

ния» или «разливы»). Затем, по мере зарастания, водоемы превратятся в тростниковые и осоковые болота. В последующем (в течение нескольких десятилетий) в результате зарастания водоемов на таких участках будет формироваться единый болотный массив с ровной поверхностью. В этом случае произойдет восстановление естественных низинных болот и характерного

для них биологического разнообразия. В течение 10-15 лет на всей проектной территории восстановится водно-болотная фауна и флора;

– на возвышенных участках (окраины торфяника, бровки каналов, минеральные острова и др.) будут протекать процессы естественного возобновления леса с последующим формированием насаждений.

Список литературы

1. Строительный проект «Повторное заболачивание торфяника Погонянское -2, расположенного в Хойникском и Брагинском районах Гомельской области», объект 52/2022 ООО «ПинскЖилПроект», Пинск, – 335 с.
2. Об охране и использовании торфяников [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 18 дек. 2019 г. № 272-3 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022.
3. Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Правила и порядок определения и изменения направлений использования выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот: ТКП 17.12-01-2008 (02120). – Введ. 31.10.2008 г. – Минск : РУП «Бел НИЦ «Экология», 2008. – 13 с.

МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СФАГНОВОГО БОЛОТНОГО КОМПЛЕКСА НА ЮЖНОЙ ГРАНИЦЕ ПОДТАЙГИ ДИСТАНЦИОННЫМИ И НАЗЕМНЫМИ МЕТОДАМИ

Г.А. Шайхутдинова¹, В.П. Хомяков², К.А. Лисовская², Н.Р. Шафигуллина¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия, gshaykhu@gmail.com, nadiashafigullina@gmail.com

²Московский государственный институт международных отношений (университет) МИД России, Москва, Россия, v.hamster04@gmail.com, ksenialisovskaa91@gmail.com

Представлены результаты реализации программы дистанционных (с помощью беспилотного летательного аппарата) и наземных наблюдений малой охраняемой территории. Построены крупномасштабные карты и профиль мощности торфяной залежи; для прогноза состояния болотного комплекса выполнены расчеты объемов водного стока при различном уровне лесистости площади водосбора. По результатам анализа изменчивости функциональных признаков растений и сфагновых мхов определены оптимальные условия сосуществования видов.

Важность сохранения болотных экосистем, являющихся уникальными природными комплексами с ярко выраженными регулирующими среду функциями, общепризнана. Для разработки подходов охраны необходимо понимание экологических и биологических особенностей функционирования болотных экосистем как в различных природных, так и антропогенных условиях. Изучаемый болотный комплекс, вытянутой формы, расположен в понижении послеледниковой балки, прорезающей левобережную высокую террасу Волги, в пограничных условиях подтайги и лесостепи, а также болотных зон – верховых сосново-сфагновых и низинных травяных болот, низинных осоковых и тростниковых болот [3]. Экотопы сфагновых болот в Республике Татарстан характеризуются бедностью минерального питания и на уровне болотных массивов относятся к переходному типу, с включением небольших участков болот верхового типа [2]. Общая низкая заболаченность территории Татарстана (0,4%) и редкость сфагновых болот обуславливают необходимость брать подобные комплексы под охрану, тем более, что они в условиях низкой лесистости региона обычно встроены в антропогенные ландшафты. Но из-за малых размеров сфагновые болота республики охраняются в основном в статусе памятников природы регионального значения, что не обеспечивает необходимый уровень защиты и контроль состояния.

Общая площадь изучаемого болотного массива около 10 га. В начале 1960-х гг. полотном трассы А-295 массив был разделен на две части. Северная часть (3,7 га) в 2002 г. вошла в состав охранной зоны Волжско-Камского государственного природного заповедника, южная (6,3 га) с 1981 г. охраняется в статусе памятника природы, вместе с прилегающими участками склонов балки. Ежегодные наблюдения за болотным комплексом и прилегающими экосистемами ведутся с 2018 г. дистанционными и наземными способами.

Дистанционный мониторинг выполняется с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА), которые получили в последние годы широчайшее применение, в том числе в народном хозяйстве и экологических исследованиях [7]. Такой вид наблюдений открывает возможности оперативного отслеживания антропогенных нарушений, особенно для малых охраняемых территорий, которые трудно контролировать. Крупномасштабные съемочные данные, полученные с БПЛА, совместно с результатами наземных наблюдений, обеспечивают выполнение пространственного анализа данных и прогнозного моделирования для разработки программ управления.

