

Рисунок 6 – Оценка климатических воздействий в заданной точке

Заключение. В ходе разработки ГИС выявлены закономерности пространственно-временного распределения на территории Республики Беларусь метеорологических характеристик, оказывающих влияние на строительные конструкции; установлены факторы и причины, вызывающие изменения климатических воздействий; разработана методика оценивания прогнозных экстремальных климатических воздействий; уточнены характеристические значения снеговых и ветровых нагрузок, температурных воздействий на конструкции зданий и сооружений; разработаны критерии ГИС, выполнено районирование нормируемых климатических воздействий для территории Республики Беларусь; разработана ГИС, дающая возможность назначать характеристические значения климатических воздействий, включающая интерактивную многослойную карту, позволяющую применительно к месту строительства с достаточным разрешением его географических координат, основываясь на физико-географических характеристиках региона назначать снеговые и ветровые нагрузки, температурные воздействия.

Результаты разработки ГИС могут быть использованы при проектировании, строительстве, реконструкции и ремонте строительных конструкций зданий и сооружений, установлении базовых принципов и правил проектирования конструкций зданий и сооружений различного назначения с учетом современных климатических колебаний. Основными потребителями продукта разработок являются организации, входящие в структуру Министерства строительства и архитектуры Республики Беларусь.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Еврокод 1 : Воздействия на конструкции. Часть 1-3: Общие воздействия. Снеговые нагрузки : ТКП EN 1991-1-3-2009 – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2009.
2. Еврокод 1 : Воздействия на конструкции. Часть 1-4: Общие воздействия. Ветровые воздействия : ТКП EN 1991-1-4-2009 – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2009.
3. Еврокод 1 : Воздействия на конструкции. Часть 1-5: Общие воздействия. Температурные воздействия : ТКП EN 1991-1-5-2009 – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2009.
4. Миронова, Ю. Н. Геоинформационные системы / Ю. Н. Миронова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – Москва – 2014. – № 3 (62). – Ч. 1. – С. 63–65.
5. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила проведения приземных метеорологических наблюдений и работ на станциях : ТКП 17.10-42-2009 (02120) – Минск : Минприроды, 2009.
6. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорологическая деятельность. Правила организации наблюдений на реперных климатических станциях : ТКП 17.10-42-2014 (02120) – Минск : Минприроды, 2014.
7. Валуев, В. Е. Современные подходы к оценке температурных воздействий на конструкции зданий и сооружений / В. Е. Валуев, О. П. Мешик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2010. – № 2 : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 62–65.
8. Тур, В. В. Опыт районирования территории Беларуси по снеговым нагрузкам / В. В. Тур, В. Е. Валуев, С. С. Дереченник, О. П. Мешик // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – 2008. – № 2(50). – С. 10–15.
9. Дэвис, Дж. С. Статистический анализ данных в геологии / Дж. С. Дэвис; под ред. Д. А. Родионова. – Москва : Недра, 1990. – Кн. 2. – 427 с.
10. Валуев, В. Е. Специфика пространственного распределения на территории Беларуси опасных метеорологических явлений в контексте анализа поверхностной тренда / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, О. П. Мешик, И. Н. Шпока // Вестник БрГТУ. – № 2(74) : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2012. – С. 8–14.
11. Структура данных проекта OpenStreetMap, заглянем под юбку сервиса / habr – Режим доступа : <http://habrhabr.ru/post/146503/>.
12. QML (Qt Meta-Object Language) // Национальная библиотека им. Н. Э. Баумана. – Режим доступа : [https://ru.bmstu.wiki/QML_\(Qt_Meta-Object_Language\)](https://ru.bmstu.wiki/QML_(Qt_Meta-Object_Language)).
13. Руководство по проектированию пользовательского интерфейса GNOME // GNOME Developer – Режим доступа : <https://developer.gnome.org/hig/stable/>.

Материал поступил в редакцию 10.04.2019

TUR V. V., MESHYK O. P., DERECHENNIK S. S., CHARNAIVAN H. V., MARKINA A. A. Experience in developing a GIS application for pre-termining climate impacts on buildings and structures

The article presents the results of developing a GIS application designed for the construction industry of Belarus. It is an interactive multi-layer map which allows users to assign characteristic values to climatic influences that affect building structures. These include snow and wind loads, temperature effects.

УДК 556.565

Сысеев В. В., Пузаченко М. Ю.

ДИНАМИКА ПОВЕРХНОСТИ, ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРХОВОГО БОЛОТА

Введение. Верховые болота регулируют водный режим окружающих территорий, являются природными резерватами специфической фауны и флоры, обеспечивают сток углерода из атмосферы.

При достижении определенной формы и размеров, болотный массив начинает развиваться как автономная самоподдерживающаяся структура. Верховые болота в разных климатических условиях обла-

Сысеев Владислав Васильевич, д. геогр. н., профессор географического ф-та Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, e-mail: v.v.syss@mail.ru.

РФ, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1.

Пузаченко Михаил Юрьевич, к. геогр. н., старший научный сотрудник Института географии Российской академии наук, e-mail: puzak@bk.ru

РФ, 119017, г. Москва, Старомонетный переулоч, 29.

дают профилями выпуклой формы. Анализ взаимосвязи между высотой и размерами более 300 выпуклых болот Швеции, выполненный еще в 1932 г. Гранлундом (цитировано по [1]) показал, что существует ограничение их высоты над краями, которое не превышает даже у крупнейших массивов болот. Верховые болота в разных климатических условиях имеют профили выпуклой формы, причем степень выпуклости поверхности и ландшафтная структура болотного массива зависит от скорости торфонакопления, возраста болота и гидрологического режима. Примечательно, что у тропических олиготрофных болот, например в Индонезии, также сформированы поверхности выпуклой формы [2]. Степень выпуклости болот, по-видимому, может характеризовать их «зрелость» и зависит от скорости торфонакопления (возраста) и гидрологического режима. Определение гидрологических характеристик, степени выпуклости поверхности и ландшафтной структуры болотных массивов в работах [3, 4] предложено проводить при сравнении с нормальным стационарным равновесным профилем, рассчитываемым по модели на основе уравнения Дарси.

Поскольку гидрологические процессы являются важнейшими, то гидрологические циклы (ежегодные, многолетние) обводненности должны найти отражение как в динамике, так и в форме поверхности верховых болот. Определение этих характеристик развития болота очень важно для прогнозирования роста болот при зарастании торфоразработок, пожарной и послепожарной динамики ландшафтов, рационального природопользования, а также с точки зрения палеогеографических реконструкций.

Процессы поверхностного стока должны также обязательно иметь отражение в концентрации химических компонентов в болотных водах, так как влагоперенос и поглощение растениями и торфами перераспределяют растворенные вещества в болоте [5]. Характеристика миграции химических компонентов в массивах верховых болот важна также с точки зрения очистки атмосферных осадков от твердых взвесей и растворенных веществ антропогенного происхождения за счет фильтрации и вовлечения их в биогеохимические циклы [6, 7, 8].

