



Спектральные и флуоресцентные свойства гуминовых кислот различных образцов торфа

© 2025 И. В. Соколова , А. А. Федорова

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», проспект Ленина, 36, г. Томск, 634050, Россия. E-mail: irsokol783@gmail.com

Цель исследования. Выявить различия в спектрах поглощения и флуоресценции водных растворов гуминовых кислот торфа разных условий формирования.

Место и время проведения. Исследования спектров поглощения и флуоресценции проводили на водных растворах образцов, выделенных из проб обезбитуминированного верхового торфа с различной глубиной залегания и влажностью олиготрофного болотного комплекса в Мезенском районе Архангельской области.

Методы. Спектры поглощения и флуоресценции регистрировали на спектрофлуориметре СМ2203 (фирма «Solar», Беларусь) в стандартных кварцевых кюветах для флуорометрии. Флуоресценция регистрировалась при длинах волн возбуждения 260, 310 и 360 нм.

Основные результаты. В процессе гумификации и с продолжительностью высушивания торфа интенсивность флуоресценции исследованных образцов возрастала. Длина волны максимума флуоресценции и его интенсивность зависят от длины волны возбуждающего света. Зафиксирован «синий сдвиг» максимума флуоресценции при увеличении длины волны возбуждения от 260 до 310 нм для объектов исследования, полученных из верхового торфа.

Заключение. Изучение спектров флуоресценции изученных образцов установлены особенности их спектров поглощения и излучательных характеристик. Обнаруженный «синий сдвиг» максимума флуоресценции при увеличении длины волны возбуждения от 260 до 310 нм для образцов, выделенных из верхового торфа Мезенского района Архангельской области, согласуется с подобными сдвигами, полученными для растворенного органического вещества в поверхностном слое вод Карского моря и заливах Новой Земли, водных вытяжек засоленных почв Северного Дагестана, промышленных гуминовых препаратов из торфа и сапропеля. Флуоресцентные свойства гуминовых кислот чувствительны к происхождению органического сырья, из которого они выделены, и могут быть полезны как для выяснения влияния окружающей среды, так и для оценки систем под антропогенной нагрузкой.

Ключевые слова: спектры флуоресценции; гуминовые кислоты; торф; бурый уголь; максимум спектра флуоресценции.

Цитирование: Соколова И.В., Федорова А.А. Спектральные и флуоресцентные свойства гуминовых кислот различных образцов торфа // Почвы и окружающая среда. 2025. Том 8. № 4. e331. DOI: [10.31251/pos.v8i4.331](https://doi.org/10.31251/pos.v8i4.331)

ВВЕДЕНИЕ

Болота – важная часть биосферы, окружающей человека природной среды. Торф является наиболее специфичным и широко используемым ресурсом болот. Важнейшим является наличие в торфяных залежах органических веществ – **гуминовых кислот (ГК)**, фульвокислот, лигнина и других, содержащих функциональные группы (карбоксильные, карбонильные, фенольные гидроксилы, аминогруппы и т.п.). Особенностью таких структур является случайный характер образования их молекул из продуктов разложения растительных остатков. Образующиеся молекулы индивидуальны по своей природе, имеют разный размер и молекулярную массу. Невозможно, например, выделить набор гуминовых кислот, молекулы которых были бы относительно однородны по составу и имели молекулярные массы в сравнительно узком интервале значений (Чайковская, Нечаев, 2017). В растворах дело осложняется образованием агрегатов за счет межмолекулярных взаимодействий. Образование гуминовых веществ в природных источниках – торфе, почве или буром угле – идет по принципу естественного отбора, в результате чего формируются термодинамически наиболее стабильные системы, остаются самые устойчивые к биоразложению структуры. В мировой научной литературе продолжают споры о том, что же представляют из себя гуминовые вещества и гуминовые кислоты (Perminova, 2019). Предполагается, что сложное строение природных систем гуминовых веществ определяется существованием супрамолекулярных ансамблей (Лен, 1998). Особое внимание гуминовым веществам почв как супрамолекулярным системам уделяет А. Пикколо (Piccolo, 2001).

