

УДК [553.97:53:551.438.222](470.1/.2)

**ПАРФЕНОВА Лариса Николаевна**, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН. Автор 102 научных публикаций, в т. ч. одной монографии

**БОГОЛИЦЫН Константин Григорьевич**, доктор химических наук, профессор Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН. Автор 480 научных публикаций, в т. ч. 11 монографий

**СЕЛЯНИНА Светлана Борисовна**, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН. Автор 123 научных публикаций, в т. ч. трех монографий

**ТРУФАНОВА Марина Витальевна**, кандидат химических наук, научный сотрудник Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН. Автор 38 научных публикаций

**ОРЛОВ Александр Сергеевич**, младший научный сотрудник, аспирант Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН. Автор 5 научных публикаций

**МАЛЬЦЕВА Елизавета Владимировна**, кандидат химических наук, научный сотрудник Института химии нефти Сибирского отделения РАН. Автор 32 научных публикаций

**СОКОЛОВА Тамара Владимировна**, кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института природопользования Национальной академии наук Беларуси (г. Минск). Автор 55 научных публикаций

### **КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ И СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТОРФА БОЛОТНЫХ МАССИВОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ\***

Актуальность изучения болотных экосистем для Европейского Севера России обусловлена высокой заболоченностью этого региона, а также значимыми функциями болот в природе и большим влиянием на хозяйственную деятельность человека. В Северном экономическом районе Архангельская область занимает

---

\*Авторы выражают благодарность за теплый прием и оказанное содействие сотрудникам болотной станции «Брусовица» и ее начальнику Н.В. Расторгуевой, сотрудникам Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН кандидату химических наук Н.С. Ларионову, младшему научному сотруднику Н.В. Ульяновскому, кандидату химических наук С.С. Хвиюзову, младшему научному сотруднику И.А. Кузнецовой за помощь при отборе проб торфа во время экспедиционных работ, а также кандидату технических наук доценту Д.Г. Чухчину и доктору биологических наук старшему научному сотруднику М.В. Сурсо за снимки методами атомно-силовой и световой микроскопии в проходящем свете.

© Парфенова Л.Н., Боголицын К.Г., Селянина С.Б., Труфанова М.В., Орлов А.С., Мальцева Е.В., Соколова Т.В., 2014

второе, после Вологодской, место по количеству торфяных месторождений и объему торфяных ресурсов. Наблюдения производились на Иласском болотном массиве, расположенном в Приморском районе Архангельской области, где находится опытный участок единственной в России болотной гидрометеостанции «Брусовица» Северного управления гидрометеослужбы, а также на болотном массиве национального парка «Кенозерский» на юго-западе Архангельской области.

В статье представлена характеристика элементного и компонентного состава торфа различной типовой принадлежности, отобранного на отличных по климатическим условиям территориях Архангельской области, не подверженных прямому техногенному воздействию. Проведенные исследования позволяют заключить, что на процесс гумификации растительных тканей доминирующее влияние оказывают гидрологические условия торфонакопления, формирование же битумной части торфа определяется в основном климатическими факторами. Содержание элементов-примесей в исследованных образцах колеблется без видимой взаимосвязи с типовой принадлежностью торфа.

Исследована структурная организация полимерной матрицы торфа на разных уровнях размерной иерархии (макро-, микро- и наноуровнях) с использованием методов световой микроскопии, АС-микроскопии и динамического светорассеяния.

Установлена конформация отдельных макромолекул и агрегированных частиц супрамолекулярной природы в растворах торфяных гуматов. Методом динамического светорассеяния показано, что размеры отдельных макромолекул составляют 3–10 нм. При агрегировании размеры частиц увеличиваются до 50–100 нм, при этом фиксируется асимметрия агрегатов.

При исследовании динамики процессов взаимодействия с водой образцов нативного торфа различной типовой принадлежности установлено, что максимальную степень набухания торфа можно рассматривать как структурно-чувствительный параметр, зависящий от типа торфа.

**Ключевые слова:** компонентный состав торфа, элементный состав торфа, динамическое светорассеяние, атомно-силовая микроскопия, болотные экосистемы Европейского Севера России.

Для Европейского Севера России характерна большая заболоченность территорий, что, с одной стороны, оказывает существенное влияние на традиционную хозяйственную деятельность человека в этом регионе, с другой усложняет промышленное освоение. Кроме того, нельзя не учитывать значимые природные функции болот, которые обеспечивают гидрологический баланс смежных местностей, выступают в качестве естественных геохимических барьеров при распространении антропогенных и техногенных загрязнений, а также являются средой обитания для уникальных живых организмов.

В Архангельской области, занимающей в Северном экономическом районе второе, после Вологодской области, место по объему торфяных ресурсов, общая площадь болот насчитывает 5,8 млн га. Из них 1,2 млн га в той

или иной степени изучены в процессе разведки торфяного фонда Архангельской области. Среди изученных болот 73 % относятся к верховому типу, 8 % – к переходному и 19 % – к низинному [1].