Исследование сущности процессов формирования структуры и функционирования болотных ландшафтов является необходимой частью создания теоретических моделей и прогнозирования роста, развития и экологических функций верховых болот. При моделировании болот, как правило, предполагали наличие двух слоев: акротелма, расположенного выше длительно низкого (летнего) уровня грунтовых вод (УГВ) и получающего опад растительности; и нижележащего постоянно насыщенного водой слоя катотелма, который получает вещество только с верхнего слоя акротелма. В каждом слое происходит потеря массы вследствие разложения органических остатков. При достаточно стабильных климатических условиях акротелм относительно быстро достигает равновесия и эффективно «плавает» над толщей катотелма. В таких моделях основное внимание уделялось длительному процессу накопления массы в слое катотелма, поскольку он и является мощным слоем торфа [11]. В связи с этим временной шаг принимался год или несколько лет, особенно в моделях палеогеографического направления. Внутригодовой и межгодовой изменчивости процессов уделялось незначительное внимание.

В данной работе единая геосистема верхового болота исследуется с помощью комплекса ландшафтных, геофизических и геохимических методов с учетом динамики процессов и пространственно-распределения характеризующих их параметров.

Объекты и методы исследования. Болото «Старосельский мох» находится в западной части Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника в пределах южной тайги и имеет, по крайней мере, 7 очагов заболачивания. Трансект, на котором проводились работы (рис.1), располагается в западной относительно изолированной части болотного массива, отделенной от основной части болота камовым холмом с южной стороны и двумя островами с восточной [9]. Исследуемое болото является весьма типичным предшественником для долькой плоских междуречий Волги и Западной Двины и состоит преимущественно из багульниково-сфагновых гряд и осоково-шейхцериевых или шейхцерииво-очеретниково-пушицевых мочажин на верховом торфе мощностью до 6 м.

Состояние болотных ландшафтов по данным ДДЗ. Для анализа был выбран снимок SPOT6 (рис. 1), имеющий наилучшее пространственное разрешение, (DS_SPOT6_201505270853370_

E033N57_01790). Повышение пространственной детализации и информативности данных произведено на основе панхроматического канала с корректировкой яркостью методом Subtractive Resolution Merge (Erdas Imagine) и расчёта 32 индексов. Факторный анализ методом главных компонент показал, что первые шесть факторов описывают 99.9% исходного варьирования каналов съемки и рассчитанных индексов (первая компонента – 84 %). Было проведено также описание геоботанического состава растительного покрова.

Литогеологическая структура отложений исследовалась двумя методами. В характерных частях болота – в центральных самых возвышенных, на склонах и в приграничных понижениях, проведено бурение в семи опорных точках трансекта с отбором проб и определением состава, степени разложённости и влажности торфа из каждого горизонта. Георадарное подповерхностное зондирование торфяных болота вдоль трансекта проведено 28.05.2017 георадаром OKO-2 с антенным блоком частотой 250 МГц (операторы Бричёва С. С. и Гуринов А. Л., каф. геоморфологии Географического ф-та МГУ). Максимальная глубина зондирования торфов около 8 метров, разрешающая способность 12–15 см, шаг по профилю 10 см, накопление 16. Обработка включала в себя ряд стандартных процедур – вычитание среднего, регулировка усиления по экспоненте, приведение к высотам поверхности болота и др.

Динамика высоты поверхности болота. Измерения проводились в течение нескольких лет с использованием лазерного нивелира в начале сезона, а с середины июля до конца августа 2017 г. - с использованием GPS методов (GNSS GeoMax10 с базовой станцией) и тахеометра Leica Viva TS15 G R1000 5" с высокой точностью (± 2 мм на 100 м). Измерения проводились в течение теплого сезона: 1) по основаниям реек установленных на поверхность мха с шагом 5 м в шесть сроков раз в месяц; 2) по основаниям реек и поверхности болота через 1 м (14.10.2017); 3) по настилу с шагом 1 м в пять сроков.

Все измерения были совмещены по геодезическому реперу, расположенному на восточном крае трансекта на минеральном острове. Тахеометрические измерения 2017 года позволили помимо высот поверхности получить данные по горизонтальным координатам и предварительно оценить величины смещений поверхности болота.

Измерения других характеристик болота (уровень мха, уровень болотных вод, температура поверхности) проводились: 1) по рейкам трансекта через 5 м (в два срока: 15-18.06 и 16.10); 2) УГВ по водомерным трубкам ($d=5$ см с заглублением 80–90 см), расположенным через 15 м в пределах открытой части болота (27 шт.) и соответствующим им рейкам – дважды в месяц.

Ландшафтно-геохимические характеристики изучались в характерных частях болота – в центральных самых возвышенных точках, на склонах и в понижениях с разгрузкой болотных вод. В семи опорных точках трансекта был проведен отбор образцов воды в период 02.08.2017-09.08.2017. В межкафедральной геохимической лаборатории географического факультета МГУ были выполнены химические анализы проб воды с определением макрокомпонентов методом ионной хроматографии и микроэлементов методами атомной абсорбции (аналитики Добрыднева Л. В. и Терская Е. В.). В этих же характерных точках трансекта проведено бурение с отбором проб торфа из каждого горизонта. Относительная влажность и зольность торфов, а также pH и электропроводимость болотных вод определены в лаборатории кафедры физической географии и ландшафтоведения географического факультета МГУ (аналитик Дубровская А. И.).

Моделирование среднесезонного профиля болота. Расчет стационарного нормального (равновесного) вертикального профиля выполнен по модели К. Е. Иванова [3]. Численное моделирование поверхности болота и расчет гидрофизических параметров, характеризующих болотные фации, выполнен на основе средних зональных значений параметров стока.

Обсуждение результатов

Ландшафтная структура получена с помощью дихотомической иерархической классификации по метрике Евклида выделенных факторов на пятом уровне классификации (32 класса). Выделено 16 классов, относящихся к болотному массиву и 15 классов примыкающих лесов (рис. 1). На рисунке показаны также точки наблюдений. Профиль поверхности и растительные ассоциации вдоль трансекта приведены на рис. 2А.