Все более важным становится применение этих экологически чистых и безопасных природных веществ в сельском хозяйстве и промышленности в связи со снижением плодородия почв, нарастанием проблемы загрязнения окружающей среды и климатическими катаклизмами. Для изучения гуминовых кислот широко используются спектральные методы, а среди них все активнее применяется флуоресцентная спектроскопия. Сочетание высокой чувствительности и подходящего временного диапазона позволяет с помощью флуоресцентной спектроскопии получать необходимые сведения о свойствах таких систем. Наиболее полно возможности флуоресцентной спектроскопии для выявления особенностей гуминовых кислот почв разных условий формирования описаны в работе Н.Л. Бажиной и М.И. Дергачевой (2021). Проведенный авторами анализ флуоресцентных спектров испускания при одной длине волны возбуждения (330 нм) широкого набора гуминовых кислот почв Сибири показал, что слабогумифицированные ГК почв, сформированных во влажных и холодных условиях имеют положение максимума флуоресценции в синей области спектра, а у ГК степных почв, имеющих в структуре значительную ароматическую часть, такие максимумы сдвинуты в красную область спектра.

Торф является компонентом многих почв, но сам по себе не почва. Однако существуют почвы, которые образовались в процессе торфообразования и имеют высокий процент торфа; характерным для этих почв является формирование в условиях избыточного увлажнения. В связи с увеличением применения в различных отраслях экологически чистых и безопасных природных веществ, растёт производство гуминовых препаратов, в том числе и из торфа. Согласно литературным данным (Гостева и др., 2011), спектрально-люминесцентные характеристики водных растворов гуминовых препаратов из растительного сырья ближе по свойствам к гуминовым веществам природной воды или почвы, чем гуминовых препаратов из углефицированных материалов. В настоящее время работ по исследованию спектрально-люминесцентных свойств ГК торфов ещё явно недостаточно (Соколова и др., 2021; Соколова, Федорова, 2024).

В связи с этим, цель данного сообщения состоит в выявлении различий в спектрах поглощения и флуоресценции водных растворов гуминовых кислот торфа разных условий формирования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе мы продолжаем исследовать спектрально-люминесцентные свойства образцов гуминовых кислот торфа, получение которых было подробно описано в нашей совместной работе с архангельскими учёными (Селянина и др., 2024). В предыдущей работе были рассмотрены образцы верхового торфа, отобранные в районе п. Каменка Архангельской области (65°53'20,5" с.ш.; 44°05'30,1" в.д.) на участке, подверженном влиянию осушения. В этой статье мы исследуем только спектрально-люминесцентные свойства для ГК, выделенных из проб обезбитуминированного верхового торфа с различной влажностью олиготрофного болотного комплекса в Мезенском районе Архангельской области (65°52,222' с.ш.; 44°14,534' в.д.), который не подвергали осушению. Образцы отбирали с разной глубины, с последующим различным временем высушивания, так как влияние мелиорационных мероприятий на свойства торфа и ГК изучено ещё недостаточно. Проба 3-1 отобрана с наименьшей глубины (0–15 см) и соответствовала степени разложения торфа 15%, проба 3-3 – с глубины 25–45 см и со степенью разложения 25–30%, а проба 3-9 – с глубины 143–150 см со степенью разложения торфа 35–40%. Проводили лабораторное моделирование процесса дегидратации торфа на характеристики ГК. Ступенчатое обезвоживание образцов торфа с естественной влажностью осуществляли путем механического отжима влаги, конвективной сушки при комнатной температуре с последующим кондиционированием в лизиметрах. Из полученных образцов с различной степенью гидратации выделяли препараты по следующей схеме. Из образцов торфа этоксиэтаном экстрагировали битумы, обезбитуминированный торф заливали 0,1 н. NaOH (в соотношении 1 : 50) и настаивали в течение 24 ч без нагревания при постоянном перемешивании. Полученные растворы в натриевой форме (гуматы) отделяли от твердого остатка фильтрованием и очищали от избытка NaOH методом диализа на целлофановых мембранах до pH 7,5–8,0. Более подробно процесс подготовки образцов изложен в работе (Селянина и др., 2024). Спектры поглощения и флуоресценции регистрировали на спектрофлуориметре CM2203 (фирма «Solar», Беларусь) в стандартных кварцевых кюветах для флуорометрии. Для спектральных исследований использовались водные растворы ГК с различным остаточным содержанием NaOH для каждого образца. Далее приводили к одинаковой концентрации щелочи во всех образцах, делая одномолярный раствор для стандартизации условий. Концентрацию рабочих растворов доводили до 1,25 мг/л разбавлением дистиллированной водой. В таких условиях оптическая плотность изучаемых образцов была невелика и, кроме того, наблюдение флуоресценции проводили под прямым углом к