С середины XX века на ряде болотных массивов Севера и Северо-Запада европейской территории России осуществляются наблюдения за изменениями гидрометеорологического режима [2]. В их числе Иласский болотный массив (ИБМ) площадью около 89 км<sup>2</sup>, расположенный в Приморском районе Архангельской области, где находится опытный участок единственной в России болотной гидрометеостанции «Брусовица» Северного управления гидрометеослужбы, а также болотный массив национального парка «Кенозерский» (КНП), расположенный на юго-западе Архангельской области, на границе Каргопольского и Пле-

сецкого районов, его западная граница проходит по границе с Республикой Карелия. Общая площадь парка составляет 1397 км<sup>2</sup> [3].

Микроландшафт Иласского болотного массива представляет собой систему олиготрофных (верховых) болотных комплексов. Для Кенозерского национального парка характерно многообразие болотных систем (верховые, низинные, переходные болота).

Иласский болотный массив и болота Кенозерского национального парка являются научно-исследовательскими полигонами российского значения, где проводятся междисциплинарные исследования болотоведов, гидрологов, биологов, экологов [2, 4]. Данные территории можно рассматривать как репрезентативные площадки для получения адекватной информации о формировании торфяных почв в бореальной зоне [5]. Вместе с тем следует отметить, что химический состав и структурная организация торфяных отложений, сформировавшихся на данных территориях, также как и в целом на Европейском Севере России, остались без должного рассмотрения.

Целью данного исследования является изучение компонентного и элементного состава, структурной организации полимерной матрицы торфа Европейского Севера России на разных уровнях размерной иерархии.

**Материалы и методы.** Образцы торфа отбирались в ходе экспедиционных работ 2009–2013 годов на фенологических площадках ИБМ и КНП в период летней межени методом бурения с глубины залегания 50–70 см.

Для исследования структурной организации на макроуровне временные водные препараты образцов торфа рассматривали и фотографировали при помощи лабораторного микроскопа «Axio Scope A1 Zeiss» в комплекте с цифровой камерой «Canon G10». Редактирование изображений производили при помощи лицензионной программы «Axio Vison Rel.4.8». Изучение размеров частиц биополимеров гумусовой природы в растворах на наноуровне выполнялись с применением сканирующего

зондового микроскопа «MultiMode 8 Bruker» и измерителя размеров частиц «Horiba-LB 550».

Известно, что физико-химические свойства торфа в большой степени зависят от состава отдельных его фаз и количественных соотношений между ними. Важными характеристиками торфа считаются компонентный и элементный составы. Компонентный состав определяет структуру ресурсного потенциала торфа. В нашем исследовании он определялся по схеме, представленной в статье [5].

Органические вещества, образующиеся в процессе разложения растительных остатков в условиях постоянного или длительного переувлажнения, преобладают в составе торфяных почв [6, 7]. Это, прежде всего, биополимеры гумусовой природы, находящие свое основное применение в форме гуматов, и гумин (твердый остаток после их извлечения). Кроме того, важной составляющей торфа следует считать представленные в значительно меньших количествах битумы или экстрактивные смолистые вещества (ЭВ), называемые в других отраслях липидами или жирорастворимыми соединениями [8, 9].

**Результаты и обсуждение.** Изучение макрокомпонентного состава, определяющего ресурсный потенциал торфа, показало, что содержание веществ гумусовой природы в торфе увеличивается в ряду: верховой < переходный < низинный (табл. 1). Такая тенденция связана со спецификой растительного покрова верховых болот верхового, переходного и низинного типа, особенностями биодеструкции органических тканей различных растений в различных гидрологических условиях, а также тем фактом, что с ростом минерализации биodeградация (гумификация) протекает более интенсивно. Совокупность действия перечисленных факторов проявляется в увеличении степени разложения торфа в ряду: верховой < переходный < низинный и пропорциональном росте содержания гуминовой части.

В отношении ЭВ наблюдается обратная тенденция, что, по-видимому, связано преиму-

**КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБРАЗЦОВ ТОРФА**

Показатель	Тип торфа и место отбора			
	Верховой, ИБМ	Верховой, КНП	Переходный, КНП	Низинный, КНП
Содержание органических веществ (ОВ), % от массы абсолютно сухого образца	$\frac{97,4 - 97,9}{97,7}$	$\frac{98,1 - 98,3}{98,2}$	$\frac{80,05 - 80,17}{80,1}$	$\frac{76,0 - 77,2}{76,6}$
Биополимеры гумусовой природы (в форме гуматов), %	$\frac{40,5 - 44,4}{42,5}$	$\frac{32,6 - 34,2}{33,4}$	$\frac{45,7 - 48,1}{46,9}$	$\frac{58,3 - 59,9}{59,1}$
Гумин, %	$\frac{51,4 - 54,6}{53,0}$	$\frac{60,6 - 62,2}{61,4}$	$\frac{51,2 - 53,6}{52,4}$	$\frac{39,7 - 41,3}{40,5}$
ЭВ, %	$\frac{2,72 - 2,88}{2,8}$	$\frac{5,14 - 5,26}{5,2}$	$\frac{0,67 - 0,73}{0,7}$	$\frac{0,36 - 0,44}{0,4}$
Негидролизуемый остаток торфа (лигнин Классона), %	$\frac{17,1 - 17,7}{17,4}$	$\frac{33,8 - 34,2}{34,0}$	$\frac{50,1 - 51,1}{50,6}$	$\frac{34,6 - 35,4}{35,0}$

*Примечание.* В числителе – интервал значений (минимальное и максимальное значения), в знаменателе – среднее значение.

