вечнозеленые кустарнички брусничного типа (0,132 мг СО₂/г/ч) и вечнозеленые кустарнички эрикоидного типа (0,55 мг СО₂/г/ч), промежуточное положение по данному показателю имели травы с широкими толстыми жестковатыми листьями (2,376 мг СО₂/г/ч), летне-зеленые листопадные кустарнички (2,75 мг СО₂/г/ч).

Максимальная интенсивность дыхания корневой системы была характерна для трав с узкими длинными складчатыми или свернутыми листьями и деревьев соответственно 5,72 мг СО₂/г/ч. и 5,48 мг СО₂/г/ч. Интенсивность фотосинтеза у представителей данных экобиоморф также была максимальна (18,6 и 27 мг СО₂/дм²/ч).

Средняя интенсивность дыхания листьев была больше, чем интенсивность дыхания корневой системы. Возможно, это связано с неблагоприятными экологическими условиями, в которых находятся корни болотных растений: низкие температуры, дефицит кислорода и кислое значение почвенного раствора.

Коррелятивные закономерности между интенсивностью дыхания и скоростью накопления органических веществ в листьях имели такую же тенденцию. Интенсивность дыхания листьев у данных растений имела ту же закономерность, что и у корней. Низкая интенсивность дыхания листьев наблюдалась у летне-зеленых листопадных кустарничков (0,55 мг СО₂/г/ч.), среднее значение (от 2,904 до 4,532 мг СО₂/г/ч). имели вечнозеленые кустарнички брусничного типа, вечнозеленые кустарнички эрикоидного типа и травы с широкими толстыми жестковатыми листьями. Максимальное значение у трав с узкими длинными складчатыми или свернутыми листьями и деревьев составляло соответственно 6,38 5,68 мг СО₂/г/ч.

Функциональная активность таких физиологических функций, как фотосинтез и дыхание тесно связан с их водообменом [11]. На рисунке 2 представлены усредненные данные по величине интенсивности транспирации изученных видов.

Наши исследования показали, что величина интенсивности транспирации листьев в среднем у различных растений верховых болот составляла 777,31 мг/дм²ч (рис. 2) и варьировала от 634,98 до 947,27 мг/дм²ч.

Максимальная интенсивность транспирации наблюдалась у трав с узкими длинными складчатыми или свернутыми листьями и деревьев (947,27 и 879,61 мг/дм²ч.), минимум данного показателя был характерен для трав с широкими толстыми жестковатыми листьями (634,98 мг/дм²ч), среднее положение занимали летне-зеленые листопадные кустарнички (741,85 мг/дм²ч), вечнозеленые кустарнички эрикоидного типа (732,47 мг/дм²ч) и вечнозеленые кустарнички брусничного типа (727,69 мг/дм²ч.).

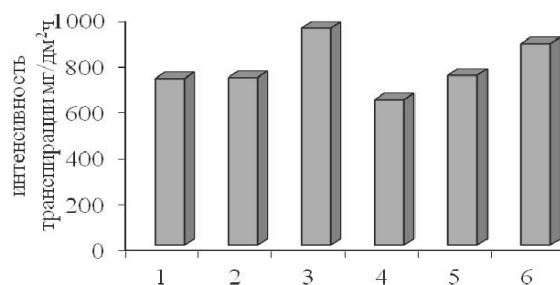


Рисунок 2. Интенсивность транспирации растений верховых болот (усредненные величины). 1 – вечнозеленые кустарнички брусничного типа; 2 – вечнозеленые кустарнички эрикоидного типа; 3 – травы с длинными узкими складчатыми или свернутыми листьями; 4 – травы с широкими толстыми жестковатыми листьями; 5 – летне-зеленые листопадные кустарнички; 6 – деревья

Анализ полученных данных с имеющимися в литературе [10] позволяет сделать заключение, что интенсивность транспирации изученных растений верховых болот невысока. Наблюдается положительная корреляция между интенсивностью транспирации, дыхания и фотосинтеза растений [12]. Чем выше скорости фотосинтеза и дыхания, тем интенсивнее процессы транспирации.

Изучение дневного хода транспирации растений верхового болота, показало, что максимальное значение интенсивности транспирации у всех изученных видов наблюдалось в 10–14, 12–16 часов. Кривые интенсивности транспирации имели одновершинный характер.

Степень открытия устьиц имела прямую корреляцию с кривыми интенсивности транспирации и была максимальна в период с 10 до 16 часов. Возможно факторы, определяющие степень открытия устьиц [13] у изученных растений болот сбалансированы таким образом, что обеспечивают им средний уровень транспирации и небольшие потери воды в неблагоприятных условиях водного режима на болотах.

Особенности протекания процессов транспирации у изученных видов растений показывают, что они в основном характеризуются гидростабильным типом водообмена, интенсивность которого в течении дня слабо меняется.

Полученные нами результаты по интенсивности транспирации противоречат литературным данным. Е.Н. Прокопьев [7] отмечает, что для растений верховых болот характерны высокие показатели транспирации листьев растений.

Заключение. Таким образом, полученные результаты по изучению функциональных особенностей растений верховых болот показали, что они имеют невысокую скорость фотосинтеза, дыхания и транспирации. Наблюдается прямая корреляция между интенсивностью протекания данных процессов.

Растения верховых болот находятся в неблагоприятных экологических условиях. Согласно результатам наших исследований, а также литературным данным, их можно отнести по типу стратегии к видам со стресс-толерантными свойствами. Можно предположить, что истинные стресс-толеранты снижают все функциональные процессы с целью стабилизации жизненных функций в неблагоприятных условиях на более низком уровне [14]. Это тем более вероятно, что такая же закономерность отмечена для абсолютных галофитов [15, 16].

Анализ эколого-физиологических особенностей болотных растений может быть полезным при прогнозировании поведения растительности в условиях изменения климатических условий [17], при разработке теории механизмов адаптации растений к экологическим условиям среды.

Список литературы

1. Денисенков В.П. Основы болотоведения: учебное пособие. – СПб.: Изд-во СПбУ, 2000. – 224 с.
2. Лисс О.Л. и др. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / Под. ред. д.б.н. профессора В.Б. Куваева. – Тула: Гриф и К, 2001. – 584 с.
3. Чиркова Т.В. Физиологические основы устойчивости растений. – СПб.: Изд-во СПбУ, 2002. – 244 с.
4. Лапшина Е.Д. Флора болот юго-востока Западной Сибири. – Томск : Изд-во ТГУ, 2003. – 296 с.
5. Пьявченко Н.И. Об изучении болотных биогеоценозов // Основные принципы изучения болотных биогеоценозов. – Л.: Наука, 1972. – С. 5–14.
6. Телицын В.Л. Болота Восточного Зауралья: Геоэкологические основы оптимизации природопользования. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 197 с.
7. Прокопьев Е.Н. Экология растений (особи, виды, экогруппы, жизненные формы). – Томск: Изд-во ТГУ, 2001. – 340 с.
8. Викторов Д.П. Малый практикум по физиологии растений. – М.: Высш. школа, 1983. – 135 с.