середине центрально освещённой кюветы. Флуоресценцию регистрировали при длинах волн возбуждения 260, 310 и 360 нм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Электронные спектры поглощения исследуемых образцов ГК, наблюдаемые в диапазоне от 240–260 до 650 нм, не имеют четко выраженных полос или максимумов поглощения. В координатах $D - \lambda$ (оптическая плотность – длина волны) спектры выглядят как пологие кривые с постепенным уменьшением оптической плотности по мере увеличения длины волны (рис. 1). Наблюдаемое на рисунке 1 отчетливое плечо в области 250–300 нм может быть связано с поглощением фенольных соединений торфов. Похожее плечо с разными значениями оптической плотности наблюдалось в работе О.М. Горшковой с соавторами (2009) в спектрах поглощения проб соленой воды из озёр Беломорского региона, из проб воды оз. Байкал и р. Ангары.

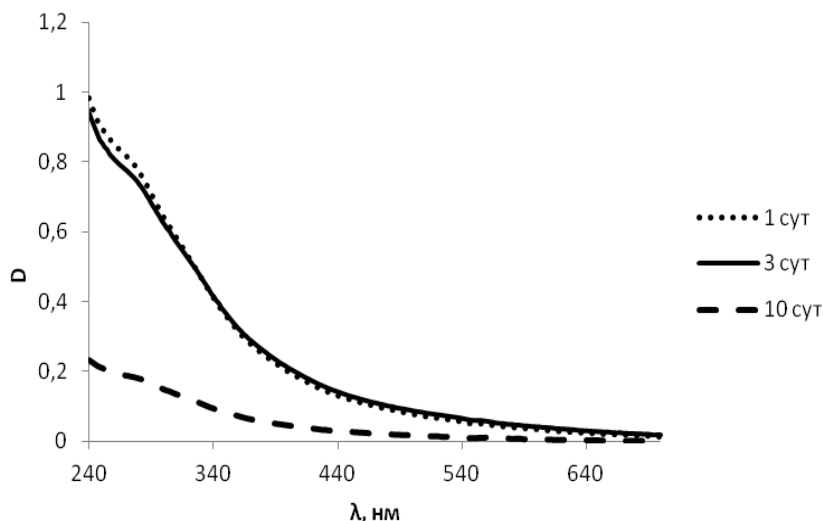


Рисунок 1. Спектры поглощения образца 3-1 с разной продолжительностью высушивания.

Снижение оптической плотности с длительностью высушивания образцов торфа наблюдается для всех выбранных горизонтов (табл. 1). Вероятно, данный факт связан с применяемой методикой лабораторного моделирования процесса дегидратации торфа.

Таблица 1

Характеристика спектров поглощения образцов торфа

Проба	Время высушивания торфа, сут.	Глубина, см залегания (см)	Оптическая плотность (D)
1-3-1	1	0–15	0,670
1-3-3	3	0–15	0,699
1-3-9	10	0–15	0,128
3-3-1	1	25–45	0,753
3-3-3	3	25–45	0,685
3-3-9	10	25–45	0,166
10-3-1	1	143–150	0,872
10-3-3	3	143–150	0,742
10-3-9	10	143–150	0,269

В изучаемых нами образцах ГК достаточно сильно развита цепь сопряженных двойных углерод-углеродных связей. Разрушение этой цепи при фотохимических процессах постепенно приводит к потере окраски. Часть цепи сопряжения представлена циклическими системами, часть – алифатическими цепочками или мостиками, связывающими циклические структуры. Алифатические

боковые цепи, не несущие двойных связей, такие, как цепочки полипептидов, насыщенных углеводов, практически не окрашены. На характер спектра поглощения и интенсивность окраски, кроме цепи сопряжения, влияют электронодонорные (аминогруппа, оксигруппа) и электрофильные (карбонильная группа) заместители, присоединенные к сопряженной системе. Они изменяют подвижность π -электронов системы, что увеличивает вероятность электронных переходов. Гуминовые кислоты различного происхождения неодинаковы по степени окисленности и, поэтому, изменение интенсивности окраски можно рассматривать как суммарное влияние длины сопряжения и кислородсодержащих заместителей. Интенсивно окрашены, например, ГК черноземов (Орлов, 1992), которым свойственна как развитая цепь сопряжённых двойных связей, так и значительная степень окисленности. Ранее было показано, что на спектры поглощения и флуоресценции гуминовых кислот слабо влияет УФ-облучение, как в стационарном варианте (Соколова, Чайковская, 2006; Соколова, Федорова, 2024), так и при использовании проточного фотореактора (Чайковская, Соколова, 2014), то есть изучаемые системы достаточно фотостабильны.