щественно с более высоким содержанием подобных соединений в растениях, характерных для верховых болот, а также более интенсивным участием в процессах гумификации каротиноидов и производных хлорофилла, чем других компонентов битумов. Вместе с тем все исследованные образцы торфа отличаются пониженной битуминозностью в сравнении с торфом, сформированном в аналогичных гидрологических условиях, но в более теплом климате [5, 10].

На основе проведенных исследований можно заключить, что на процесс гумификации растительных тканей доминирующее влияние оказывают гидрологические условия торфонакопления, тогда как формирование битумной части торфа определяется преимущественно климатическими факторами.

Торф как компонент болотных экосистем – активный участник круговорота углерода и его значимый резервуар. Изучение элементов баланса углерода в болотных экосистемах в связи с возможными изменениями климата является особенно актуальной проблемой в условиях

Евро-Арктического региона, где заболоченность территории очень высока (до 80 %).

Лучше всего изучены элементы углеродного баланса в Западной Сибири, которая по активности процессов торфообразования названа феноменом заболачивания [11–15]. Торфяно-болотные экосистемы Севера России с этой стороны недостаточно освещены.

Содержание элементов в торфе (табл. 2) оценивали методом рентгено-флуоресцентной спектроскопии (метод фундаментальных параметров). Исследование элементного состава изученных образцов показало, что они по сравнению с торфом Сибири [16] бедны азотом и углеродом, причем содержание азота имеет самую низкую величину в торфе наиболее удаленного к Северу участка отбора (ИБЛ). Обращает на себя внимание тенденция резкого увеличения содержания биогенных (азота, калия, фосфора) и литогенных (кремний, железо, алюминий, сера) элементов в ряду от верхового торфа к низинному, что хорошо согласуется с повышением степени разложения, о чем свидетельствуют микрофотосним-

Таблица 2

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБРАЗЦОВ ТОРФА

Элемент	Содержание, %			
	Верховой, ИБМ	Верховой, КНП	Переходный, КНП	Низинный, КНП
Углерод	43,9	45,4	38,9	34,5
Водород	5,9	6,0	5,0	4,9
Кислород	46,4	45,2	34,0	35,1
Азот	0,3	0,5	1,9	1,4
Вольфрам	0,03	0,012	0,003	0,003
Стронций	0,003	0,002	0,018	0,016
Бром	0,004	0,002	0,02	0,006
Цинк	0,002	0,007	0,002	0,009
Медь	0,008	0,005	0,005	0,01
Никель	0,007	0,0052	0,0063	0,0085
Железо	0,557	0,211	2,21	4,36
Марганец	0,007	0,002	0,0172	0,119
Хром	0,020	0,018	0,043	0,038
Титан	0,020	0,022	0,040	0,253
Кальций	0,560	0,728	14,3	6,27
Калий	0,097	0,102	0,062	0,596
Хлор	0,087	0,120	0,061	0,057
Сера	0,463	0,304	0,934	0,705
Фосфор	0,061	0,083	0,285	0,394
Кремний	0,960	0,870	0,825	7,050
Алюминий	0,250	0,233	0,349	3,280
Магний	0,220	0,119	0,905	0,781
Натрий	0,100	0,051	0,037	0,113

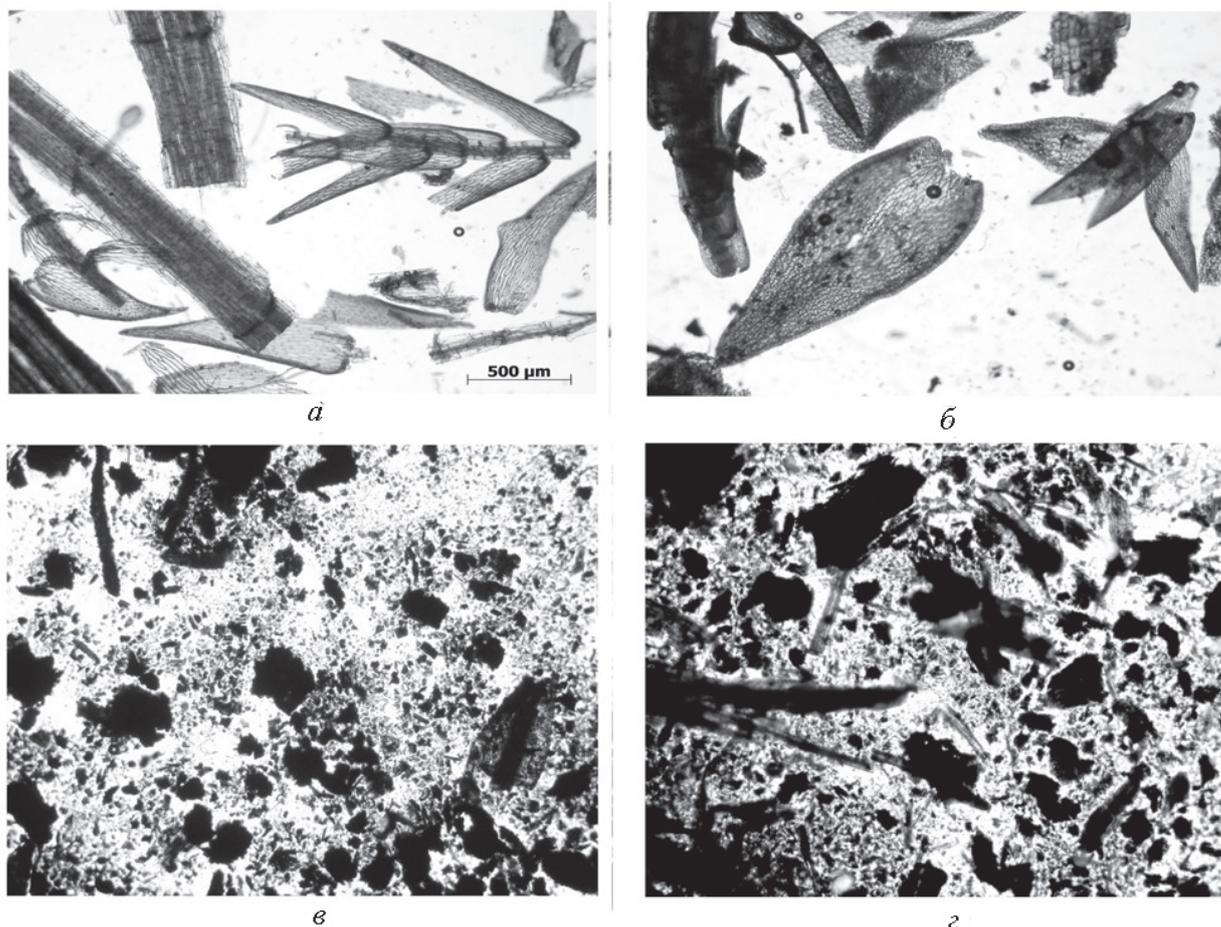
*Примечание.* Измерения проведены методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии (метод фундаментальных параметров). По результатам двух параллельных измерений относительная погрешность не превышала 5 %.