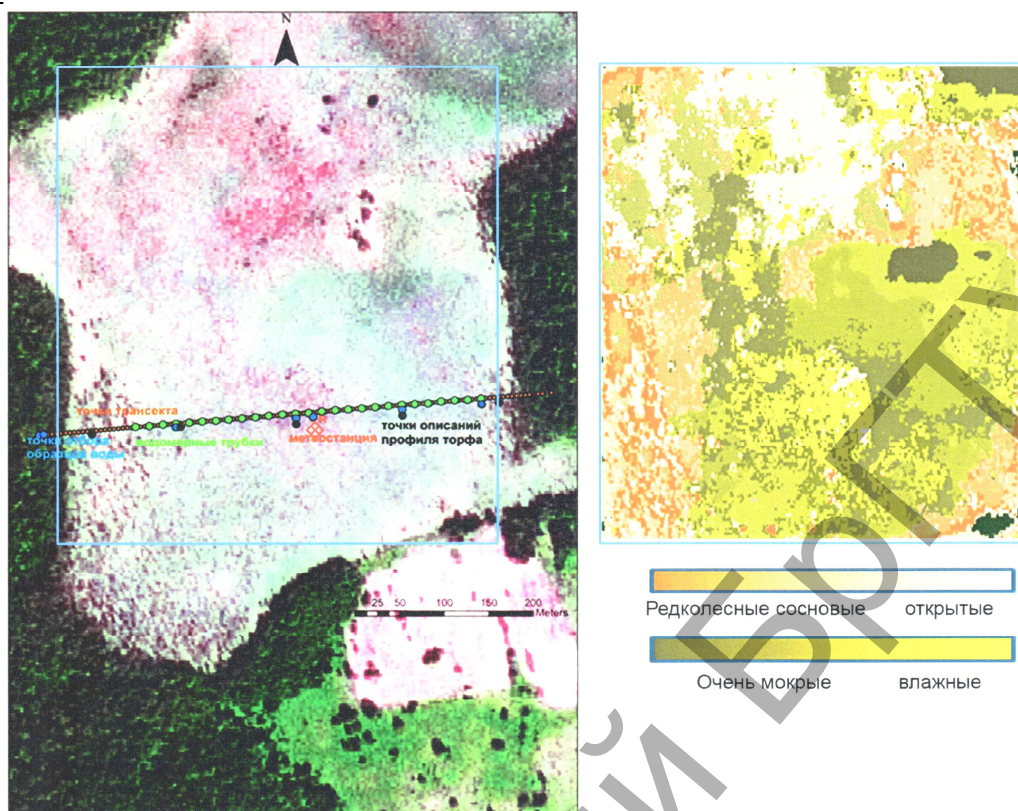


Рисунок 1 – Трансект на болоте «Старосельский мох» на снимке SPOT6 (слева) и результаты дихотомической классификации типов состояния болотных микроландшафтов по главным компонентам, полученным факторным анализом (справа)

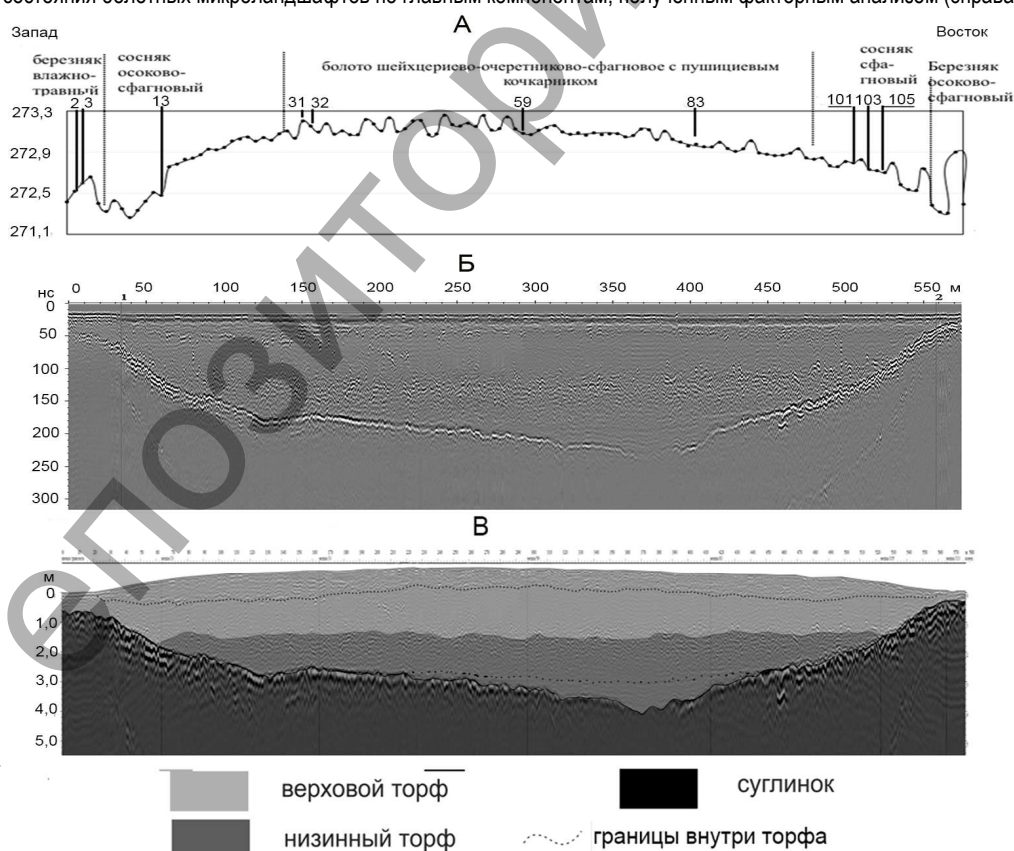


Рисунок 2 – Ландшафтный профиль исследованного болота «Старосельский мох» и сложение торфяных отложений верхового болота по результатам нивелировочных исследований, георадарных (антенна 250 мГц) и бурения торфа. А – профиль поверхности болота и растительные ассоциации вдоль транзекта. Высоты получены дифференцированным методом GPS с базовой станцией. Цифрами обозначены опорные точки исследований; Б – интерпретация исходной радарограммы, цифры по вертикали – длительность отклика в нс, по горизонтали – расстояние в м; Б' – интерпретация радарограммы с учетом рельефа поверхности и данных бурения

Строение торфяной толщи. Георадарная съемка в непрерывной форме отражает строение торфяной залежи, её физические свойства, мощность, наличие включений стволов деревьев и пр. Для интерпретации радарограммы использованы данные описаний торфяных отложений в опорных точках и полученные значения диэлектрической проницаемости $\epsilon=74$. На рис. 2 представлена исходная радарограмма (Б), и интерпретация обработанной радарограмма с учетом формы поверхности верхового болота (В).

Наиболее контрастная граница на минеральном дне болота между суглинками и торфом. Тонкий прослой супеси, обнаруженный при бурении, в данном случае по мощности меньше разрешающей способности антенны, и на радарограмме не выражен.

Максимальная мощность торфа по данным зондирования превысила 4 м. Однако, по данным бурения, в самой низкой точке днища болота (т. 83) она составила около 335 см, а в самой высокой точке поверхности (т. 59) – 340 см, а самая большая мощность оказалась между этими точками. Ошибка определения может быть связана с дискретностью точек бурения, разными сроками измерений, а также с изменением диэлектрической проницаемости с глубиной (степенью разложения) торфа.