9. Иванов Л.А., Силина А.А., Цельникер Ю.Л. О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях // Ботанический журнал – 1950. – Т. 35. С. 171–185.
10. Лархер В. Экология растений. – Москва: Мир, 1978. – 382 с.
11. Новицкая Ю.Е. Транспирация растений – сложный физиолого-биохимический процесс // Вопросы селекции, семеноводства и физиологии древесных пород Севера. – Петрозаводск, 1967. – С. 16–29.
12. Иванова Н.А., Юмагулова Э.Р. Типы стратегии и эколого-физиологические механизмы адаптации растений верховых болот // Эколого-географические проблемы природопользования нефтегазовых регионов: доклады III Межд. конф. – Нижневартовск, 2006. – С. 114–117.
13. Слейчер Р. Водный режим растений. – М.: Мир, 1970. – 362 с.
14. Иванов Л.А. Выделение типов экологических стратегий растений с использованием количественных характеристик разных уровней их организации // Межд. конф. по анатомии и морфологии растений: тезисы. – СПб, 1997. – С. 257–258.
15. Иванова Н.А., Музычко Л.М. Особенности фотосинтетической функции и гормонального синтеза некоторых природных галофитов // Фитогормоны – регуляторы физиологических процессов: межвуз. сб. научных трудов. – М., 1987. – 39–43 с.
16. Семихатова О.А., Иванова Т.И., Юдина О.С. Дыхательная цена произрастания растений в условиях засоления // Физиология растений. – 1993. – Том 40. – №4. – С. 553–558.
17. Иванов Л.А. Морфологические и биохимические особенности растений бореальной зоны с разными типами адаптивных стратегий: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Томск, 2001. – 24 с.

ECOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL FEATURES OF PLANTS RAISED BOG IN MIDDLE PRIOBYE CONDITIONS

E.R. Yumagulova

The article presents the analysis of facts on peculiarities of intensity of photosynthesis, transpiration and respiration of leaves of the plants of upper marshes in Middle Priobye. The plants of different life forms in upper marshes are characterized by not high speed of physiological processes, that is bound up with stabilization of life functions in unfavourable conditions.



**ВСЕРОССИЙСКИЙ
ТОРФЯНОЙ
ФОРУМ**

ОРГКОМИТЕТ ФОРУМА:
123317, РОССИЯ, МОСКВА, МОСКВА-СИТИ,
ПРЕСНЕНСКАЯ НАБЕРЕЖНАЯ, 10, БАШНЯ Б, ЭТАЖ 15
ТЕЛ.: (499) 271-34-41/42 | ФАКС: (499) 271-34-40
WWW.AMR.RU

27 - 28 А П Р Е Л Я , 2011 **ТВЕРСКАЯ ОБЛАСТЬ , "ЭММАУС ВОЛГА КЛАБ"**

ОРГАНИЗАТОРЫ:




ПРИ ОФИЦИАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКЕ:



АССОЦИАЦИЯ МЕНЕДЖЕРОВ
Администрация Тверской области
МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Форум состоялся 27–28 апреля 2011 года в городе Твери. Мероприятие организовано Администрацией Тверской области, Ассоциацией менеджеров России, при официальной поддержке Министерства Энергетики РФ.

Партнерами Форума выступили ЗАО «Холдинговая компания «ИНТЕРРОС» и «Еврофинанс Моснарбанк».

Участие в Форуме приняли около 450 делегатов из 25 субъектов РФ (5 Федеральных округов), из 5 зарубежных стран (Финляндия, Эстония, Беларусь, Латвия, Канада). Работа Форума освещалась на сайте <http://www.amr.ru>

Выдержки из материалов форума

Сергей Шматко, министр энергетики Российской Федерации

Координационный совет Минэнерго России по развитию торфяной промышленности предложил использовать Тверскую область в качестве базового региона для реализации приоритетных мероприятий по использованию малых генерирующих установок и других возможностей малой биоэнергетики на основе местных, возобновляемых топливно-энергетических ресурсов.

Тверская область – динамично развивающийся регион России, который обладает высоким научно-техническим потенциалом и практическим опытом в сфере торфяной промышленности и располагает большими запасами торфа, позволяющими производить продукцию для различных направлений, включая биоэнергетику.

Дмитрий Зеленин, губернатор Тверской области

Тверь стала местом проведения такого форума не случайно, равно как и Тверская область выбрана Министерством энергетики РФ для реализации проекта биоэнергетического использования торфа. Это наш стратегический ресурс. Не случайно на торф были ориентированы первые тверские электроцентралы. Именно торф не позволил Твери замерзнуть в годы Великой Отечественной войны.

Тверская область намерена вернуть себе лидирующие позиции в этой сфере и наладить работу по добыче торфа по современным технологиям. Действует инвестиционный проект по добыче и переработке торфа Тверской Топливо-Энергетической компании, запущен завод по производству торфяных брикетов. В Конаковском районе сейчас реализуется инвестиционный проект по выращиванию на торфянике клюквы.

Современные проекты строительства ТЭЦ с использованием торфа и других биоресурсов

М.Е. Майоров

Специалист отдела «Энергия», «СВЕКО Союз Инжиниринг», Финляндия

В данный момент прорабатывается возможность участия в качестве ведущей инжиниринговой организации для выполнения функций Технического агента в проекте строительства ТЭЦ в г.Тара Омской области ориентировочной мощностью от 20 до 50 МВт и тепловой мощностью 30–35 Гкал/ч с использованием в качестве топлива торфа Степановского месторождения. Возможна реализации проектов с производителем энергетического оборудования – компанией Metso.



Меры стимулирования торфоразработчиков на территории Тверской области

1. Отменить на первые три года или снизить ставки НДС для организаций (недропользователей), вовлекающих в освоение новые месторождения торфа.
2. Предоставить налоговые льготы (отмена налога на прибыль) на первые три года организациям, начинающим разработку торфяных месторождений.
3. Установить нулевую или минимальную ставку аренды участков для торфяных болот, находящихся в лесном фонде.
4. Разработать методику частичного финансирования работ по инвентаризации запасов торфа в регионах из федерального бюджета.
5. Сформировать специальный фонд для проведения работ по рекультивации торфоразработок и обеспечения пожаробезопасности за счет частичного отчисления НДС и федерального бюджета.