Что касается спектров флуоресценции исследуемых объектов, то здесь, в отличие от спектров поглощения, наблюдается вид спектров с выраженным максимумом (рис. 2). Спектры флуоресценции обнаруживают свечение в области от 400 до 600 нм. Установлено, что спектры флуоресценции ГК различаются более существенно, чем их спектры поглощения.

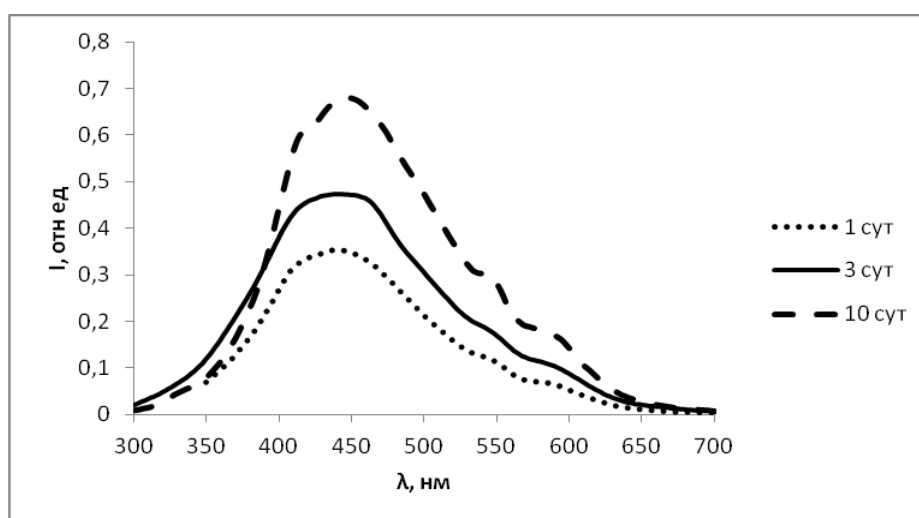


Рисунок 2. Спектры флуоресценции образца 3-1 с разной продолжительностью высушивания, I – интенсивность излучения, $\lambda_{\text{возб}} = 260$ нм.

С ростом глубины залегания торфа интенсивность флуоресценции образцов увеличивается (табл. 2), область флуоресценции существенно не изменяется.

Таблица 2

Характеристики флуоресценции образцов, $\lambda_{\text{возб}} = 260$ нм

Время высушивания торфа, сут.	Проба	Глубина, см	Длина волны максимума флуоресценции, нм	I , интенсивность, отн. ед.
1	1-3-1	0–15	458	0,381
	1-3-3	25–45	456	0,391
	1-3-9	143–150	458	0,485
3	3-3-1	0–15	456	0,456
	3-3-3	25–45	454	0,464
	3-3-9	143–150	454	0,554
10	10-3-1	0–15	460	0,702
	10-3-3	25–45	482	1,840
	10-3-9	143–150	504	1,859

ОБСУЖДЕНИЕ

Спектры флуоресценции изученных образцов, полученных из торфа верхового болота, представляют собой широкую полосу; при этом наблюдается зависимость интенсивности спектров от глубины залегания. Происходит увеличение интенсивности флуоресценции с ростом глубины залегания торфа, что может быть связано с ростом гумификации, причем это наблюдается для всех трех типов проб. Установлен факт увеличения интенсивности флуоресценции со временем высушивания торфа (причем тоже для всех трех типов проб). Участок, с которого были взяты пробы, не подвергался осушению и имеет уровень грунтовых вод – 30 см. Важной особенностью гуминовых веществ торфа является зависимость их состава и свойств от химического состава растений-торфообразователей. Флуоресцентный метод, таким образом, отреагировал на высушивание наших объектов исследования. Кроме возрастания интенсивности флуоресценции с ростом глубины залегания торфа (см. табл. 2, первая цифра в обозначении пробы обозначает время высушивания в сутках) обнаружена зависимость спектров флуоресценции исследованных архангельских образцов от длины волны возбуждения флуоресценции. При ее увеличении от 260 до 310 нм возрастает интенсивность спектра и происходит сдвиг максимума флуоресценции (табл. 3).