На радарограмме отчетливо видна слоистость торфяной толщи. Верхняя граница низинного торфа, расположенная на глубине около 2-х метров, представляет собой слой, плавно переходящий из верхового торфа в низинный. В этом слое выделяются многочисленные гиперболы дифракции – отражения, связанные с неразложившимися бревнами. Обилие древесины в этом слое по данным бурения подтверждает это предположение. Для центральной части трансекта (280–430 м от начала) в нижней части профиля характерен однородный слой низинного торфа мощностью до 1 м с практическим отсутствием бревен. В самой нижней части профиля на радарограмме выделяются слоистые отложения вогнутой формы, выполаживающие днище болота. По-видимому, это отложения сапропеля высокой степени разложения (~50%). На радарограмме отчетливо выделяется внутренняя граница в верховом торфе на глубине 75–105 см, которая связана с обводнением – слой верхового торфа над этой границей, мощностью 45–60 см, выклинивается на поверхность в крайней западной части трансекта, в ручей текущий на юг по краю болота. Для восточной части трансекта явного выхода этого горизонта к поверхности болота не наблюдается. Наличие водообильного горизонта подтверждается данными бурения: на данных глубинах отмечалось практически отсутствие торфяного материала в пробоборнике (разжиженный торф не задерживался в стакане пробоборника). Изменение мощности этого водоносного горизонта может влиять на уровень поверхности болота при колебаниях уровня болотных (грунтовых) вод, т.е. по мере выпадения осадков (снеготаяния), последующего дренирования за счет бокового стекания вод, а также процессов испарения.

Моделирование среднесезонной (стационарной) поверхности болота. Расчет «нормального» (равновесного) профиля куполообразного верхового болота выполнен по модели К. Е. Иванова [3]. Средний единичный расход \bar{q} в любой точке болотного массива на расстоянии r от центра выпуклости болота выражается зависимостью, полученной при интегрировании одномерного уравнения Дарси:

$$\bar{q} = (z_0 - \bar{z}) k_0 i = \bar{M} i = \frac{\bar{p} r}{2}, \quad (1)$$

где \bar{p} – средняя интенсивность прихода влаги на единицу поверхности болотного массива, равная разности средних интенсивностей осадков и испарения использовались следующие параметры; \bar{z} – среднее расстояние уровня грунтовых вод от поверхности массива: $\bar{z} = f(r, y)$; z_0 – толщина деятельного горизонта: $z_0 = \psi(r, y)$; k_0 – средний коэффициент фильтрации в фильтрующем слое ($z_0 - \bar{z}$); i – уклон поверхности болотного массива в каждой точке равен $dy/dr = i$; $M = q_z/i$ – модуль горизонтальной проточности, отношение единичного горизонтального расхода q_z при уровне грунтовых вод Z к уклону средней поверхности болота i . Величина \bar{p} , рассматриваемая как разность между нормой осадков и испарения, выраженная в кубических единицах на единицу площади данного болотного микроланд-

шафта, равна, очевидно, среднему модулю стока \bar{M} с этого микроландшафта. Тогда вместо выражения (1) можно написать [3]:

$$\frac{\bar{m} r}{2} = \bar{M} \frac{dy}{dr}, \quad (2)$$

где y – расстояние по вертикали от высшей точки (начала координат) до поверхности болота. Разделяя переменные и интегрируя (2), получим окончательное выражение для расчета профиля рельефа куполообразного болотного массива [3]:

$$y_{\max} - y = \frac{\bar{m}}{4\bar{M}} (r_0^2 - r^2), \quad (3)$$

где y_{\max} – превышение наивысшей точки массива над его окраинами; r_0 – радиус болотного массива. Для массива произвольного очертания в плане с расходящимися потоками можно принять радиус равновеликого по площади массива круглого очертания, $r_0 = r_n$:

$$r_n = \sqrt{\frac{\omega}{\pi}}, \quad (4)$$

где ω – площадь данного болотного массива.

За год в среднем на исследуемой территории выпадает 700–750 мм осадков, а характерная испаряемость для района 500–600 мм/год. Таким образом, среднесезонный модуль стока для болота можно принять за 200 мм/год. По нивелировочному профилю на трансекте за 2011 год средний уклон поверхности равен $i=0,0039$. Принято, что мочажинно-грядовая группа типов фаций, и типы фации – с сосново-подбелово-пушицевыми грядами и очеретниково-сфагновыми мочажинами, с торфами 3–5 м, соответствуют типу микроландшафта сосняк сфагново-кустарничковый, с высотой древостоя 4–6 м (по [3]) с параметрами для данного типа фаций: проточность, $q = 0,7-2$ л/сек; модуль проточности $M = 1,4-2,5$ см²/сек; $y_{\max} = 110,3$ см.

Сравнение наиболее низкого (2006) и наиболее высокого (2011) уровней поверхности с рассчитанной формой поверхности верхового болота «Старосельский мох» приведено на рисунке 3.

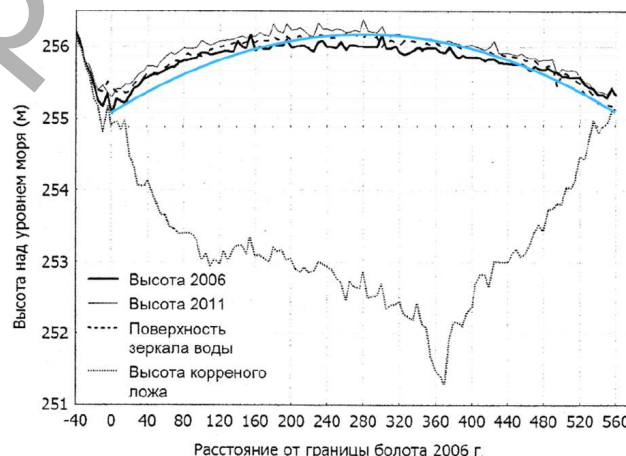
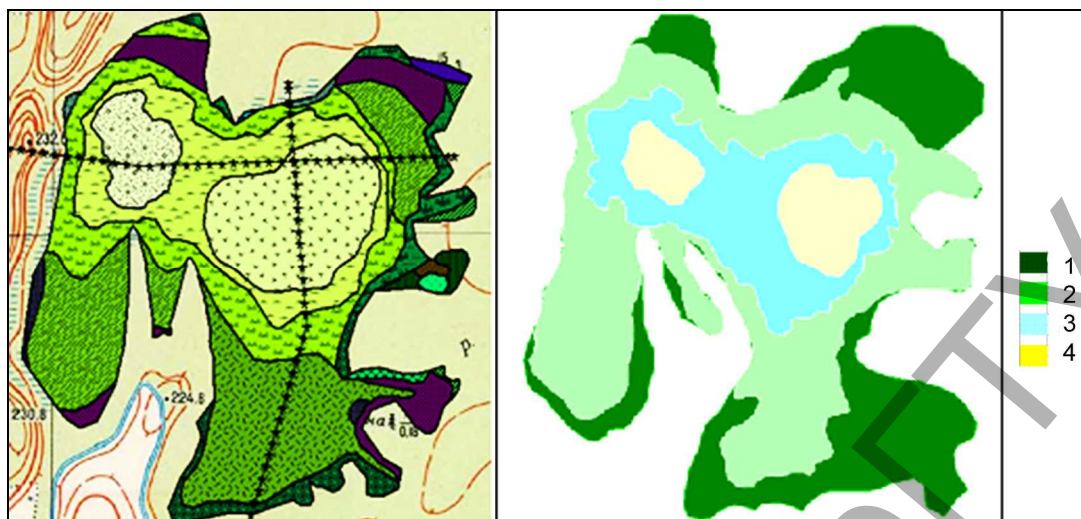


Рисунок 3 – Сравнение измеренных нивелировочных профилей [9] и рассчитанного по модели (3) нормального профиля болотного массива с формой купола (гидрофизические параметры в тексте)

Начало образования болота относится к бореальному периоду голоцена, переход в олиготрофную стадию произошел в атлантический период [9]. Т.е. развитие болота происходило в течение примерно 10 000 лет. По-видимому, этот период достаточен для достижения равновесного состояния – поэтому исследованное болото в грубом приближении имеет профиль похожий на нормально выпуклый. Однако в центральной части четко наблюдается более плоский характер поверхности, т. е. поверхность болота *полого выпуклая*. Это значит, что модуль проточности от центра к периферии возрастает, скорее всего, с увеличением количества древесного яруса в ценозе и смене фаций.