Политика стран Евросоюза в области энергетики

Кюести Вирранкоски

Институт предпринимательства Финляндии

Образно энергетическую политику ЕС можно представить следующим образом: 20–20–20. Это означает, что до 2020 г. ЕС снижает потребление энергии на 20%, увеличивает долю возобновляемых источников энергии до 20% от общего объема потребления и уменьшает выбросы парниковых газов на 20%. На сегодняшний день ЕС импортирует более половины всей своей энергии. Россия является важнейшим поставщиком энергоносителей в ЕС с общей долей 32% в нефтяных поставках и 40% в импорте газа. Особым случаем представляется ситуация с биотопливом. Для ЕС является обязательным увеличение используемой доли биотоплива в машинном топливе до 10% к 2020 г. Биотопливом может быть спирт, производные пальмового масла или синтетические продукты, изготовленные из биомассы. Существующее биотопливо не пользуется популярностью среди потребителей. Например, в Финляндии и Германии водители отказываются его использовать, и покупают традиционный для топлива бензин и дизель, которые вскоре станут гораздо дороже.

Использование пальмового масла для производства дизельного топлива является очень спорным. Это привело к росту уничтожения тропических лесов. В ЕС залежи торфа

доступны в основном в Финляндии, Швеции, Ирландии и Польше. Вот почему ЕС не обращает большого внимания на использование торфяных запасов. Хотя, например, в Финляндии мы обладаем торфяными ресурсами, имеющими большую энергоемкость, чем все запасы нефти в Северном море. ЕС классифицирует торф как медленно обновляющуюся биомассу.

Из-за имеющихся скудных залежей торфа ЕС обращает мало внимания на его использование. Это также отчасти происходит из-за сильного сопротивления природоохранных организаций. Предпочтение отдается вырубке дождевых тропических лесов для получения пальмового масла и производства сахарного тростника. А это необратимое действие по сравнению с добычи торфа, когда после выемки торфа вы можете за счет притока дополнительной воды восстановить водно-болотные угодья и болота.

Основные проблемы природопользования на торфяных болотах в современной России и их составляющие

Т.Ю. Минаева *, А.А. Сирин **

*Международная организация по сохранению водно-болотных угодий Wetlands International

**Директор Института лесоведения РАН (ИЛАН РАН)

Несмотря на общепризнанные достижения российской школы болотоведения, которые берут начало с экспедиций Жилинского и Августиновича в XIX веке, и традиции в области инвентаризации болот, изучения их ресурсов и природных характеристик, в настоящее время основы болотоведения не включены в образовательные курсы, сведения о природных свойствах и полезных функциях болот не популяризируются. Утрачены многие отраслевые информационные ресурсы, которые представляли ранее достаточно полную основу для планирования.

Социологические исследования свидетельствуют о том, что среди большинства категорий населения сложилось отрицательное отношение к болотам как к природным образованиям, что проявляется даже на ментальном уровне. Характерно незнание элементарных сведений о болотах, что переходит и в экспертное сообщество.

Распределенная энергетика на торфяном топливе

А.В. Михайлов

Д.т.н., профессор, заместитель генерального директора ВНИИ торфяной промышленности, Горный институт (Санкт-Петербург)

На 25-ой сессии (апрель 2006 г.) Межправительственной Группы по Изменению климата (IPCC) предложено не рассматривать торф в качестве ископаемого топлива и поместить в его собственную топливную категорию «Торф». В декабрьской резолюции 2006

г., согласно стратегии, разработанной для биомассы и биотоплива Европейским Парламентом, торф рассматривается как медленно возобновляемый энергетический ресурс для производства биоэнергии из биомассы. На веб-сайте Правительства Канады «Чистая Энергетика Канады» торф определяется как твердое биологическое топливо наряду с древесиной. Торфяное топливо можно также считать CO₂ нейтральным как и древесину, в расчетах по углеродным кредитам.

Современное энергоплотное торфяное топливо имеет высокие теплотехнические характеристики и достаточно широко применяется в ряде зарубежных стран, а тенденции современности свидетельствуют об увеличении его доли в энергетическом балансе. Современное энергоплотное торфяное топливо имеет высокие теплотехнические характеристики и достаточно широко применяется в ряде зарубежных стран, а тенденции современности свидетельствуют об увеличении его доли в энергетическом балансе.

Основные направления формирования рынка торфяной отрасли

В.Я. Дудко

Профессор, генеральный директор Института торфа «Гипроторф»

Торфяная промышленность России начинала создаваться с середины XIX века и продолжила свое, наиболее активное развитие, начиная с 30-х годов прошлого столетия в рамках Комиссариата тяжелой промышленности СССР, находясь в ведении Министерства электростанций СССР. К середине прошлого столетия объемы добычи торфа выросли до 50 млн в год, а в отдельные годы и выше. Мы должны признать, что развитие торфяной промышленности и предотвращение пожаров (сохранение торфяных залежей), возможно только при наличии должного финансирования, т.е. создания РЫНКА ТОРФА и продаж востребованной торфяной ПРОДУКЦИИ, что будет способствовать развитию экономики регионов и сохранению природных ресурсов.

Предпосылки спроса торфа, заложены в задачах, поставленных Президентом и Председателем Правительства перед энергетиками, сельским хозяйством и регионами. Потребности малой и распределенной энергетики в торфе для России через 2–3 года планомерного развития могут составить от 10 до 15 млн тонн. Мировым лидером в производстве торфа в 2010 г. стала Финляндия, на втором месте – Ирландия, на третьем месте – Белоруссия, Россия занимает 4-ое место по объему добываемого торфа: В 2010 г. было добыто 2,7 млн т торфа.

Для консолидации усилий участников, при поддержке Министерства энергетики, предлагается привлечь проектный институт ОАО «Гипроторф» в качестве координатора проекта и проектного разработчика. Следует учесть, если профессиональные сообщества не

консолидируются, то государственные структуры не осознают срочной необходимости системного решения проблем отрасли, бизнес различных масштабов не сформулирует свои проекты и программы, СМИ не увидят в этой теме жизнеутверждающие перспективы, и торф, чем дальше, тем больше будет недоиспользован в социально-экономической сфере развития региона, перейдя из разряда полезного ископаемого в разряд источника опасности. Восстановление торфяной отрасли необходимо выполнять в рамках соответствующей федеральной целевой программы развития торфяной промышленности, опираясь на основных потребителей (заказчиков торфа) – ФПЦ Министерства энергетики, Министерства сельского хозяйства, Министерства регионального развития, Министерства экономического развития и др. Необходимо разработка «Закона о торфе» и «Федеральной целевой программы торф».