Таблица 3

Зависимость спектров флуоресценции водных растворов гуминовых кислот торфа от длины волны возбуждения

$\lambda_{\text{возб. флуор. нм}}$	$\lambda_{\text{макс. флуор. нм}}$	Интенсивность флуоресценции
260	453	0,48
310	435	0,74
360	465	0,84

Наблюдаемая сложная и необычная (нарушающая правило Каша) зависимость спектра испускания от длины волны возбуждающего света (Лакович, 1986) объясняется тем, что источники флуоресценции представляют из себя не индивидуальные молекулы, а сложные гетерогенные смеси флуорофоров, которые, несмотря на химические и структурные различия, проявляют общность оптических свойств, механизмы формирования которых остаются ещё недостаточно изученными. Сложная зависимость максимума флуоресценции от длины волны возбуждения наблюдается и для растворенного органического вещества в поверхностном слое вод Карского моря и заливах Новой Земли (Дроздова и др., 2017). Авторы наблюдали, что максимум флуоресценции при изменении длины возбуждения от 270 до 310 нм сдвигается, как и в нашем случае, в сторону более коротких длин волн. На основании полученных результатов по флуоресценции они предлагают метод оценки распространения пресных вод, выносимых стоками рек Обь и Енисей в Карское море. «Синий сдвиг» максимума флуоресценции наблюдается для природного растворенного вещества различного происхождения из-за наличия гуминовых соединений (Горшкова и др., 2009). Такое спектральное поведение отличает изучаемые объекты от других органических люминофоров. В большинстве случаев спектр испускания не зависит от длины волны возбуждения. Однако такое исключение из правил повышает интерес к оптическим свойствам гуминовых соединений как уникальному объекту спектральных исследований. Дальнейшее увеличение длины волны возбуждения приводит к смещению максимума флуоресценции уже в длинноволновую область. Дж. Лакович (1986) предполагает, что возбуждение на длинноволновом краю спектра происходит для тех флуорофоров, которые избирательно взаимодействуют с растворителем, в результате чего наблюдается уже батохромный сдвиг. Гуминовые соединения являются гетерогенным веществом с различными группами флуорофоров, что и приводит к зависимости испускания от длины волны возбуждения. При смене длины волны возбуждения с 270 на 310 нм наблюдался гипсохромный сдвиг максимума спектра флуоресценции и для водных вытяжек засоленных почв Северного Дагестана (Маммаев и др., 2020). Авторы подчеркивают высокую чувствительность флуоресцентных исследований почв и считают, что рассматривая параметры флуоресценции почвы можно оценивать и прогнозировать изменения в почвенно-растительных системах в условиях эволюции почвенного покрова под влиянием климатических изменений. Зафиксирован «синий сдвиг» флуоресценции при увеличении длины волны возбуждения от 270 до 310 нм и для промышленных гуминовых препаратов из торфа и сапропеля (Шубина и др., 2010). Для всех гуминовых препаратов из угля (кроме одного препарата из леонардита) положение максимума флуоресценции не изменяется или увеличивается при изменении

длины волны возбуждения в данном диапазоне. Авторы работы (Зыкова и др., 2023) также наблюдали зависимость максимумов флуоресценции от длины волны возбуждения флуоресценции для гуминовых веществ, выделенных из бурого угля Канско-Ачинского угольного бассейна, месторождение Переясловское. Различное положение максимумов в спектре свидетельствует о гетерогенности флуорофорных заместителей в структуре гуминовых веществ угля, но «синего сдвига» в случае угольного происхождения исследованных объектов не наблюдалось. Можно предположить, что такое отличие в проявлении сдвигов спектров флуоресценции обусловлено разным соотношением ароматических структур, а также различием в функциональных группах различных образцов гуминовых кислот. Бурые угли состоят из продуктов разложения целлюлозы, лигнина, растительного белка. В них значительное содержание кислорода, что ограничивает их использование в качестве топлива, однако в результате их переработки получают полезные и важные гуминовые препараты (Гостева и др., 2011). Уголь находится в недрах Земли миллионы лет, торф – десятки тысяч лет.