ки образцов (рис. 1), и объясняется особенностями протекания биогенных процессов в различных гидрологических условиях.

Обогащение образцов литогенными элементами, очевидно, связано с поступлением их из подстилающих пород, причем высокие значения содержания железа в исследованных образцах и четко выраженный характер зависимости от типовой принадлежности и степени

разложения торфа указывает на то, что значительная его часть присутствует в виде комплексов с гуминовыми веществами.

Следует отметить, что в исследованных образцах содержание элементов-примесей колеблется без видимой взаимосвязи с типовой принадлежностью торфа в пределах от десятитысячных до десятых долей процента. Это относится и к элементам-токсикантам: строн-



**Рис. 1.** Микрофотоснимки: *а* – верхового торфа, ИБМ; *б* – верхового торфа, КНП; *в* – переходного торфа, КНП; *г* – низинного торфа, КНП

цию, цинку, меди, никелю, марганцу. Это подтверждает известный тезис [1], что торф за счет способности сорбировать значительные количества различных соединений выполняет в экосистемах роль геохимического барьера.

На Европейском Севере России преобладают месторождения торфа верхового типа, который является универсальным как с точки зрения реализации его теплотворной способности, так и в качестве источника «зеленых» реагентов [17].

По современным представлениям [1] в структуре верхового торфа можно выделить

три фазы: твердую, жидкую и газообразную. Отдельные частицы твердой фазы торфа по своей величине весьма разнообразны – от нескольких сантиметров (остатки растений) до миллиметров и еще более мелких частиц. Таким образом, в нативном состоянии торф представляет собой полидисперсную, гетеропористую систему, в которой различают макро- и микроструктуры [18].

Макроструктура полимерной матрицы торфа зависит от динамики торфонакопления и представляет собой эластичный каркас, обра-

званный переплетениями волокнистых остатков растений-торфообразователей.

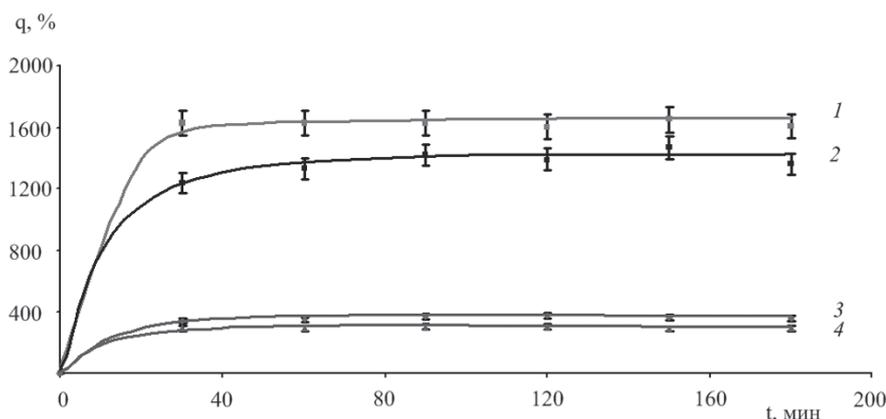
Изображения, полученные с помощью лабораторного микроскопа «Axio Scope A1 Zeiss», для полимерных матриц исследуемых образцов торфа представлены на *рис. 1*. На микрофотоснимках верхового торфа (*рис. 1а, 1б*) отчетливо видна рыхлая структура, где малоразложившиеся фрагменты сфагнома соприкасаются с незначительным количеством утратившей клеточное строение бесструктурной аморфной массы – гумуса. Фотоснимки переходного (*рис. 1в*) и низинного (*рис. 1г*) торфа указывают на значительно более высокую степень разложения, что объясняется особенностями растительного покрова, обогащенного минеральным питанием (*табл. 2*), обеспечивающим жизнедеятельность микроорганизмов, и спецификой гидрологического режима. Основная часть торфа представляет собой агрегаты гумуса с включениями заметно разрушенных растительных остатков. При этом заметно различие в ботаническом составе торфообразователей. В верховом торфе преобладают фрагменты сфагнома с примесью частиц травянистых растений, в пере-

ходном доля сфагновых мхов заметно ниже, а в низинном представлены исключительно сильно разрушенные остатки трав.