Комплексе выполненных наземных исследований включает промеры мощности торфяной залежи и построение продольных профилей глубины залегания торфа; картирование природных и антропогенных эле-

ментов особо охраняемых природных территорий, а также границ водосбора болотного комплекса для расчета объемов водного стока; сбор и анализ ботанических данных – функциональных показателей болотных растений и сфагновых мхов в различных по мощности участках торфяной залежи болотного комплекса для понимания механизмов их адаптации к условиям обитания. К функциональным признакам растений могут быть отнесены любые несистематические признаки (масса семян, высота генеративных или вегетативных побегов, площадь, вес и длина листьев и т.п.), при этом варьирование признаков у видов в сообществах свидетельствует о дифференциации их экологических ниш, характеризует стратегии жизни растений [16], маркирует изменения градиентов среды в ходе сукцессий [4] и служит оценкой филогенетического сигнала [10].

Оценка и прогноз экологического состояния болотного комплекса. Аэрофотосъемочные работы (4 года наблюдений) проводились с использованием мультироторного БПЛА DJI Phantom 4, снабженного фотокамерой с разрешением 12 мп, и встроенным высокоточным ГНСС-приемником (ООО «Геоскан», г. Санкт-Петербург), позволяющим автоматически получать координатах местоположения от сети референсных станций и спутников. Управление осуществляли со смартфона с использованием программы «DroneDeploy», позволяющей формировать полетное задание и задавать параметры съемки. Съемка выполнялась на высоте 150 м, продольное перекрытие снимков – 60-80%, поперечное перекрытие снимков – 60-80%, положение камеры – 90°, маршрут – площадная съемка. Фотограмметрические работы и создание 3D-модели территории реализованы в программе Agisoft Photoscan по стандартной методике [6] в следующей последовательности: анализ и отбраковка снимков, построение накладки монтажа и фотопланов, построение облака точек, построение ортофотоплана.

С помощью ручного пробоотборника Eijkelkamp сделаны промеры мощности торфяных залежей обеих частей болотного комплекса по методике [12]. Бурение залежей выполнено точно по всей длине с частотой 30-70 м в южной части и с частотой 20-40 м в северной части. При выборе частоты промеров опирались на изменение состава растительности участков болота и на результаты дистанционных наблюдений. Все пробы торфа, полученные при бурении, имели светло-коричневый цвет, характерный для верховых торфов, и типичную для торфов мохового происхождения губчатую структуру. Координаты каждого места погружения бура фиксировались GPS-приемником. Выполнено 37 промеров: 24 в южной части и 13 в северной. Данные промеров с учетом их координат визуализированы на ортофотоплане, построены продольные профили глубины залегания торфа (рисунок). В южной части болотного комплекса диапазон мощности торфа варьирует от 40 до 400 см, создавая разнообразие болотных экотопов. В северной части, расположенной в охранной зоне заповедника, мощность колеблется от 150 до 800 см. В условиях максимальной мощности залежи формируется мертвопокровный березняк, в верхнем слое которого вероятно уже протекают процессы гумификации и минерализации торфянистой массы [5].

При дешифрировании фотопланов создана библиотека дешифровочных признаков, намечены границы водосборов северного и южного участков болот, построены карты и рассчитаны площади природных и антропогенных элементов ландшафтного комплекса балки в среде ГИС MapInfo Professional. Сравнение фотопланов за 4 года наблюдений позволило зафиксировать систематические нарушения режима охраны памятника природы: сброс мусора на лесной опушке и полянах, заезд мототехники на болото. В первые 2 года наблюдений на безлесном склоне южной части балки, производился интенсивный выпас скота, за два сезона зафиксировано увеличение в 1,5 раза площади эродированных участков и скотобойных троп. В сезон 2020 г. выпас прекратился и сбитые участки начали зарастать.

С использованием рассчитанных значений площадей различных типов покрытия водосбора и коэффициентов среднего многолетнего стока для различных поверхностей [9, 11] по типовым формулам [8] и данным о слое осадков для территории [1] рассчитаны объемы среднего многолетнего водного стока с площади водосбора отдельно для северного и южного участка балки (таблица). Сравнение результатов позволило выполнить прогноз состояния болотных комплексов.