1 – краевая часть болота, сосняк сфагново-кустарничково-багульниковый, высота древостоя до 15 м, на хорошо разложившихся верховых торфяных почвах; 2 – полого-наклонная поверхность болота, сосняк сфагново-кустарничково-багульниковый, высота древостоя до 10 м, на хорошо разложившихся верховых торфяных почвах; 3 – субгоризонтальная поверхность болота, сосняк сфагново-пушицевый
Рисунок 4 – Фитоценотическая карта (А) с нанесенными нивелировочными профилями вдоль трансект и обобщенная ландшафтная схема (Б) верхового болотного массива «Обловское», Национальный парк «Валдайский»

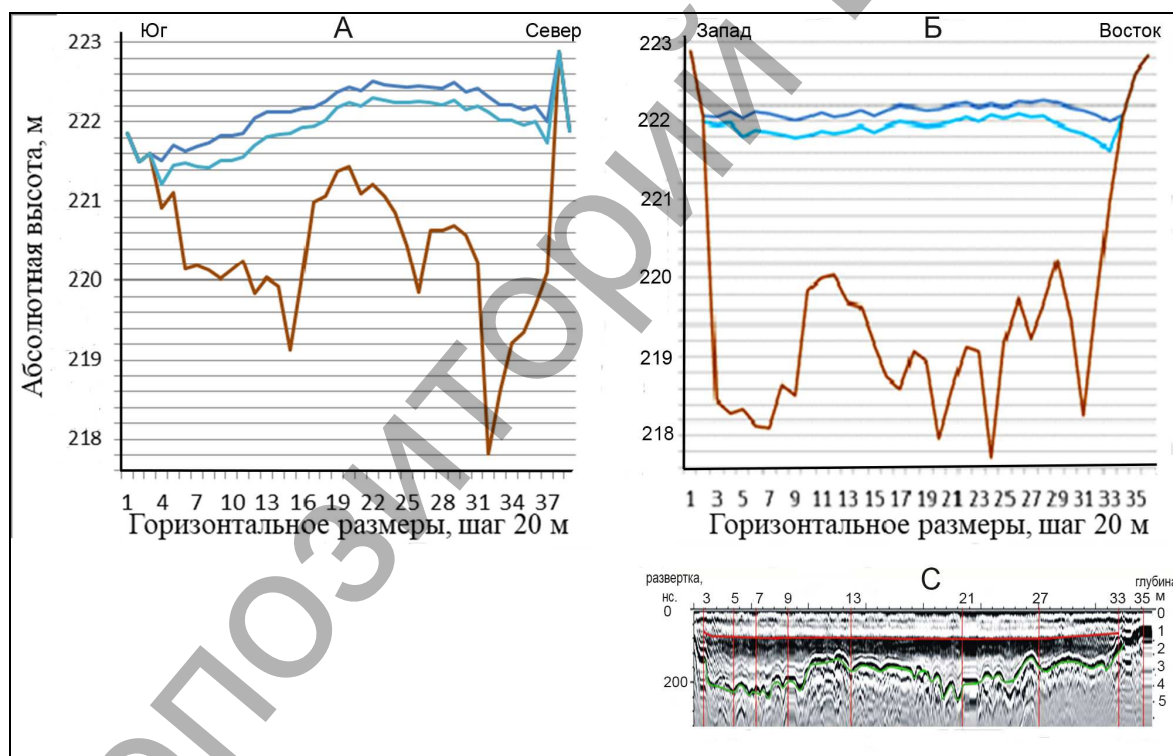


Рисунок 5 – Профили поверхности и уровней грунтовых вод верхового болота «Обловское» вдоль трансекта юг-север (А) и запад-восток (Б). Днище болотного массива - обобщение данных измерения в каждой второй точке и данных подповерхностного георадарного зондирования. Внизу – исходная радарограмма торфяных отложений вдоль трансекта запад-восток (С). По горизонтальным осям цифрами нанесены номера точек, шаг между точками 20 м

Для сравнения было исследовано еще одно близкое по размерам, мощности торфа и структуре ландшафтов верховое болото «Обловское», расположенное в пределах Осташковской конечноторфяной гряды на севере Валдайской возвышенности (рис. 4).

Это верховое болото имеет еще менее выпуклую поверхность, существенно отличающуюся от нормального профиля (рис. 5). Возможно, оно развивалось в течение более короткого периода. Однако почти плоский характер профиля по направлению с запада-восток, а с другой стороны – характерный асимметричный профиль с севера на юг свидетельствует, скорее всего, о растекании массива с севера

на юг (рис. 5). Очевидно, первоначально болото сформировалось в наиболее глубокой северной впадине массива, и лишь достигнув определенной мощности торфа, стало растекаться в южном направлении. По-видимому, этот процесс растекания происходит и в настоящее время, тормозя рост мощности торфа вверх и препятствуя формированию куполообразной формы поверхности.

Причиной не достаточно корректного описания поверхности верховых болот по модели (3), по-видимому, является слишком упрощенное описание факторов развития болотных массивов и их ландшафтной структуры. Во-первых, полностью отбрасываются механиз-

мы роста поверхности за счет торфонакопления – это ведущий процесс, как показано в работах по моделированию роста верховых болот [11]. Во-вторых, отбрасываются механизмы растекания торфомассива. По аналогии с развитием ледников со значительно более жесткими связями, в которых растекание льда является одним из основных механизмов [10], можно предположить что в водонасыщенных торфах геологические процессы должны иметь существенное значение.

Таким образом, инструментально измеренные профили поверхности болота отличаются от нормального равновесного профиля, рассчитанного по модели на основе уравнения Дарси. Причем в центральной части болота имеют полого выпуклый характер, а по краям массивов – наоборот наблюдаются более крутые склоны по сравнению с равновесным нормальным гидрологическим профилем. Следовательно, для более корректного моделирования ландшафтной структуры и формы поверхности верховых болот, по-видимому, необходимо использовать более сложные комплексные модели с учетом растеканию торфяной толщи, так как это принято в моделях куполообразных ледников (см. например, [10]), а также обязательно учитывать процессы торфообразования в голоцене [11].

Динамика формы поверхности болота. Сравнение высот, измеренных в течение последних 10 лет, показывает амплитуду колебаний поверхности болота в разных частях массива в среднем около 20 см. Однако в отдельных частях колебания существенно выше (рис. 6).