ВЫВОДЫ

1. С ростом глубины залегания, процесса гумификации и продолжительности высушивания торфа интенсивность флуоресценции ГК возрастает. Чем дольше продолжительность высушивания образцов, тем меньше оптическая плотность спектров поглощения.

2. Длина волны максимума флуоресценции изученных образцов гуминовых кислот и его интенсивность зависят от длины волны возбуждающего света. Максимум флуоресценции может испытывать как гипсохромный, так и батохромный сдвиг в зависимости от характеристик возбуждения, а его интенсивность увеличивается с ростом длины волны возбуждающего света.

3. Зафиксирован «синий сдвиг» максимума флуоресценции при увеличении длины волны возбуждения от 260 до 310 нм для объектов исследования, полученных из верхового торфа.

4. Высокая чувствительность флуоресцентной спектроскопии позволяет сделать выводы как о происхождении органического сырья (почва, торф, сапропель, растворенное органическое вещество или бурый уголь), так и об изменении свойств гуминовых веществ и их кислот при изменении условий окружающей среды (влагосодержание, трансформация при осушении).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, с помощью изучения спектров флуоресценции исследованных объектов установлены особенности их излучательных характеристик. Различия в проявлении влияния высушивания в спектрах поглощения и флуоресценции изученных гуминовых кислот связаны, на наш взгляд, с тем, что спектры флуоресценции отражают структуру и свойства возбужденных электронных состояний исследуемых объектов, а спектры поглощения – основного состояния. Вероятно, роль окружения, прежде всего, молекул воды и соответствующих водородных связей, отличается в этих случаях. Обнаруженный нами «синий сдвиг» максимума флуоресценции при увеличении длины волны возбуждения от 260 до 310 нм для образцов, выделенных из верхового торфа Мезенского района Архангельской области, согласуется с такими же сдвигами, полученными для растворенного органического вещества в поверхностном слое вод Карского моря и заливах Новой Земли, водных вытяжек засоленных почв Северного Дагестана, промышленных гуминовых препаратов из торфа и сапропеля. Флуоресцентные свойства гуминовых кислот чувствительны к происхождению органического сырья, из которого они выделены, и могут быть полезны как для выяснения влияния окружающей среды, так и для оценки систем под антропогенной нагрузкой. Знание свойств гуминовых веществ позволит использовать их для интенсификации естественных процессов восстановления компонентов окружающей среды.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны С.Б. Селяниной за предоставленные образцы для исследования спектров поглощения и флуоресценции.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2025-0007).

ЛИТЕРАТУРА

Бажина Н.Л., Дергачева М.И. Флуоресцентные свойства гуминовых кислот почв разных условий формирования // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 4. e167. <https://doi.org/10.31251/pos.v4i4.167>