Ячейки макроструктуры полимерной матрицы торфа заполняются частицами агрегативной природы, образовавшимися на основе гуминовых веществ и углеводного комплекса торфа. Микроструктура характеризует внутреннее строение агрегатов (ассоциатов), которых обычно относят к коагуляционным, т. е. подвижным высокоэластичным структурам. Взаимодействие между элементами агрегатов осуществляется посредством молекул и прослоек воды, в основном за счет водородных связей [18].

Первой стадией при извлечении гуматов из полимерных матриц торфа с помощью растворителей является набухание, в то же время предельную степень набухания можно рассматривать как структурно чувствительный параметр. На *рис. 2* представлена динамика процессов набухания торфа различной типовой принадлежности в воде.

На основе экспериментальных данных определены максимальные степени и константы скорости процесса набухания полимерных



**Рис. 2.** Динамика набухания образцов торфа различной типовой принадлежности: 1 – верховой торф, ИБМ; 2 – верховой торф, КНП; 3 – низинный торф, КНП; 4 – переходный торф, КНП

Таблица 3

**ПРЕДЕЛЬНЫЕ СТЕПЕНИ И КОНСТАНТЫ  
НАБУХАНИЯ ОБРАЗЦОВ ТОРФА  
РАЗЛИЧНОЙ ТИПОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ**

Образец торфа	$q_{\infty}$ , %	$k \cdot 10^3$ , с <sup>-1</sup>
Верховой, ИБН	1650±83	2,3
Верховой, КНП	1447±72	1,0
Низинный, КНП	400±20	1,6
Переходный, КНП	325±16	1,2

матриц торфа (табл. 3). Из полученных результатов следует, что наименее разложившийся верховой торф может поглощать заметно больше воды, чем низинный и переходный. Максимальная степень набухания верхового торфа в 3,6 раза выше, чем у низинного и переходного, что обусловлено более низкой степенью разложения, а следовательно, сохранением более развитой капиллярно-пористой структуры.

Метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) позволил зафиксировать размеры наночастиц отдельных макромолекул ароматических биополимеров и их надмолекулярных образований. Представленное на рис. 3 АСМ-изображение

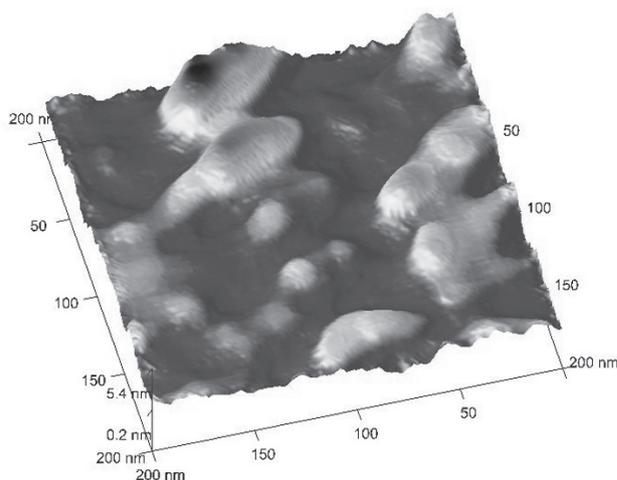


Рис. 3. АСМ-изображение наночастиц биополимеров гумусовой природы

наглядно демонстрирует глобулярную природу отдельных макромолекул, размеры которых не превышают 10 нм, что сопоставимо с размерами наночастиц других биополимеров лигноуглеводородной природы [19].

Более крупные частицы (50–100 нм) с элементами асимметрии имеют, по-видимому, ассоциативную природу.

Исследования методом динамического светорассеяния позволили установить, что в водных растворах гумусовых биополимеров, выделенных из исследуемых образцов торфа, супрамолекулярные частицы мицеллярной природы находятся в динамическом равновесии с отдельными макромолекулами, причем для обеих групп характерна полидисперсность (рис. 4).

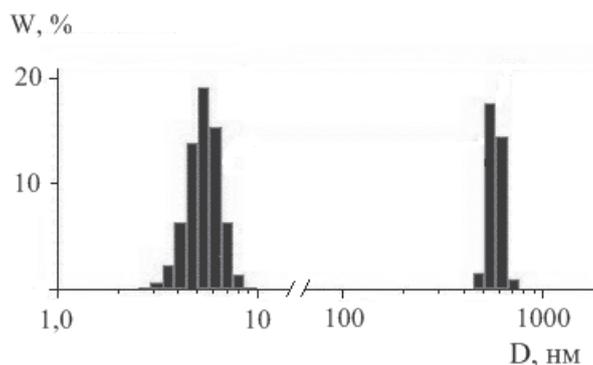


Рис. 4. Гистограмма распределения частиц по размерам в растворе биополимеров гумусовой природы

Таким образом, сравнительное изучение размеров частиц торфяных биополимеров гумусовой природы на наноуровне демонстрирует хорошую согласованность методов АСМ и динамического светорассеяния, что позволяет достоверно контролировать размеры природных наночастиц и их ассоциатов.