В северной части балки, несмотря на большую водосборную площадь, высокие показатели лесистости показывают низкий уровень объема стока за счет затрат на испарение и транспирацию. При полном зарастании луговых участков лесом, объем стока в северной части балки снизится еще почти в три раза, что может привести к потере болотной экосистемы. В южной части балки из-за невысокой облесенности водосбора величина объема стока выше, чем в северной (см. таблицу, рисунок) и соответственно больше площадь не заросших лесом болот. Дифференциация торфонакопления по длине комплекса обеспечивается неравномерностью водного стока из-за мозаичного покрытия территории лесом и длительным выпасом на прилегающих склонах. В случае зарастания лугов лесом в ходе постпасторальных восстановительных сукцессий, норма стока уменьшится в 4 раза от существующей, и станет в 3,5 раза меньше современной нормы стока для северной части, что неизбежно приведет к упрощению структуры южного болотного комплекса и потере части видовой разнообразия. Для сохранения природоохранной ценности болотного комплекса необходима разработка программы управления, в поддержку величины оптимальной лесистости водосборной площади.

Анализ изменчивости функциональных признаков растений по градиенту мощности торфяной залежи. Сбор полевого материала проводился на пробных площадях, заложенных вдоль линии промеров мощности торфяной залежи. Проведены измерения высоты генеративных побегов пяти наиболее постоянных для всех площадок видов (*Menyanthes trifoliata* L., *Comarum palustre* L., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Betula pubescens* Ehrh., *Frangula alnus* Mill.), собраны и пронумерованы образцы листьев (по 30 шт. для каждого вида на каждой площадке). У каждого листа непосредственно перед сбором с помощью оптического прибора SPAD-502 (Konica-Minolta), измерен коэффициент пропускания листьями света в красной и ин-