Инновационные технологии использования торфа в сельском хозяйстве

А.И. Еськов, С.М. Лукин, Т.Ю. Анисимова, Н.Н. Чурсин,

ГНУ ВНИИОУ Россельхозакадемии

Не отрицая роли торфа в энергобалансе страны, особенно при использовании его в малой энергетике, следует подчеркнуть, что использование торфа в сельском хозяйстве позволяет получить от него значительно более высокую отдачу в виде добавленной стоимости по сравнению со сжиганием. Как показывают расчеты, при использовании 1 т торфа для производства компостов полученный доход от выращенной продукции в 1,4 раза больше, чем при использовании его на топливо. При использовании торфа для производства тепличных субстратов доход в 20–57 раз выше, по сравнению с его сжиганием.

В соответствии с федеральной целевой программой «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006–2010 гг. и на период до 2013 г.» предусматривается к 2013 г. довести объемы использования торфа и сапропеля на удобрение до 8 млн тонн. Эффективным направлением является использование торфяных рассадных «таблеток», выращивание рассады овощей и ягодных культур в кассетах в условиях закрытого грунта. Все это позволяет более экономно использовать ресурсы торфа и повысить его эффективность. Перспективная потребность сельского хозяйства России в торфе равна 10–15 млн тонн, что составляет 0,03–0,05 % от его балансовых запасов.

**Цивилизованный потребительский рынок продукции переработки торфа.
Правила игры**

В.Ю. Кондрашов

К.э.н., заместитель генерального директора ЗАО «Селигер-Холдинг»

К сожалению, сегодня многие достижения прошлых лет потеряны. На сегодня импорт торфяной продукции составляет порядка 5–7 тыс. тонн в год. Основные причины сложившейся крайне неблагоприятной ситуации в торфяной отрасли известны: это и высокие инвестиционные риски; и высокие налоговые риски при добыче торфа; и высокая степень износа оборудования; и потери традиционных рынков сбыта торфяной продукции; и недостаток профессиональных кадров в организациях по добыче торфа и т.д. Одна из основных проблем развития торфяной отрасли – рынок сбыта, его развал и исчезновение.

РЕШЕНИЕ ВСЕРОССИЙСКОГО ТОРФЯНОГО ФОРУМА

27–28 апреля 2011 года Тверская область

Торф относится к числу местных и широко распространенных возобновляемых энергетических биоресурсов, ценность которого обусловлена, в том числе как фактора, повышающего энергобезопасность регионов. В связи с этим заслуживает внимания стратегия Евросоюза в области энергетики. До 2020 года Евросоюз планирует снизить потребление энергии на 20%, увеличивает долю возобновляемых источников энергии до 20% от общего объема потребления и уменьшает выбросы парниковых газов на 20%. Евросоюз импортирует более половины всей своей энергии. Россия является важнейшим поставщиком энергоносителей с общей долей 32% в нефтяных поставках и 40% в импорте газа. Для решения стратегии Евросоюза необходимо обратить его внимание, в том числе и к российским запасам торфа на разрабатываемых месторождениях.

Как пример реального пути обеспечения энергонезависимости региона и повышения энергоэффективности теплогенерации, обсуждался вопрос замещения дорогостоящего ввозного топлива (угля, мазута) на современные топливные торфяные брикеты высокой калорийности. В частности, использование в Тверской области таких торфяных брикетов на твердотопливных муниципальных котельных позволило существенно повысить эффективность теплогенерации без доработки/модернизации самих котельных, исключить негативное воздействие продуктов горения на окружающую среду в виде выбросов серы и ее агрессивных соединений, оксидов азота, пылевых выбросов, несгораемых соединений тяжелых металлов и отходов (шлаков).

Возвращение к использованию в распределенной энергетике регионов топлива на основе торфа позволит в перспективе: сократить объемы потребления ввозного топлива;

повысить энергоэффективность предприятий жилищно-коммунальной сферы; снизить тарифы на тепловую энергию для населения; обеспечить развитие негазифицированных, а также малонаселенных муниципальных образований; провести модернизацию их системы теплоснабжения путем строительства энергетических объектов малой и средней мощности; повысить качество и количество собираемых налогов всех уровней, создать в регионе дополнительные рабочие места. Очевидна необходимость государственной поддержки проектов, связанных с расширением использования возобновляемых источников энергии и местных видов топлива, в том числе топлива на основе торфа в энергетических целях. Многообразие свойств торфяного сырья позволяет широко использовать продукцию на его основе не только в энергетике, но и в других сферах экономики, в том числе в химической промышленности, сельском хозяйстве, строительстве, медицине.

Расширение добычи, переработки и использования торфа невозможно без развития отечественного машиностроительного комплекса, специализирующегося на выпуске торфяного и энергетического оборудования. В настоящее время это оборудование либо вовсе не выпускается отечественными компаниями, либо неконкурентоспособно по сравнению с зарубежными аналогами. Одной из приоритетных задач является разработка и утверждение программы развития торфяного машиностроения. С помощью программных целевых методов должны быть поддержаны профильные научные центры, внедряющие передовые высокоэффективные разработки по энергетическому использованию торфа, центры геологического изучения торфяных ресурсов.

Участники Форума отмечают проблему кадров в торфяном деле, связанную с резким падением спроса на специалистов торфяного дела в 90-е годы прошлого столетия, что значительно ослабило кадровый потенциал отрасли. Материально-техническая база учреждений высшего профессионального образования, где осуществляется подготовка специалистов для отрасли, не обновлялась в течение 30 лет. Отсутствие современного лабораторного и опытно-промышленного оборудования не позволяет проводить внедрение инновационных разработок в производство. В эти же годы были закрыты средние профессиональные образовательные организации по подготовке работников среднего звена для торфяного производства.

Вместе с тем, в ряде субъектов, сохранены научные школы и профессорско-преподавательский состав, например, Тверской государственный технический университет, университеты Санкт-Петербурга, Томска, Екатеринбурга.

Одной из мер по восстановлению современного уровня работ по использованию ресурсов торфяных месторождений является развитие малых инновационных предприятий

при ВУЗах. Такие предприятия позволяют проводить рыночные исследования, обучение, привлекать студентов к реальной работе и стимулировать инновации.