**Заключение.** Впервые исследован элементный и компонентный состав торфа различной типовой принадлежности, отобранного на территориях Европейского Севера России, не подверженных прямому техногенному воздействию. На основе приведенных исследова-

ний можно заключить, что на процесс гумификации растительных тканей доминирующее влияние оказывают гидрологические условия торфонакопления, тогда как формирование битумной части торфа определяется преимущественно климатическими факторами.

С использованием методов световой, атомно-силовой микроскопии и динамического светорассеяния изучена структура торфа и его компонентов на разных уровнях размерной иерархии (макро-, микро- и наноуровнях). Установлено, что конформация супрамолекулярных частиц биополимеров гумусовой природы, экс-

трагированных из торфа, характеризуется элементами асимметрии. Супрамолекулярные частицы в растворах находятся в динамическом равновесии с отдельными глобулярными макромолекулами, размеры которых составляют 3–10 нм, что сопоставимо с размерами наночастиц других биополимеров лигногуминовой природы. Раскрыта взаимосвязь между особенностями структуры, предысторией торфа и его максимальной степенью набухания, которая может быть использована как структурно-чувствительный параметр в исследованиях фундаментального и прикладного характера.

### Список литературы

1. Косов В.И., Беляков А.С., Белозеров О.В., Гогин Д.Ю. Торф (ресурсы, технологии, геоэкология). СПб., 2007. 452 с.
2. Романюк К.Д. Влияние изменений водного режима олиготрофных болот на их экосистемы // Болота и биосфера: материалы седьмой Всерос. с междунар. участием науч. шк., 13–15 сентября 2010 г. Томск, 2010. С. 43–46.
3. Наквасина Е.Н., Федотов Д.И. Видовое разнообразие травяно-кустарничкового яруса сосновых лесов Кенозерского национального парка // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2006. № 2. С. 72–76.
4. Овсепян А.Е., Масык А.Н. Распределение и содержание ртути в почвах Иласского болотного массива Архангельской области // Болота и биосфера: Всерос. с междунар. участием науч. шк., 13–15 сентября 2010 г. Томск, 2010. С. 55–58.
5. Parfenova L.N., Selyanina S.B., Trufanova M.V., Bogolitsyn K.G., Maltseva E.V., Sokolova T.V., Kashina E.M. The Peat Characteristics of the Ilas Marshes // International J. of Experimental Education. 2014. № 4. С. 32–37.
6. Лиштвак И.И., Логинов В.Ф. Твердые горючие ископаемые Республики Беларусь и перспективы их комплексного использования // Наука народному хозяйству: моногр. Мн., 2002. С. 642–679.
7. Кузнецов О.Л. Динамика растительности верховых болот // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2012. Т. 14, № 1(5). С. 1288–1291.
8. Зайцева Т.Л., Пармон С.В. Состав и свойства фракций водно-спиртового экстракта // Химия твердого топлива. 2009. № 5. С. 10–13.
9. Зайцева Т.Л. Водно-спиртовые экстракты торфа, их химический состав и перспективы использования // Химия твердого топлива. 2008. № 1. С. 3–6.
10. Парфенова Л.Н., Мальцева Е.В., Труфанова М.В., Сурсо М.В., Боголицын К.Г., Селянина С.Б. Влияние механоактивации на структуру и макрокомпонентный состав торфа Евро-Арктического и сибирского регионов России // Фундамент. исслед. 2014. № 5. С. 44–49.
11. Инишева Т.И. Элементы углеродного баланса олиготрофных болот // Экология. 2002. № 4. С. 261–266.
12. Калужный И.Л., Лавров С.А. Сезонная эмиссия двуокси углерода в засушливый год на олиготрофном болотном массиве Северо-Запада России // Метеорология и гидрология. 2005. № 10. С. 81–93.
13. Наумов А.В. Сезонная динамика и интенсивность выделения CO<sub>2</sub> в почвах Сибири // Почвоведение. 1994. № 12. С. 77–83.
14. Наумов А.В. Углекислый газ и метан в почвах и атмосфере болотных экосистем Западной Сибири // Сибир. экол. журн. 2002. № 3. С. 313–318.

15. Сергеева М.А. Биохимические процессы углеродного цикла в олиготрофных торфяных почвах южно-таежной подзоны Западной Сибири: дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2008. 130 с.
16. Цыбукова Т.Н., Инишева Л.И., Тихонова О.К., Зейле Л.А., Юсубова М.С. Характеристика элементного состава торфяного сырья олиготрофного болота // Химия растит. сырья. 2000. № 4. С. 29–34.
17. Соколов О.М., Ивко В.Р. Торфяные ресурсы Архангельской области и их использование. Архангельск, 2000. 37 с.
18. Лиштван И.И., Базин Е.Т., Гамаюнов И.И., Терентьев А.А. Физика и химия торфа. М., 1989. 304 с.
19. Афанасьев Н.И., Тельтевская С.Е., Макаревич Н.А., Парфенова Л.Н. Структура и физико-химические свойства лигносульфонатов. Екатеринбург, 2005. 162 с.