- Горшкова О.М., Пацаева С.В., Федосеева Е.В., Шубина Д.М., Южаков В.И. Флуоресценция растворенного органического вещества природной воды // Вода: химия и экология. 2009. № 11(17). С. 31–37.
- Гостева О.Ю., Изосимов А.А., Пацаева С.В., Южаков В.И., Якименко О.С. Флуоресценция водных растворов промышленных гуминовых препаратов // Журнал прикладной спектроскопии. 2011. Том 78. № 6. С. 943–950.
- Дроздова А.Н., Пацаева С.В., Хунджуа Д.А. Флуоресценция растворенного органического вещества как маркер распространения пресных вод в Карском море и заливах архипелага Новая Земля // Океанология. 2017. Том 57. № 1. С. 49–56. <https://doi.org/10.7868/S0030157417010038>
- Зыкова М.В., Братишко К.А., Логвинова Л.А., Иванов В.В., Буйко Е.Е., Данилец М.Г., Трофимова Е.С., Лигачева А.А., Зима А.П., Рабцевич Е.С., Уфандеев А.А., Михалёв Д.А., Першина А.В., Константинов А.И., Перминова И.В., Белоусов М.В. Химико-фармакологическое исследование субстанции гуминовых веществ угля для целей применения в пищевой и фармацевтической промышленности // Химия в интересах устойчивого развития. 2023. Том 31. № 4. С. 379–389. <https://doi.org/10.15372/KhUR2023480>
- Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии. Москва: Мир, 1986. 496 с.
- Лен Ж.-М. Супрамолекулярная химия. Концепции и перспективы. Новосибирск: Наука, 1998. 334 с.
- Маммаев А.Т., Магомедова М.Х.-М., Алиева М.Ю., Пиняскина Е.В., Биарсланов А.Б. Флуоресцентные исследования гумусированности засоленных почв Северного Дагестана // Вестник Дагестанского научного центра РАН. 2020. № 76. С. 12–17. <https://doi.org/10.31029/vestdnc76/2>
- Орлов Д.С. Химия почв. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство МГУ, 1992. 399 с.
- Селянина С.Б., Зубов И.Н., Орлов А.С., Пономарева Т.И., Скрыбина А.О., Шпанов Д.А., Соколова И.В., Чайковская О.Н., Федорова А.А. Изменение свойств гуминовых веществ верхового торфа в процессе дегидратации // Успехи современного естествознания. 2024. № 1. С. 41–46. <https://doi.org/10.17513/use.38205>
- Соколова И.В., Чайковская О.Н. Флуоресцентные и фотохимические свойства гуминовых кислот // Оптика атмосферы и океана. 2006. Том 19. № 2–3. С. 244–247.
- Соколова И.В., Федорова А.А. Флуоресценция гуминовых кислот, отличающихся генезисом органического сырья // Природа гуминовых веществ и их применение в различных отраслях народного хозяйства: Сборник трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященная памяти д.б.н., профессора Игоря Дисановича Комиссарова в честь 95-летия со дня рождения (Тюмень, 27 ноября 2024 г.). Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2024. С. 26–29.
- Соколова И.В., Солоха А.А., Скобцова К.А., Селянина С.Б. Флуоресценция водных растворов гуминовых кислот торфа и гуминовых препаратов // Торфяные болота Сибири: функционирование, ресурсы, восстановление: Материалы Четвертой международной научной конференции (Томск, 01–08 октября 2021 г.) / Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа-филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН; Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН; Nature and Biodiversity Conservation Union. Томск: Издательство Ипполитова, 2021. С. 116–117.
- Чайковская О.Н., Соколова И.В. Фотореакторы для решения задач, связанных с загрязнением окружающей среды // Известия вузов. Физика. 2014. Том 57. № 12. С. 97–102.
- Чайковская О.Н., Нечаев Л.В. Взаимодействие полициклических ароматических углеводородов с органическим веществом почв и водных осадков. Томск: Томский государственный университет, 2017. 124 с. URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/380692/reading> (дата обращения: 10.08.2025).
- Шубина Д.М., Якименко О.С., Пацаева С.В., Федосеева Е.В., Южаков В.И. Спектральные свойства водных растворов промышленных гуминовых препаратов // Вода: химия и экология. 2010. № 3(21). С. 21–25.
- Perminova I.V. From green chemistry and nature-like technologies towards ecoadaptive chemistry and technology // Pure and Applied Chemistry. 2019. Vol. 91. No 5. P. 851–864. <https://doi.org/10.1515/pac-2018-1110>
- Piccolo A. The supramolecular structure of humic substances // Soil Science. 2001. Vol. 166. No. 11. P. 810–832.

Поступила в редакцию 25.08.2025

Принята 06.11.2025

Опубликована 18.11.2025

Сведения об авторах:

Соколова Ирина Владимировна – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории фотофизики и фотохимии молекул ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (г. Томск, Россия); irsokol783@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6515-7461>

Федорова Анастасия Андреевна – аспирант ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (г. Томск, Россия); stasy_fedorova@mail.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Spectral and fluorescent properties of humic acids from various peat samples

© 2025 I. V. Sokolova , A. A. Fedorova

National Research Tomsk State University, Lenin Avenue, 36, Tomsk, Russia. E-mail: irsokol783@gmail.com

The aim of the study. To identify differences in absorption spectra and the fluorescent properties of humic acids under different formation conditions.

Location and time of the study. Fluorescence studies were carried out for aqueous solutions of peat aliquots isolated from samples of debitumenized high-moor peat, located at different depths and hence of humidity of the oligotrophic bog complex in the Mezensky district of the Arkhangelsk region.