Участники Форума считают необходимым отметить наличие следующих проблем:

1) Не найдена эффективная экономическая модель устойчивого развития муниципальных образований на основе рационального использования местных топливных ресурсов, внедрения и обеспечения функционирования современных технологий когенерации на региональном и муниципальном уровнях. **Распределенная энергетика пока не стала инвестиционно привлекательной отраслью. Внедрение таких проектов, как создание системы энерготехнологических кластеров муниципального уровня на основе эффективного использования местных топливных ресурсов взамен дальнепривозных видов топлива, предоставления населению и бизнесу услуг надежного тепло- и энергоснабжения, реформирование и модернизация ЖКХ и других проблематично без опоры на местный бизнес, местные научные сообщества, без государственной поддержки на законодательном и правовом уровнях.**

2) Медленно меняется в направлении рационального использования местных топливных ресурсов законодательное пространство:

– несмотря на почти 10-летние обращения руководителей субъектов и муниципалитетов, бизнес-сообществ с предложениями по устранению противоречий норм Земельного, Лесного и Водного кодексов в целях недопущения формального отнесения торфяных месторождений к землям лесного фонда таких изменений в нормативные законы до сих пор не внесено;

– требуют совершенствования нормативные правовые акты, регламентирующие использование торфяных болот в естественном состоянии, ранее разрабатываемом, выработанном и восстановленном; в том числе, необходимо **законодательное закрепление особого статуса торфяных болот;**

– актуальность развития направления пожаробезопасности подтверждается в заявлении Государственной Думы Российской Федерации от 7 сентября 2010 года «О ситуации, связанной с аномальными природными явлениями лета 2010 г.», в котором Правительству Российской Федерации предложено в целях рационального природопользования и предупреждения пожаров разработать систему мер по развитию в стране добычи торфа. Проблема пожарной опасности связана с бесхозным, заброшенным состоянием торфяных месторождений, ранее находившихся в разработке и разрабатываемых в настоящее время. Требуется законодательное закрепление ответственности арендатора или собственника совместно с государственными службами не только за добычей торфа, но и пожарной

безопасностью на площади торфяного месторождения, прилегающей площади к торфяному месторождению и расположенных рядом мест проживания.

– не развивается законодательство в области создания условий для государственно-частного партнерства в области практического использования торфяных месторождений.

3) Внедрение типовых решений в области распределенной энергетики на местных видах топлива во многих случаях недостаточно эффективно в связи с недостаточным качественным уровнем предлагаемых решений.

4) Медленно продвигается разработка современных требований к разведке торфяных месторождений, утверждению запасов торфа и проектированию торфодобывающих предприятий.

5) Нельзя признать удовлетворительным уровень научно-методического обеспечения процессов распределенной энергетики на местных видах топлива.

6) Недостаточен уровень вовлеченности руководителей муниципалитетов в процессы развития распределенной энергетики на местных видах топлива.

7) Слабо развивается сектор рынка биоэнергии на местных видах топлива и бизнес-модели производства, транспортирования и использования местных видов топлива с учетом качества и переработки, новых стандартов, эффективности использования энергии и экономики цепей производства биоэнергии, управления и эксплуатационных инструментов.

8) Очень острой остается проблема обеспеченности органов местного самоуправления и бизнеса в сфере промышленного освоения торфяных месторождений и распределенной энергетики квалифицированными кадрами.

В связи с вышеизложенным, участники Всероссийского Торфяного Форума, состоявшегося 27-28 апреля 2011 года в Тверской области, решили:

1. Поддержать Решение Общероссийского совещания «Расширение использования торфа, древесины и отходов производства в энергетических целях», состоявшегося 7-8 июня 2010 года в городе Кирове.

2. Внести изменения в Указ Президента РФ № 607 и соответствующие Постановления Правительства РФ по дополнению системы рейтинга территорий индикаторами по распределенной энергетике регионов и муниципалитетов.

3. Обратиться к Председателю Правительства Российской Федерации В.В. Путину с просьбой издать поручение по активизации работы Министерств Российской Федерации (Министерство энергетики, Министерство сельского хозяйства, Министерство регионального развития, Министерство природных ресурсов, ряд федеральных агентств, в части касающейся) по разработке проектов федеральных законов, нормативно-правовых актов, государственных программ расширения использования торфа в малой энергетике,

сельском хозяйстве, других сферах экономики, определив при этом основное Министерство, в качестве координатора по указанной тематике. **А именно:**

Министерству природных ресурсов Российской Федерации инициировать внесение изменений в статью 342 части второй Налогового кодекса Российской Федерации – ввести нулевую ставку НДС на первые три года для организаций (недропользователей), вовлекающих в освоение новые месторождения торфа.

Министерству энергетики Российской Федерации разработать проект федеральной целевой программы развития добычи, переработки торфа и использования его как местного топливно-энергетического ресурса на базе региональных программ и концепций по расширению и возможности использования торфяной продукции на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства, социальной сферы и объектах биоэнергетики в субъектах Российской Федерации.

Минсельхозу Российской Федерации предусмотреть в проекте Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия до 2020 года меры государственной поддержки инновационных пилотных проектов, направленных на производство и использование торфяных удобрений в целях сохранения и повышения плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

4. Подкомитету по малой энергетике Комитета Государственной Думы Российской Федерации совместно с федеральными ведомствами в части касающейся:

– разработать и внести в установленном порядке на рассмотрение в Федеральное Собрание Российской Федерации проект Федерального Закона «О торфе»;

– разработать и внести в установленном порядке на рассмотрение в Федеральное Собрание Российской Федерации проект Федерального закона «О внесении изменений в Федеральный закон от 26.03.2003 №35-ФЗ “Об электроэнергетике”», с целью распространения преференций, предусмотренных для генерирующих объектов, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии, на энергетические объекты, использующие в качестве топлива торф и продукцию на его основе;

– обратиться в Государственную Думу Российской Федерации с просьбой поддержать и оформить законодательно инициативу о внесении в 131-ФЗ от 06.10.03 «Об основных принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» дополнение, включив в п.1. статьи 17. Полномочия органов МСУ по решению вопросов местного значения следующий подпункт: «Создание энерготехнологических кластеров муниципального уровня на основе эффективного использования местных топливных

ресурсов, обеспечивающих решение вопросов распределенной энергетики местного значения»;

– разработать и внести на рассмотрение изменения в существующее Федеральное законодательство в установленном порядке, с целью закрепления торфяных болот в статусе водных объектов;

– определить порядок отнесения (перевода) земель лесного фонда, занятых торфяными болотами, к водным объектам и внести изменения в пункты №2 и №13 «Правил подготовки и принятия решения о предоставлении водного объекта в пользование», утвержденных Постановлением Правительства Российской Федерации от 30.12.2006 № 844, с целью исключения необходимости проведения несвойственных торфяной отрасли работ, предусмотренных правилами эксплуатации по горной промышленности и лицензией на пользование недрами;

– установить эффективные границы мощностей, вновь вводимых генерирующими компаниями, использующими в качестве топлива торф и продукцию на его основе;

– рассмотреть возможность изменения таможенного законодательства в области снижения (отмены) ввозных пошлин на оборудование, для подготовки торфяных месторождений к эксплуатации, добыче и переработке торфа, на специальные транспортные единицы и энергетическое оборудование, производство которого на территории Российской Федерации в настоящее время не осуществляется;

– разработать программу подготовки и переподготовки кадров по направлениям, связанным с биоэнергетикой и утвердить перечень базовых образовательных организаций, реализующих программу с привлечением федеральных средств, в том числе, предусматривающих развитие материально-технической базы образовательных организаций;

– предусмотреть финансирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ соответствующих профильных министерств и ведомств для создания технологий и оборудования, а также подготовки торфяной залежи к разработке, добыче, переработке торфа и использованию продукции на его основе;

– рассмотреть совместно с участием Министерства природных ресурсов Российской Федерации возможность обновления нормативной документации по оценке, проектированию, использованию и сохранению торфяных ресурсов в соответствии с современными требованиями.