### References

1. Kosov V.I., Belyakov A.S., Belozerov O.V., Gogin D.Yu. *Torf (resursy, tehnologii, geojekologija)* [Peat (Resources, Technologies, Geo-ecology)]. Saint Petersburg, 2007. 452 p.
2. Romanyuk K.D. Vlijanie izmenenij vodnogo rezhima oligotrofnih bolot na ih jekosistemy [Effect of Changes in the Water Regime of Oligotrophic Bogs on Their Ecosystems]. *Bolota i biosfera: materialy sed'moj Vseros. s mezhdunar. uchastiem nauch. shk., 13–15 sentjabrja 2010 g.* [Bogs and Biosphere: Proc. Seventh All-Russia Conf. with Int. Participation of Sci. Schools, 13-15 September, 2010]. Tomsk, 2010, pp. 43–46.
3. Nakvasina E.N., Fedotov D.I. Vidovoe raznoobrazie travjano-kustarnichkogo jarusa osnovnyh lesov Kenozerskogo nacional'nogo parka [Species Diversity of Grasses and Shrubs Tier of Pine Forests of Kenozersky National Park]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) Universiteta. Ser.: Estestvennye i tochnye nauki*, 2006, no. 2, pp. 72–76.
4. Ovsepyan A.E., Masyk A.N. Raspredelenie i sodержanie rtuti v pochvah Ilasskogo bolotnogo massiva Arhangel'skoj oblasti [Distribution and Concentration of Mercury in Soils of Ilassky Bog of Arkhangelsk Region]. *Bolota i biosfera: materialy sed'moj Vseros. s mezhdunar. uchastiem nauch. shk., 13–15 sentjabrja 2010 g.* [Bogs and Biosphere: Proc. Seventh All-Russia Conf. with Int. Participation of Sci. Schools, 13-15 September, 2010]. Tomsk, 2010, pp. 55–58.
5. Parfenova L.N., Selyanina S.B., Trufanova M.V., Bogolitsyn K.G., Maltseva E.V., Sokolova T.V., Kashina E.M. The Peat Characteristics of the Ilas Marshes. *International Journal of Experimental Education*, 2014, no. 4, pp. 32–37.
6. Lishtvan I.I., Loginov V.F. Tverdye gorjuchie iskopaemye Respubliki Belarus' i perspektivy ih kompleksnogo ispol'zovanija [Solid Anthracides of the Republic of Belarus and the Prospects for Their Integrated Use]. *Nauka narodnomu hozjajstvu: monogr.* [Science to the National Economy: Monograph]. Minsk, 2002. p. 642–679.
7. Kuznetsov O.L. Dinamika rastitel'nosti verhovyh bolot [Dynamics of Raised Bogs Vegetation]. *Izvestia Samarskogo Nauchnogo tsentra RAN*, 2012, vol. 14, no. 1(5), pp. 1288–1291.
8. Zaitseva T.L., Parmon S.V. Sostav i svoystva frakcij vodno-spirtovogo jekstrakta [Composition and Properties of the Fractions of Hydroalcoholic Extract]. *Himia tverdogo topliva* [Chemistry of Solid Fuels], 2009, no. 5, pp. 10–13.
9. Zaitseva T.L. Vodno-spirtovyje jekstrakty torfa, ih himicheskij sostav i perspektivy ispol'zovanija [Aqueous Alcohol Extracts of Peat, Their Chemical Composition and Prospects]. *Himia tverdogo topliva* [Chemistry of Solid Fuels], 2008, no. 1, pp. 3–6.
10. Parfenova L.N., Maltseva E.V., Trufanova M.V., Surso M.V., Bogolitsyn K.G., Selyanina S.B. Vlijanie mehanoaktivacii na strukturu i makrokomponentnyj sostav torfa Evro-arkticheskogo i sibirskogo regionov Rossii [Effect of Mechanical Activation on the Structure and Macrocomponental Composition of Peat of the Euro-Arctic and Siberian Regions of Russia]. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental Research], 2014, no. 5, pp. 44–49.
11. Inisheva T.I. Jelementy uglerodnogo balansa oligotrofnih bolot [Elements of the Carbon Balance of Oligotrophic Bogs]. *Ekologiya*, 2002, no. 4, pp. 261–266.
12. Kalyuzhny I.L., Lavrov S.A. Sezonnaja jemissija dvoukisi ugleroda v zasushlivyj god na oligotrofnom bolotnom massive Severo-Zapada Rossii [Seasonal Emissions of Carbon Dioxide in the Dry Year in the Oligotrophic Peatland of the North-West of Russia]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 2005, no. 10, pp. 81–93.
13. Naumov A.V. Sezonnaja dinamika i intensivnost' vydelenija SO<sub>2</sub> v pochvah Sibiri [Seasonal Dynamics and Intensity of CO<sub>2</sub> Emissions in the Soils of Siberia]. *Pochvovedenie*, 1994, no. 12, pp. 77–83.
14. Naumov A.V. Uglekislyj gaz i metan v pochvah i atmosfere bolotnyh jekosistem Zapadnoj Sibiri [Carbon Dioxide and Methane in the Soils and Atmosphere of Wetland Ecosystems in the Western Siberia]. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, 2002, no. 3, pp. 313–318.