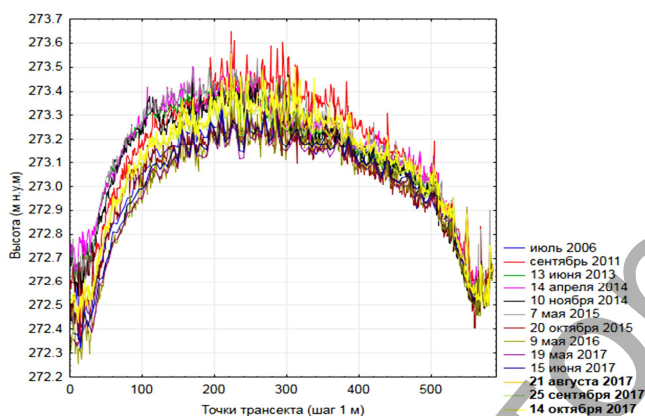


Рисунок 6 – Динамика высоты поверхности верхового болота Старосельский Мох вдоль трансекта по данным измерения нивелиром и тахеометром (последние три срока измерения)

Наименьшие средние уровни поверхности отмечаются в 2006 году и с конца 2015 г. по май 2017 г. Наибольшие уровни поверхности отмечаются в 2011 году и в начале 2015 года (максимум – 2011 год). На основе этих данных можно выделить три относительно устойчивых уровня поверхности болота – низкий уровень со средними высотами 272.99–273.03 м и медианой 273.07 м; средний уровень со средними высотами 273.08–273.11 м и медианой 273.18 м; высокий уровень – со средними высотами 273.13–273.17 м и медианой 273.25 м. С начала измерений в 2006 г., который соответствует низкому уровню поверхности болота, к 2011 г. уровень увеличился почти на 15 см и стабилизировался на этих значениях в течение 5 лет с амплитудой около 5 см. В середине 2015 года произошло падение уровня поверхности на 15 см, которое с амплитудой 2 см сохранилось по середине июня 2017 года, затем поверхность болота выросла на 7–8 см.

За период измерений в 2017 г., по данным метеостанции, на болоте выпало более 200 мм осадков при норме 100–120 мм. Среднесуточная температура составила чуть больше +16°C, что ниже среднего примерно на 1°C. Средняя относительная влажность составила более 86 % при норме 75–80 %. Таким образом, высокий объем осадков при невысоких температурах способствовал увеличению высоты поверхности болота в июле-августе 2017 г. Однако сложное поведение уровня поверхности не всегда удается связать только с осадками. Так, например, после засушливого 2010 г. в 2011 г. наблюдается максимальный уровень поверхности болота.

Представляет отдельный интерес динамика поверхности болота в течение летнего периода в 2017 г. (рис. 7).

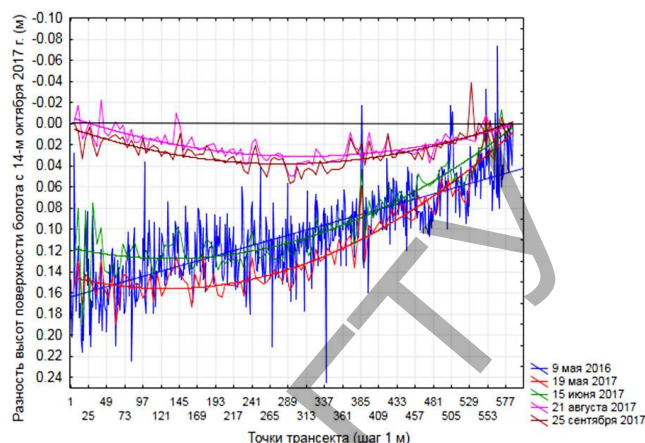


Рисунок 7 – Разности высот меженного уровня (14.10.2017) с измеренными ранее в 2016–2017 гг. высотами поверхности болота

Для сравнения приведен также график уровня поверхности в мае 2016 г. Изменения уровня поверхности болота для различных частей трансекта рассмотрим на разностях высот относительно меженного осеннего уровня (14.10.2017). В начале сезона (май-июнь) наблюдается почти линейный тренд от максимального превышения в 14–16 см на западной окраине до 0,02–0,00 см на восточной окраине. Различия между измерениями в конце августа и сентябре 2017 г. показывают слабо выраженный тренд второго порядка. В результате высоты поверхности в среднем были выше на 3–4 см в центре трансекта и практически не различались по его краям.

Столь существенная внутригодовая сезонная динамика поверхности болота может быть обусловлена только гидрологическими процессами: поступающая вода в процессе таяния снежного покрова и дождевых осадков интенсивно стекала по поверхности и внутри водоносного горизонта торфа мощностью 45–60 см на глубинах до 105 см, обнаруженного методом радарного подповерхностного зондирования. Причем наиболее интенсивно вода сбрасывалась в сторону дренирующего рудья вдоль западного края болота – именно поэтому здесь в периоды стока (май-июнь) произошло наибольшее поднятие поверхности болота. По мере сброса максимума воды уровни поверхности стали постепенно приближаться к осеннему (меженному) уровню.

Прямые измерения УГВ подтверждают эти предположения (рис. 8).

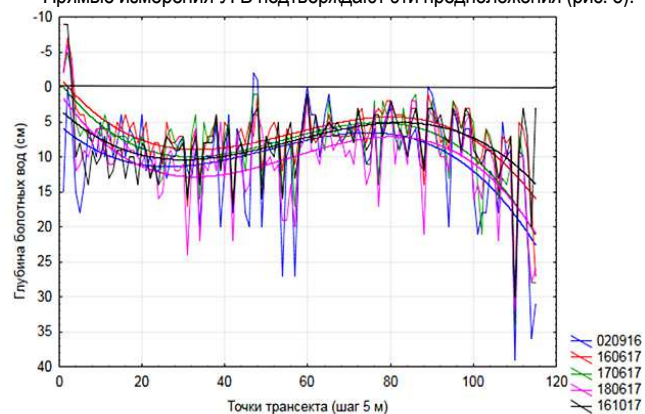


Рисунок 8 – Динамика уровня грунтовых (болотных) вод по рейкам вдоль трансекта

Измерения уровня болотных вод (УБВ) по всем рейкам трансекта были проведены в начале сентября 2016 года, серией в три дня 16–18 июня 2017 года после интенсивных дождей и в середине октября 2017 года. Уровень болотных вод максимален в крайней западной части трансекта (рис. 13), где они выходят на поверхность и минимален в его восточной части. В западной части центра болота

Таблица 1 – Гидрохимический состав вод болота Старосельский мох (макрокомпоненты), мг/л