5. Обратить внимание федеральных органов государственной власти, органов государственной и муниципальной власти субъектов Российской Федерации, бизнеса и научного сообщества:

– на эффективность и общественную значимость сотрудничества государства и бизнеса при реализации федеральных, региональных, ведомственных и муниципальных целевых программ в области распределенной энергетики на местных видах топлива;

– на необходимость создания институциональной инфраструктуры информатизации государственного управления и экономического развития. В этой связи предлагается рассмотреть возможность создания региональных ИТ-центров для внедрения и обеспечения функционирования энерготехнологических кластеров муниципального уровня на основе эффективного использования местных топливных ресурсов, разработки и коммерциализации современной высокотехнологичной продукции;

– на необходимость развития научно-методического, нормативно-правового обеспечения, создания инструментов финансовой поддержки энерготехнологических кластеров муниципального уровня на основе эффективного использования местных топливных ресурсов. Разработать и принять меры по стимулированию их создания;

– на создание научно-технических советов по проблемам энерготехнологических кластеров муниципального уровня на основе эффективного использования местных топливных ресурсов из числа представителей органов государственной и муниципальной власти, ответственных за распределенную энергетику, некоммерческих организаций, представляющих бизнес, высших учебных заведений. Рекомендовать органам государственной власти направлять в такой совет проекты целевых программ, содержащих мероприятия в области распределенной энергетики, предполагаемые к реализации проекты для осуществления профессиональной общественной экспертизы;

– на содействие развитию государственно-частного партнерства в области энерготехнологических кластеров муниципального уровня на основе эффективного использования местных топливных ресурсов.

6. Направить резолюцию заинтересованным федеральным, региональным и муниципальным органам власти, а также экспертам профессионального сообщества и СМИ. Обратиться в компетентные государственные органы с просьбой оказать содействие в реализации мероприятий настоящей резолюции.

Заместитель губернатора Тверской области, председатель редакционной коллегии

«Решение Всероссийского торфяного форума – 2011» А.А. Боченков

Советник губернатора Тверской области, сопредседатель редакционной коллегии

«Решение Всероссийского торфяного форума – 2011» Ю.В. Серковский

Секретарь редакционной коллегии «Решение Всероссийского торфяного форума – 2011» Е.А. Демин

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Маслов Б.С. О творчестве выдающегося гидролога К.Е. Иванова.....	5
Ефремов С.П. Слово памяти о моем учителе – Н.И. Пьявченко.....	11

ЧАСТЬ I. ЛЕКТОРСКИЙ СИМПОЗИУМ

Войтехов М.Я. Некоторые факторы устойчивости сфагновых сообществ борových террас рек лесостепи в европейской части России.....	20
Волкова Е.М. Продуктивность разных типов болотных фитоценозов Тульской области.....	26
Глаголев М.В., Филиппов И.В., И.Е. Клепцова. Эмиссия и поглощение метана почвами России.....	32
Горленко Н.П., Загирова О.Н., Жуйкова А.В., Ямпольская Т.Д. Комплексное использование торфа Восточно-Сургутского месторождения.....	42
Зыкова М.В. К вопросу об исследованиях биологической активности гуминовых кислот.....	47
Ефремова Т.Т., Аврова А.Ф., Ефремов С.П. Кислотность подстилки болотных березняков.....	56
Инишева Л.И. Исследование биогеохимических процессов в торфяных залежах разного генезиса (К 15-тию лаборатории Агроэкологии).....	62
Кобак К.И., Инишева Л. И., Турчинович И.Е. Современное заболачивание и скорость аккумуляции углерода в болотных экосистемах России.....	71
Коронатова Н.Г. Деструкционный компонент цикла углерода в южно-таежных верховых болотах Западной Сибири.....	84
Ларина Г.В., Шурова М.В., Кузнецова О.В., Ченчубаев А.В., Турсунбеков Ж.Е. Содержание и распределение ряда микроэлементов в торфах и гуминовых кислотах Горного Алтая.....	90
Малик Л.К. Гидрологические условия олиготрофного болотообразования.....	97
Плаксин Г.В., Чернышев А.К., Зайнчковский В.И., Левицкий В.А., Кривонос О.И., Скачков Д.В. Использование сапропелей и продуктов их переработки в различных отраслях экономики.....	104
Савельева А.В., Юдина Н.В. Механохимический синтез редокс-активных гуминовых производных.....	109
Сычев В.Г., Ступакова Г.А., Мерзлая Г.Е., Смирнов М.О., Игнатьева Е.Э. Создание стандартного образца состава низинного торфа как средства метрологического обеспечения аналитических работ.....	115
Цыбукова Т.Н. Биогенные элементы в торфах и их анализ.....	119
Szajdak L. W., Styła K. Impact of different secondary transformed peat-moorsh soils on the urease activity of acrotelm and catotelm.....	126

ЧАСТЬ II. ВЫСТУПЛЕНИЯ УЧАСТНИКОВ ШКОЛЫ

Абзалимова Л.Г., Порохина Е.В., Головацкая Е.А. Деструкция растений-торфообразователей в торфяной залежи олиготрофного болота Томского района.....	135
Барышева И. А. Запасы биомассы и продукция сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозов стационара «Васюганье».....	139
Блинова В.А. Окислительно-восстановительные условия торфяных залежей	