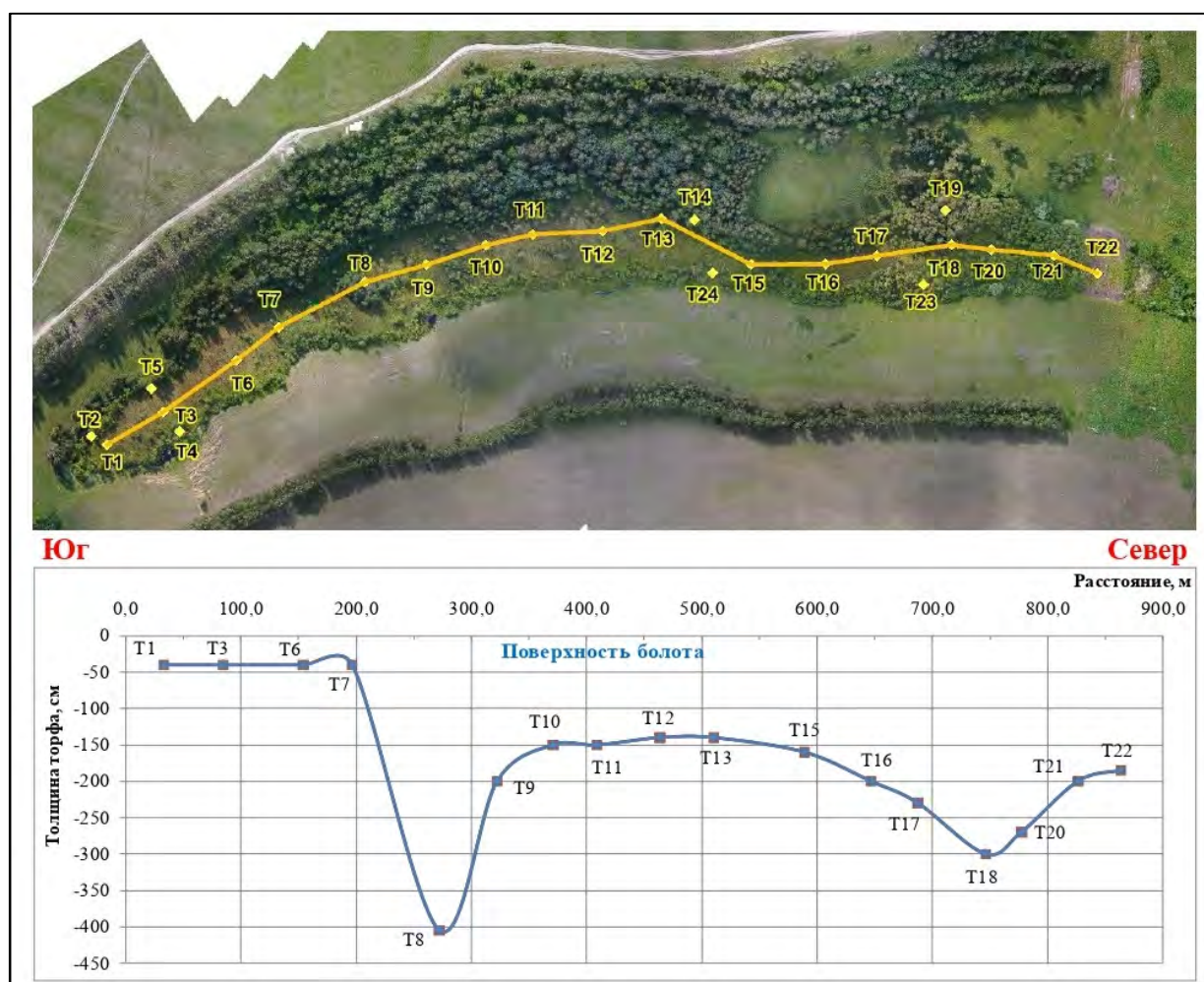


Рисунок – Ортофотоплан с расположением точек бурения и профиль глубины залегания торфяной залежи южной части болотного комплекса

Таблица – Характеристики водосборных территорий и объемы стока участков болотного комплекса

Участок балки	Общая площадь водосбора, км ²	Облесенные территории		Луговые сообщества		Площадь не облесенных участков болота и водосмов, км ²	Средний многолетний объем стока, тыс.м ³
		площадь, км ²	объем стока, тыс.м ³	площадь, км ²	объем стока, тыс.м ³		
Северный	1,126	0,496	41,3	0,606	230,1	0,024	271,4
Южный	0,971	0,099	8,2	0,816	309,8	0,056	318,03

фрактальной области электромагнитного спектра (SPAD), который пропорционален концентрации хлорофилла в образце [18]. У каждого листа измерены длина с черешком, площадь, сухой вес. Тесноту связи всех измеренных признаков листьев проверяли расчетом коэффициента корреляции Пирсона, с проверкой значимости.

Увеличение мощности торфяной залежи сопровождается удлинением генеративных побегов травянистых видов. По градиенту мощности постепенно увеличивается средняя площадь и длина листа *Menyanthes trifoliata*, *Chamaedaphne calyculata*, *Betula pubescens*. Больше всего значимых связей между значениями функциональных признаков в условиях пушицево-сфагнового (*Eriophorum vaginatum* L., *Sphagnum medium* Limpr., *Sph. angustifolium* (C.E.O. Jensen ex Russow) C.E.O. Jensen) фитоценоза на залежи мощностью 160 см, что свидетельствует о проявлении в этих условиях у видов стратегии настройки признаков, обеспечивающих плотную упаковку экологических ниш. В этих же условиях *Frangula alnus* показывает заметные

отрицательные связи значений SPAD со всеми размерно-весовыми показателями листьев, что видимо связано со снижением содержания хлорофилла при росте размерно-весовых показателей листьев.

Для болотного комплекса в целом характерны пять фоновых видов сфагновых мхов: *Sphagnum fallax* (H.Klinggr.) H.Klinggr., *Sph. medium* Limpr. (*Sph. magellanicum* Brid.), *Sph. flexuosum* Dozy & Molk., *Sph. angustifolium* (C.E.O. Jensen ex Russow) C.E.O. Jensen., *Sph. riparium* Ångstr. Доминирует *Sph. medium*, присутствующий на участках с разной мощностью торфяной залежи. Меньшее обилие у *Sph. angustifolium* и *Sph. fallax*; на участках с большой мощностью торфяной залежи (до 400 см) встречаются *Sph. flexuosum* и *Sph. riparium*. Таким образом, по градиенту увеличения мощности торфа увеличивается видовое разнообразие сфагновых мхов.

Образцы сфагновых мхов отбирались с помощью рамки 10x10 см, у каждого образца измерялась масса и количество побегов для определения плотности дерновины. Плотность побегов рассматривается как ключе-

вой функциональный признак водного баланса сфагнума [15, 17]. Побеги сфагнума вытягиваются на одну высоту, образуя своими макушками более или менее плотную дерновину с равномерной фотосинтетической поверхностью. Чем больше показатель гладкости поверхности, тем меньше будет испаряться влаги, что способствует выживаемости сфагнума и придает колонии ее влагоудерживающие свойства. Показателями наибольшей плотности отличаются поверхности, образованные в основном мелкими побегами. Кроме того, плотность побегов положительно коррелирует с массой образца. Наибольшая масса и плотность побегов наблюдалась у образцов *Sphagnum angustifolium* и *Sphagnum flexuosum*, побеги которых мельче остальных. Плотность побегов и масса образцов дерновин уменьшались с градиентом увеличения мощности торфяной залежи.