N точки	Дата отбора	pH	TDS, мкСм/см	Na ⁺ , мг/л	K ⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Zn, мкг/л	Cu, мкг/л	Al, мкг/л	Fe, мкг/л	Mn, мкг/л
1	02.08.17	4,3	32,4	1,01	0,65	0,58	6,45	1,32	0,52	0,74	33,581	7,16	312,73	1138,2	103,7
2	09.08.17	4,3	32,0	1,72	1,52	0,58	7,6	2,43	0,10	0,5	16,695	3,15	352,07	2199,5	119,9
32	09.08.17	4,1	33,1	1,88	1,37	0,45	3,35	2,93	0,13	0,54	20,007	13,0	105,87	145,3	53,8
59	09.08.17	4,1	33,3	1,56	0,87	0,37	2,9	1,88	0,12	0,35	19,949	8,85	11,84	38,2	59,34
63	02.08.17	4,1	38,0	1,14	1,65	0,52	3,56	1,44	0,10	0,3	31,523	3,55	40,22	47,4	49,6
83	09.08.17	3,9	31,9	1,2	0,74	0,21	2,45	1,61	0,15	0,32	19,054	2,43	40,33	31,7	53,1
101	09.08.17	4,1	35,0	1,35	1,48	0,48	4,73	1,31	0,21	0,22	34,988	7,30	51,70	80,2	65,37

*Примечание. Жирными цифрами показаны минимальные на профиле концентрации

в среднем глубины болотных вод (7–13 см), тогда как наименьшие глубины (5–7 см) наблюдаются в восточной части центра болота тт. 79–83 – именно в этих точках наблюдается и минимальная концентрация ГВ. Это свидетельствует о том, что именно из этих точек наблюдается наиболее интенсивное растекание вод, поступивших с атмосферными осадками. Измерения после интенсивных дождей показали, что падение с максимального уровня УБВ на 3–4 см происходит в течение трёх дней, что и составило максимальную амплитуду колебаний при стоке вод.

Пространственные изменения химического состава болотных вод. Питание верховых болот происходит за счет атмосферных осадков. Минерализация болотных вод обусловлена несколькими процессами. Прежде всего, она зависит от соотношения интенсивности и длительности процессов транспирации, испарения и стока по поверхности верховых болот, а также процессов поглощения растительностью и сорбции торфами. В связи с этим интересно сравнить химический состав болотных вод в контрастные периоды формирования. Распределение концентрации компонентов в водах исключительно влажного летнего периода 2017 г. приведено в табл. 1.

Прежде всего, отмечается очень малая концентрация минеральных компонентов, характерная для ультрапресных вод, обусловленная низкими концентрациями в атмосферных осадках и поглощением растительностью. Ряд микроэлементов (Pb, Cd, и др.) вообще оказались ниже предела обнаружения прецизионным атомно-адсорбционным методом. Низкие значения pH связаны с большим количеством органических кислот.

Минимальное значение pH, электропроводности (общей минерализации), K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, а также Cu, Fe и Mn наблюдается не в центре болота (т. 59), а в т. 83, подчеркивая растекание болотных вод именно из этой области (возможно и в поперечном трансекте направлении). Если обратиться к рис. 1 и рис. 8, то видно, что в тт. 82, 83, 84 находится наиболее обводненный участок трансекта, к этим же точкам относятся и наиболее глубокие отметки ложа болота, и, естественно, максимальные мощности торфа (рис. 2).

Содержание биологически инертного C1⁻ должно увеличиваться по сравнению с атмосферными осадками за счет испарения с поверхности болот. Следовательно, его содержание должно быть наибольшим в центральных частях, что и наблюдается в болоте Старосельский мох. Концентрация C1⁻ в центре превышает его концентрацию в периферических частях в 1,5–2 раза (табл. 1). Существенно контрастнее процессы испарительной концентрации наблюдались в болотных водах в период исключительно сухого летнего сезона 1972 г. Так, концентрация C1⁻ в центре верховых болот Новгородской области превышала в 5,5–11 раз его концентрацию в атмосферных осадках [5].

Влияние биогеохимических процессов на химический состав болотных вод. Напряженность биогеохимического круговорота на верховом болоте можно охарактеризовать при анализе пространственного распределения зольности в растениях и верхних горизонтах торфа (табл. 2).

Таблица 2 – Средняя зольность основных торфообразующих растений и верхнего горизонта торфа болота Старосельский мох

N точки	2	31	59	83	103
Кустарнички	5,8	5,5	1,8	1,9	1,5
Травянистые	7,7	8,7	3,2	2,9	1,0
Мох	8,3	2,1	3,0	3,1	3,2
Слаборазложившийся торф 10–20 см	6,0	1,2	1,8	2,2	2,6

*Примечание. Жирными цифрами показаны минимальные значения на профиле

Скудость минерального питания особенно проявляется в центральных частях болота – зольность растительности здесь минимальна и составляет 1,0–3,0%. Мхи (в центральных частях болота, главным образом, *Sphagnum fuscum* и *Sp. medium*) являются основными торфообразователями на верховом болоте, и превращение их в торф имеет достаточно большое значение для формирования химического состава болотных вод. Общее количество зольных элементов в торфах по сравнению с живыми мхами несколько уменьшается, что заставляет предполагать выщелачивание зольных элементов из торфа. Такая же закономерность отмечалась в нашей ранней работе [5]. Это свидетельствует в пользу того, что потеря органического вещества при торфообразовании не очень велика. У сфагновых мхов удержание элементов в биологическом круговороте, возможно, происходит за счет как бы перекачки биогенных элементов из отмирающих частей в живые. Не случайно наиболее резко при торфообразовании уменьшается содержание в первую очередь калия и марганца (на 97% и 90% соответственно), а затем кальция и серы (63% и 39%), в то время как содержание Si, Fe, Al, т. е. наиболее слабо поглощаемых сфагновыми мхами элементов, в торфах возрастает [5]. Наиболее резко их содержание повышается в верхнем активном торфообразующем слое – в этом же слое максимальна и концентрация элементов в водах. Это указывает также на то, что в верхнем микробиологически активном торфообразующем слое наиболее интенсивно происходит растворение минералов, поступающих с пылеватыми частицами.

Заключение. Ведущим фактором формирования профиля и динамики поверхности олиготрофного болота «Старосельский мох» и его ландшафтной структуры является гидрологический режим. Полуэридные геодезические измерения в течение десяти лет показали как годичные, так и внутригодовые существенные колебания уровня поверхности болота – различия в вертикальном движении в его частях достигают амплитуды от 10 до 40 см в разных частях трансекта. Причем, режим обусловлен не только соотношением осадки – транспирация, но и процессами стока: георадарное зондирование выявило в верхней части профиля торфов водоносный слой мощностью 45–60 см (на глубинах до 1 м), который выклинивается на поверхность в западной части массива в ручей – этот водообильный горизонт, подтвержденный данными бурения, и обеспечивает сброс болотных вод в дренажную сеть и вертикальную динамику поверхности болота. Интенсивное растекание болотных вод четко фиксирует гидрохимический состав вод: минимальное значение pH, электропроводности (общей минерализации), K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, а также Cu, Fe и Mn наблюдается в центральной области с наиболее значениями мощности торфа. Такое распределение минеральных компонентов соответствует напряженности биогеохимического круговорота – наименьшая зольность в торфообразующих растениях и в верхнем слаборазложившемся слое торфа наблюдается также именно в этих областях. Инструментально измеренные профили поверхности верховых болот отличаются от нормального равновесного профиля, рассчитанного по модели на основе уравнения Дарси. Использованная модель не дает возможности описать актуальный профиль развития болотного массива. По-видимому, необходим также учет механизмов торфообразования и растекания торфомассива.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Добровольский, В. В. Основы биогеохимии. – М. : Академия, 2002. – 353 с.