разного генезиса.....	143
Воистинова Е.С. Химический состав вод болотных ландшафтов Томской области...	148
Горельский В. А., Жильцов К.Н. Оценка прогрева слоя торфа в условиях колебаний температуры окружающей среды.....	154
Гришуткин О.Г. О состоянии торфяного фонда республики Мордовия, последствия и восстановление болотных ландшафтов после торфоразработок.....	158
Дмитрева Н.С., Дубровская Л.И. Макрокомпонентный состав водного стока с заболоченного водосбора (р. Андарма, Средняя Обь).....	162
Дюкарев Е.А. Сравнение температурного режима торфяной и минеральной почвы..	169
Дучко М. А., Гулая Е. В., Серебренникова О. В. Исследование состава и трансформации органического вещества болот юга Западной Сибири.....	175
Зацаринная Д. В., Гудкова А. В., Волкова Е. М. Экологические особенности сфагновых мхов Тульской области.....	180
Ильясов Д.В., Клепцова И.Е., Глаголев М.В. Классификация болотных ландшафтов и её применение для расчетов эмиссии метана на примере подзоны средней тайги.....	185
Клименко Е.Н. Сфагновые мхи Хабаровского края и их использование в энтеросорбции.....	191
Ковалева Е.И. Оценка антропогенного воздействия на болотные экосистемы в районах нефтедобычи (на примере Нижневартовского района Ханты-Мансийского округа – Югра).....	196
Конищук В. В. Методика палеоэкологии торфяных отложений.....	201
Косых Н.П. Продуктивность болотных экосистем Западной Сибири.....	207
Мартынова (Крыжевич) М.И., Зубкова П.С., Шипкова Г.В. Исследования юго-западной части Полистово-Ловатского болотного массива, 2011.....	213
Наумова Г. В., Томсон А. Э., Жмакова Н.А., Овчинникова Т.Ф., Макарова Н.Л. Торфяные месторождения и современные подходы к их использованию.....	219
Нечаев Л.В., Чайковская О.Н., Соколова И.В., Савельева А.В. Определение констант равновесия взаимодействия нафталина с модифицированными гуминовыми кислотами верхового торфа.....	225
Подколзин И.В., Михайлова А.В., Ахметьева Н.П. Определение тяжелых металлов в золе торфа методом МС-ИСП.....	229
Протасов К.К., Протасов К.Т. Структурирование космоснимков Большого Васюганского болота.....	234
Родионова А.Б. Болотообразование в пойме р. Есауловка (Канская лесостепь).....	239
Сабреков А.Ф., Глаголев М.В. Измерения эмиссии метана из почв России: стационарные исследования.....	245
Сабреков А.Ф., Глаголев М.В., Клепцова И.Е. Измерения эмиссии метана из почв России: исследования пространственного разнообразия величины эмиссии метана.....	251
Сергеева М.А., Бенц М.В. Динамика эмиссии парниковых газов болотами Сибири..	258
Синюткина А. А. Группы фаций болот юго-востока Западной Сибири.....	265
Сырцов С.Н., Гродницкая И.Д. Особенности функционирования микробных сообществ лесных и тундровых почв криолитозоны севера Сибири.....	271

Шумакова Д.М., Дюкарев Е.А., Решетько М.В. Модельный расчет изменения уровней болотных вод с учетом испарения.....	274
Юмагулова Э.Р. Эколого-физиологические особенности растений верховых болот в условиях Среднего Приобья.....	278
ПРИЛОЖЕНИЕ. Всероссийский торфяной форум: избранные материалы.....	284

CONTENS

Introduction -----	3
Maslov B.S. ABOUT CREATIVE ACTIVITY OF WELL-KNOWN CIENTIST K.E. IVANOV----	5
Efremov S.P. THE WORD TO MEMORIES ABOUT MY TEACHER – N.I. PIYAVCHENKO-----	11

PART I. SELECTED LECTURES

Voytehov M.Ya. SOME FACTORS FOR STABILITY OF SPHAGNUM BOGS ON POOR-SOIL TERRACES OF RIVERS IN FOREST-STEPPE ZONE IN EUROPEAN RUSSIA-----	20
Volkova E.M. THE PRODUCTIVITY OF DIFFERENT TYPES OF MIRE COMMUNITIES IN TULA REGION (RUSSIA) -----	26
Glagolev M.V., Filippov I.V., Kleptsova I.E. METHANE EMISSION AND CONSUMPTION BY RUSSIAN SOILS -----	32
Gorlenko N.P., Zagirova O.N., Zhuykova A.V., Yampolskaya T.D. INTEGRATED UTILIZATION OF PEAT THE EAST-SURGUT FIELD-----	42
Zykova M.V. TO THE QUESTION ON RESEARCHES OF BIOLOGICAL ACTIVITY OF HUMIC ACIDS-----	47
Efremova T.T., Avrova A.F., Efremov S.P. ACIDITY OF BOG BIRCH FOREST LITTER-----	56
Inisheva L.I. INVESTIGATION OF BIOGEOCHEMISTRY PROCESSES IN PEAT DEPOSIT OF DIFFERENT GENESIS (TO 15-years OF LABORATORY “AGROECOLOGY”)-----	62
Kobak K.I., Inisheva L.I., Turchinivich I.Ye. RECENT PALUDIFICATION AND CABON ACCUMULATION OF THE ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE BY PEATLANDS ECOSYSTEMS IN RUSSIA.-----	71
Koronatova N.G. DECOMPOSITION COMPONENT OF CARBON CYCLE IN SOUTH TAIGA OMBROTROPHIC MIRES OF WESTERN SIBERIA-----	84
Larina G.V., Shurova M.V., Kuznetsova O.V., Chenchubayev A.V., Tursunbekov Z.E. THE CONTENT AND DISTRIBUTION OF SOME MICROELEMENTS IN PEAT AND HUMIC ACIDS OF ALTAI MOUNTAINS (GORNYY ALTAI)-----	90
Malik L.K. HYDROLOGICAL FEATURE OF OLIGOTROPHIC MIRE-FORMATION-----	97
Plaksin G.V., Chernishev A.K., Zaynchkovski V.I., Levitski V.A., Krivonos O.I., Skachkov D.V. THE USE OF THE SAPROPELS AND PRODUCTS OF THEIR TREATMENT IN VARIOUS INDUSTRIES-----	104
Savelyeva A.V., Yudina N.V. MEKHANOKHIMICHESKY SYNTHESIS REDOKS-AKTIVNYKH OF HUMIC DERIVATIVES-----	109
Sychev V.G., Stupakova G.A., Merzlaya G.E., Smirnov M.O., Ignat’eva E.E. CERTIFIED REFERENCE MATERIAL OF LOW-MOOR PEAT FOR METROLOGICAL SUPPORT OF ANALYTICAL MEASUREMENTS-----	115
Tsybukova T. N. THE NUTRIENTS IN PEAT AND THEIR ANALUSES-----	119
Szajdak L.W., Styła K. IMPACT OF DIFFERENT SECONDARY TRANSFORMED PEAT-MOORSH SOILS ON THE UREASE ACTIVITY OF ACROTELM AND CATOTELM-----	126