По геоботаническим описаниям, выполненным на пробных площадях, определены экологические условия с помощью фитоиндикационных шкал Элленберга [14], регионализированных для Республики Татарстан

[13]. Расчётом коэффициента корреляции Пирсона проверили тесноту связи экологических характеристик участков и массы образцов дерновин мхов. В наиболее экстремальных условиях (избыточное увлажнение, высокая кислотность, интенсивное освещение, бедность элементами питания) сфагновые мхи отличаются большей массой и плотностью, но низким видовым разнообразием. Такие условия характерны для участка болота с минимальной мощностью торфяной залежи 40 см.

Таким образом, увеличение мощности торфяной залежи изменяет доступность необходимых для роста и развития растений ресурсов и условия конкуренции за них. Согласно полученным результатам, участки с мощностью торфа 150–200 см предоставляют наиболее благоприятные условия для сосуществования сфагновых мхов с прочими видами болотного комплекса, обеспечивая у последних плотную упаковку ниш за счет варьирования функциональных признаков. Сохранение равновесия возможно обеспечить через регулирование водного баланса водосборной территории, поддерживая ее часть в беслесном состоянии.

Список литературы

1. Атлас Республики Татарстан. – Производственное картосоставительское объединение «Картография», Москва, 2005. – 211 с.
2. Бакин О.В., Шафигуллина Н.Р. Флора листостебельных мхов болот Татарстана. Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. Том 154, кн. 1. – 2012. – С. 155–164.
3. Боч М.С., Мазинг В. В. Экосистемы болот СССР. – Л.: Наука, 1979. – 188 с.
4. Василевич В.И. Функциональное разнообразие растительных сообществ. Ботанический журнал. Т. 101. № 7. – 2016. – С. 776–795.
5. Глазковская М. А. Общее почвоведение и география почв. – М.: Высшая школа, 1981. – 400 с.
6. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. Федеральная служба геодезии и картографии России. Геодезические, картографические инструкции, нормы и правила. – Москва, ЦНИИГАиК, 2002. – 101 с.
7. Лабутина И.А., Балдина Е.А. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ. Методическое пособие. – Москва, 2011. – 90 с.
8. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А. Гидрология: Учебник для вузов. – 2-е изд. испр. – М: Высшая школа. – 2007. – 463 с.
9. Молчанов А.А. Влияние леса на окружающую среду. – Москва: Изд-во «Наука», 1973. – 359 с.
10. Онипченко В.Г., Дудова К.В., Гулов Д.М. и др. Функциональные признаки листьев растений важны для формирования состава альпийских растительных сообществ. Журнал общей биологии. – 2022. – Т. 83. – № 2. – С. 127–137.
11. Принципы выделения защитных лесных полос. Коллектив авторов. Отв. ред. чл.-кор. АН СССР А.А. Молчанов; АН СССР, Лаб. лесоведения. – Москва: Наука, 1977. – 147 с.
12. Филиппов Д.А., Прокин А.А., Пржиборо А.А. Методы и методики гидробиологического исследования болот: учебное пособие / под ред. проф. А. В. Толстикова. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2017. – 208 с.
13. Шагиев Б.Р. Вероятностная оценка пула видов растительных сообществ на основе региональных экологических шкал: автореф. дис. на соиск. учен. степ. к. б. н. : специальность 03.02.08 <Экология по отраслям> / Шагиев Булат Ринатович; [Казан. (Приволж.) федер. ун-т]. – Казань, 2012. – 21 с.
14. Ellenberg H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. – Gottingen: Goltze, 1974. – 97 s.
15. Elumeeva T.G., Soudzilovskaia N.A., During H.J., Cornelissen J.H.C. The importance of colony structure versus shoot morphology for the water balance of 22 subarctic bryophyte species. Journal of Vegetation Science. – No 22, 2011. – P. 152–164. doi: 10.1111/j.1654-1103.2010.01237.x.
16. Garnier, E. Navas M.-L., Grigulis K. Plant functional diversity. Organism traits, community structure and ecosystem properties. – Oxford, Oxford University Press, 2016. – 231p.
17. Laing C.G., Granath G., Belyea L.R. et al. Tradeoffs and scaling of functional traits in Sphagnum as drivers of carbon cycling in peatlands. – Oikos. – No 123, 2014. – P. 817–828. doi: 10.1111/oik.01061.
18. Ling Q., Jarvis P., Huang W. Use of SPAD-502 meter to measure leaf chlorophyll concentration in Arabidopsis thaliana. Official Journal of the International Society of Photosynthesis Research. – No. 107, 2010. – P. 209–214.