15. Sergeeva M.A. *Biohimicheskie processy uglerodnogo cikla v oligotrofnih torfjanyh pochvah juzhno-taezhnoj podzony Zapadnoj Sibiri*: dis. ... kand. biol. nauk [Biochemical Processes of the Carbon Cycle in Oligotrophic Peat Soils of the Southern Taiga Subzone of the Western Siberia: Cand. Biol. Sci. Diss.]. Tomsk, 2008. 130 p.

16. Tsybukova T.N., Inisheva L.I., Tikhonova O.K., Zeile L.A., Yusubova M.S. Harakteristika jelementnogo sostava torfjanogo syr'ja oligotrofnogo bolota [Characteristics of the Elemental Composition of the Peat Raw of an Oligotrophic Bog]. *Himiya rastitelnogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], 2000, no. 4, pp. 29–34.

17. Sokolov O.M., Ivko V.R. *Torfjanye resursy Arhangel'skoj oblasti i ih ispol'zovanie* [Peat Resources of the Arkhangelsk Region and Their Use]. Arkhangelsk, 2000. 37 p.

18. Lishtvan I.I., Bazin E.T., Gamayunov I.I., Terentyev A.A. *Fizika i himija torfa* [Physics and Chemistry of Peat]. Moscow, 1989. 304 p.

19. Afanasyev N.I., Teltevsckaya S.E., Makarevich N.A., Parfenova L.N. *Struktura i fiziko-himicheskie svojstva lignosul'fonatov* [The Structure and Physicochemical Properties of Lignosulfonates]. Yekaterinburg, 2005. 162 p.

***Parfenova Larisa Nikolaevna***

Institute of Ecological Problems of the North,  
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia)

***Bogolitsyn Konstantin Grigoryevich***

Institute of Ecological Problems of the North,  
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia)

***Selyanina Svetlana Borisovna***

Institute of Ecological Problems of the North,  
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia)

***Trufanova Marina Vitalyevna***

Institute of Ecological Problems of the North,  
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia)

***Orlov Aleksandr Sergeevich***

Institute of Ecological Problems of the North,  
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia)

***Maltseva Elizaveta Vladimirovna***

Institute of Petroleum Chemistry,  
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia)

***Sokolova Tamara Vladimirovna***

Institute for Nature Management,  
National Academy of Sciences (Minsk, Belarus)

## COMPONENT COMPOSITION AND STRUCTURAL ORGANIZATION OF PEAT OF BOGS OF THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

The study of wetland ecosystems of the European North of Russia is relevant due to the high bogginess of this territory, as well as the important functions of wetlands in nature and human activities. Arkhangelsk region takes the second place in the Northern economic zone by quantity of peat deposits and the volume of peat resources, being behind to the Vologda region only. The peat samples have been selected in the course of the field works carrying out on the Ilas bog area, located in the Primorsky district of the Arkhangelsk region, where the only experimental plot of bog hydrometeostation in Russia «Brusovitsa» of the Northern Hydrometeoservice department is situated; as well as on the bog of the national Park Kenozersky (KNP), located in the South-West of the Arkhangelsk region.

Characteristic of element and component composition of peat of various types, selected at the territories of the Arkhangelsk region with different climatic conditions and unaffected by direct human impact are presented. Our studies allow us to conclude that the hydrological conditions of peat

accumulation influence on the process of humification of plant tissues and climatic factors influence on the formation of peat bitumen. The content of trace elements in the samples does not depend on the type of peat.

The structural organization of the polymer matrix of peat at different levels of dimensional hierarchy (macro-, micro- and nanoscale) was studied by the methods of light microscopy, AF-microscopy and dynamic light scattering.

The conformation of separate macromolecules and aggregated particles of supramolecular nature in the solutions of peat humates was established. By the method of dynamic light scattering it was shown that size of the macromolecules is of 3-10 nm. The size of aggregated agents grows up to 50-100 nm and asymmetry of aggregates is observed.

In the study of dynamic of interaction processes between the samples of native peat of different types and water we established that the maximum degree of peat swelling can be used as a structure-sensitive parameter depending on a peat type.

**Keywords:** *component composition of peat, elemental composition of peat, dynamic light scattering, atomic force microscopy (AFM), wetlands of the European North of Russia.*

*Контактная информация:*

Парфенова Лариса Николаевна

*адрес:* 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23;

*e-mail:* solombalka@yandex.ru

Боголицын Константин Григорьевич

*адрес:* 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23;

*e-mail:* biopolimer@ierp.ru

Селянина Светлана Борисовна

*адрес:* 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23;

*e-mail:* smssb@yandex.ru

Труфанова Марина Витальевна

*адрес:* 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23;

*e-mail:* mtrufanova@yandex.ru

Орлов Александр Сергеевич

*адрес:* 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23;

*e-mail:* alseror@yandex.ru

Мальцева Елизавета Владимировна

*адрес:* 634021, г. Томск, просп. Академический, д. 4;

*e-mail:* maltseva2@gmail.com

Соколова Тамара Владимировна

*адрес:* Беларусь, 220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, д. 10;

*e-mail:* navosha@tut.by

Рецензент – *Айзенштадт А.М.*, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой композиционных материалов и строительной экологии института строительства и архитектуры САФУ имени М.В. Ломоносова