PART II. SPEECH OF THE PARTICIPANT SCHOOL

Abzalimova L.G., Porochnina E.V., Golovatskaya. DESTRUCTION OF PEAT-FORMING PLANTS IN THE PEAT SOIL IN OLIGOTROPHIC BOGS OF TOMSK REGION-----	135
Barysheva I.A. STOCKS BIOMASS AND PRODUCTION OF PINE-SHRUB-SPHAGNUM PHYTOCENOSSES STATIONARY «VASYUGANYE»-----	139

Blinova V.A. REDOX CONDITIONS OF PEAT DEPOSITS DIFFERENT GENESIS	
Voistinova E.S. CHEMICAL COMPOSITION OF TOMSK REGION MIRE LANDSCAPE WATER-----	143
Voistinova E.S. CHEMICAL COMPOSITION OF TOMSK REGION MIRE LANDSCAPE WATER-----	148
Gorelski V.A., Zhiltsov K.N. EVALUATION OF HEATING OF PEAT-LAYER IN CONDITIONS OF AMBIENT TEMPERATURE FLUCTUATIONS-----	154
Grishutkin O.G. STATUS PEAT REPUBLIC OF MORDOVIA, AND RECOVERY MARSH LANDSCAPE AFTER PEAT-----	158
Dmitreva N.S., Dubrovskaya L.I. COMPOSITION OF MAJOR ELEMENTS OF WATER RUNOFF WITH WETLAND BASIN (ANDARMA RIVER, MIDDLE OB)---	162
Dyukarev E.A. PECULIARITIES OF THE THERMAL REGIME OF PEAT DEPOSIT AT OLIGOTROPHIC BOG IN THE SOUTH TAIGA OF WEST SIBERIA-----	169
Duchko M.A., Gulaya E.V., Serebrennikova O.V. ORGANIC MATTER COMPOSITION AND TRANSFORMATIONS RESEARCH OF BOGS IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA-----	175
Zatsarinnaya D.V., Gudkova A.V., Volkova E. M. THE ECOLOGICAL FEATURES OF SPHAGNUM MOSSES IN TULA REGION-----	180
Ilyasov D.V., Kleptsova I.E., Glagolev M.V. LAND COVER CLASSIFICATION OF MIREs AND ITS APPLICATION FOR ESTIMATING METHANE EMISSIONS: CASE STUDY OF MIDDLE TAIGA-----	185
Klimenko E.N. SPHAGNUM MOSSES OF THE Khabarovsk AREA AND THEIR USE IN ENTEROSORPTION-----	191
Kovaleva E.I. ANTHROPOGENIC IMPACT ASSESSMENT ON THE SWAMP ECOSYSTEM IN THE OIL-PRODUCING REGIONS (ILLUSTRATED NIZHNEVARTOVSK REGION OF KHANTY-MANSIYSK - UGRA)-----	196
Konishchuk V.V. PALEOECOLOGY METHOD OF THE PEAT SEDIMENTATIONS-	201
Kosykh N.P. THE PRODUCTIVITY OF WETLAND ECOSYSTEMS OF WESTERN SIBERIA-----	207
Martynova (Kryzhevich) M.Y., Zubkova P.S., Shipkova G.V. STUDIES OF SOUTH- WESTERN POLISTOVO-LOVAT BOG, 2011-----	213
Naumova G.V., Tomson A.E., Zhmakova N.A., Ovchinnikova T.F., Makarova N.L. PEAT DEPOSITS AND MODERN APPROACHES TO THEIR UTILIZATION-----	219
Nechaev, L.V. Tchaikovskaya O.N., Sokolova I.V., Savelyeva A.V. DETERMINATION OF EQUILIBRIUM CONSTANTS OF NAPHTHALENE'S INTERACTI ON WITH MODIFIED PEAT'S HUMIC ACIDS-----	225
Podkolzin I.V., Mikhailova A.V., Akhmeteyeva N.P. DETERMINATION OF HEAVY METALS IN PEAT ASHES BY THE METHOD OF MS-ICP-----	229
Protasov K.T., Protasov K.K. A SIMPLE ALGORITHM FOR CLUSTER ANALYSIS: HYPERSPHERES METHOD-----	234
Rodionova A.B. THE FORMATION OF BOGS IN THE FLOODPLAIN ESAULOVKA (KANSK FOREST-STEPP)-----	239
Sabrekov A.F., Glagolev M.V. METHANE EMISSION MEASUREMENTS FROM RUSSIAN SOILS: INVESTIGATIONS AT STATIONARY SITES-----	245
Sabrekov A.F., Glagolev M.V., Kleptsova I.E. METHANE EMISSION MEASUREMENTS FROM RUSSIAN SOILS: INVESTIGATIONS OF SPATIAL VARIABILITY-----	251
Sergeeva M.A., Bents M.V. GREENHOUSE GAS EMISSION DYNAMIC IN BOGS OF SIBERIA	258
Sinyutkina Anna. FACIES GROUP OF WEST SIBERIA SOUTH-EAST MIRE	265
Syrtsov S.N., Grodnitskaya I.D. THE PROPERTIES OF MICROBIAL COMMUNITIES FUNCTIONING IN FOREST AND TUNDRA PERMAFROST SOILS	

OF NORTHERN SIBERIA-----	271
Shumakova D.M., Dyukarev E.A., Reshetko M.V. MODEL CALCULATION OF CHANGES IN LEVELS OF BOG WATERS IN VIEW OF EVAPORATION-----	274
Yumagulova E.R. ECOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL FEATURES OF PLANTS OF UPPER MARSHES IN CONDITIONS OF MIDDLE OB-----	278
Application. ALL-RUSSIAN PEAT FORUM: SELECTED MATERIALS-----	284

-

Научное издание

БОЛОТА И БИОСФЕРА

**МАТЕРИАЛЫ VIII ВСЕРОССИЙСКОЙ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
НАУЧНОЙ ШКОЛЫ**

(10–15 сентября 2012 г.)

Под редакцией проф., д-ра с.-х. наук, чл.-корр. РАСХН Л. И. Инишевой

*Технический редактор: Г. В. Белозёрова
Ответственный секретарь: Л. И. Дубровская
Ответственный за выпуск: Л. В. Домбраускайте*

Печать: трафаретная
Бумага: офсетная
Усл. печ. л.: 35,34
Уч. изд. л.: 18,16

Сдано в печать: 20.07.2012
Формат: 60×84/8
Заказ: 674/н
Тираж: 500 экз.

Издательство Томского государственного
педагогического университета
634061, г. Томск, ул. Киевская, 60
Отпечатано в типографии Издательства ТГПУ,
г. Томск, ул. Герцена, 49. Тел. (3822) 52–12–93
e-mail: tipograf@tspu.edu.ru

ISBN 9785894286075



9 785894 286075