2. Dommain, R. Hydrological self-regulation of domed peatlands in south-east Asia and consequences for conservation and restoration / R. Dommain, J. Couwenberg, H. Joosten // *Mires and Peat*. – Режим доступа : <http://www.mires-and-peat.net/>. – 2010.
3. Иванов, К. Е. Водообмен в болотных ландшафтах. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1975. – 280 с.
4. Богословский, Б. Б. Общая гидрология / Б. Б. Богословский, А. А. Самохин, К. Е. Иванов, Д. П. Соколов. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 422 с.
5. Сысуев, В. В. Ландшафтно-геохимические черты верхового болота // *Вестник Московского университета*. – Серия 5 : Геогр. – 1972. – № 2. – С. 57–61.
6. Бобров, В. А. Аномальные проявления концентраций цинка и меди в торфянике верхового болота Южного Прибайкалья / В. А. Бобров, А. А. Богуш, Г. А. Леонова, В. А. Краснобаев, Г. Н. Аношин // *ДАН*. – Т. 439 (6). – 2011. – С. 784–788.
7. Гавшин, В. М. (2003) Свидетельства фракционирования химических элементов в атмосфере Западной Сибири по данным исследования верхового торфяника / В. М. Гавшин, Ф. В. Сухоруков, В. Д. Будашкина [и др.] // *Геохимия*. – № 12. – С. 1337–1344.
8. Malawska, M. Geochemistry and geochemical differentiation on major elements in selected peat bog profiles (south-east Poland) / M. Malawska, B. Wilkomirski // *Soil Science and Plant Nutrition*. – V. 50 (6). – 2004. – P. 925–930.
9. Сандлерский, Р. Б. Долговременные измерения параметров функционирования верхового болота Старосельский мох / Р. Б. Сандлерский, М. Ю. Пузаченко [и др.] // *Стационарные экологические исследования: опыт, цели, методология, проблемы организации : материалы Всероссийского совещания. – Центрально-лесной государственный природный биосферный заповедник (Тверская обл.)*, 15–19.08.2016 г. – М., 2016. – С. 155–158.
10. Коновалов, Ю. В. Модели ледниковых покровов в приближении тонкого слоя льда : учебно-методическое пособие по курсу "Математическое моделирование физических процессов" / Ю. В. Коновалов, О. В. Нагорнов, П. С. Цыбенко. – М. : МИФИ, 2007. – Ч. 1. – 76 с.
11. Frolking, S. A new model of Holocene peatland net primary production, decomposition, water balance, and peat accumulation / S. Frolking, N. T. Roulet, E. Tuittila, J. L. Bubier, A. Quillet, J. Talbot, P. J. H. Richard // *Earth Syst. Dynam.* – № 1, 1–21. – Режим доступа : www.earth-syst-dynam.net/1/1/2010/.

Материал поступил в редакцию 27.02.2019

SYSUEV V. V., PUZACHENKO M. Yu. Surface dynamics and properties of the oligotrophic bog

Hydrological processes are leading in autonomous upland bogs, and this should reflect on the shape and dynamics of their surface, in the structure of landscapes. Oligotrophic moor "Staroselsky moss" (Central Forest Reserve, Tver Region) was studied in detail along a transect length of about 600 m. The leveling of the bog surface revealed a deviation from a normal hollow convex shape. Geodetic measurements on the rails network showed significant intra-seasonal and interannual changes in the level of the bog surface - differences in vertical movement in its parts reach an amplitude of 10 cm to 40 cm. Radar sounding revealed in the upper part of peat the aquifer layer with a thickness of 45-60 cm. This aquifer confirmed by the drilling data, determines the vertical dynamics of the surface and provides the discharge of water from the central part of bog. The spreading of waters is confirmed by the distribution of the water chemicals: the minimum pH, the electrical conductivity, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Cu, Fe, Mn is observed in the central bog parts.

УДК 697.921.47

Галюжин С. Д., Лобикова Н. В., Лобикова О. М., Галюжин А. С.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА КОНДЕНСАТА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ УДАЛЯЕМОГО ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ РЕКУПЕРАТОР ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Введение. При строительстве и реконструкции зданий в устанавливаемых современных вентиляционных установках широко применяются рекуператоры, в которых осуществляется теплообмен между приточным и удаляемым воздухом. Рекуператор (от *лат. Recuperator – получающий обратно, возвращающий*) – *теплообменник*, позволяющий передавать тепло от удаляемого из помещения в окружающую среду загрязненного воздуха к приточному воздуху, поступающему из атмосферы. Рекуператоры могут различаться по схеме относительно движения приточного и удаляемого воздуха – противоточные, перекрестноточные, прямоточные и др. Конструктивно они бывают трубчатые, пластинчатые, ребристые и т. д. [1]. В процессе теплообмена в рекуператоре происходит охлаждение удаляемого воздуха и, как правило, образование в нем конденсата. При отсутствии системы удаления конденсата в зимнее время происходит образование наледи в вытяжных воздуховодах снаружи помещения, а также – инея на наружной поверхности рекуператора, особенно если он установлен в отдельном неотапливаемом помещении. Поэтому вентиляционная

установка должна быть снабжена системой удаления конденсата, для расчета и проектирования которой необходимо знать количество конденсата, образующегося в единицу времени.

Объект исследований. Большая часть поверхности Земли покрыта водой, которая испаряется в атмосферу. Поэтому атмосферный воздух из-за наличия в нем паров воды является влажным и для средних широт, как правило, является ненасыщенным, т. е. при рассматриваемой температуре влажный воздух может обогащаться парами воды. Существует предел такого поступления – при определенном количестве молекул воды в воздухе устанавливается состояние насыщения, т. е. предельное значение массы паров воды в воздухе при данной температуре, называемой *температурой точки росы*. С ростом температуры воздуха температура точки росы повышается, и, соответственно, тем больше паров воды может содержаться в нем. Охлаждение воздуха ниже температуры точки росы приведет к пере-сыщенному состоянию, и пары воды начнут конденсироваться. При этом выпадет столько конденсата, чтобы воздух при рассматриваемой

Галюжин Сергей Данилович, к. т. н., доцент, действительный член Белорусской инженерной академии, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет», e-mail : serg.galujin@yandex.ru.

Лобикова Надежда Васильевна, магистрант кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет», e-mail : nadya.lobikova@yandex.ru.

Лобикова Ольга Михайловна, старший преподаватель кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет», e-mail : olg.lobikova@yandex.ru.

Галюжин Александр Сергеевич, к. т. н., доцент, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет», e-mail : serg.galujin@yandex.ru.

Беларусь, 212000, г. Могилев, проспект Мира, 43.