Methods. Absorption and fluorescence spectra were recorded using a CM2203 spectrofluorimeter (Solar, Belarus) in standard quartz cuvettes for fluorometry. Fluorescence was recorded at excitation wavelengths of 260, 310, 360 nm.

Results. During the humification process and with the increasing duration of peat drying, the fluorescence intensity of the studied samples increased. The wavelength of the fluorescence maximum and its intensity depend on the wavelength of the excitation light. A "blue shift" of the fluorescence maximum was recorded with an increase in the excitation wavelength from 260 to 310 nm for the studied samples obtained from high-moor peat.

Conclusions. This study of the fluorescence spectra of the water extracts from peat enabled to reveal the properties of their emission characteristics. The "blue shift" of the fluorescence maximum that we discovered with an increase in the excitation wavelength from 260 to 310 nm for samples isolated from high-moor peat in the Mezensky District of the Arkhangelsk Region is consistent with similar shifts obtained for the dissolved organic matter in the surface layer of the Kara Sea and the bays of Novaya Zemlya, for aqueous extracts of saline soils in Northern Dagestan, and for industrial humic preparations from peat and sapropel. The fluorescent properties of humic acids are sensitive to the origin of the organic raw materials from which they are isolated and can be useful both for determining the influence of the environment and for assessing systems under anthropogenic pressure.

Keywords: fluorescence spectra; humic acids; peat; brown coal; fluorescence spectrum maximum.

How to cite: Sokolova I.V., Fedorova A.A. Spectral and fluorescent properties of humic acids of various peat samples. The Journal of Soils and Environment. 2025. 8(4). e331. DOI: [10.31251/pos.v8i4.331](https://doi.org/10.31251/pos.v8i4.331) (in Russian with English abstract).

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are very thankful to S.B. Selyanina for samples provided for fluorescent studies.

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. FSWM-2025-0007).

REFERENCES

- Bazhina N.L., Dergacheva M.I. Fluorescent properties of soil humic acids of different formation conditions. The Journal of Soils and Environment. 2021. Vol. 4. No. 4. e167. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v4i4.167>
- Gorshkova O.M., Patsaeva S.V., Fedoseeva E.V., Shubina D.M., Juzhakov V.I. Fluorescence of organic matter dissolved in natural water. Water: Chemistry and Ecology. 2009. No.11(17). P. 31–37. (in Russian).
- Gosteva O.Yu., Isosimov A.A., Patsaeva S.V., Yuzhakov V.I., Yakimenko O.S. Fluorescence of industrial humic substances in water. Zurnal Prikladnoj Spektroskopii. 2011. Vol. 78. No. 6. P. 943–950. (in Russian).
- Drozdova A.N., Patsaeva S.V., Khundzhua D.A. Fluorescence of dissolved organic matter as a marker for distribution of desalinated waters in the Kara sea and bays of Novaya Zemlya archipelago. Oceanology. 2017. Vol. 57. No. 1. C. 41–47. <https://doi.org/10.1134/S0001437017010039>
- Zykova M.V., Bratishko K.A., Logvinova L.A., Ivanov V.V., Buyko E.E., Danilets M.G., Trofimova E.S., Ligacheva A.A., Zima A.P., Rabtsevich E.S., Ufandeev A.A., Mikhalev D.A., Pershina A.V., Konstantinov A.I., Perminova I.V., Belousov M.V. Chemical-pharmacological study of coal humic substances for application in food and pharmaceutical

- industries. Chemistry for Sustainable Development. 2023. Vol. 31. No. 4. P. 367–377. <https://doi.org/10.15372/CSD2023480>
- Lakowicz J.R. Principles of Fluorescence Spectroscopy. Moscow: Mir Publ., 1986. 496 p. (in Russian).
- Lehn J.-M. Supramolecular Chemistry. Concept and perspectives. Novosibirsk: Nauka Publ., 1998. 334 p. (in Russian).
- Mammaev A.T., Magomedova M.H.-M., Alieva M.Ju., Pinjaskina E.V., Biarslanov A.B. Fluorescent studies of humus content of saline soils of Northern Dagestan. Herald of Daghestan Scientific Center. 2020. No. 76. P. 12–17. (in Russian). <https://doi.org/10.31029/vestdnc76/2>
- Orlov D.S. Soil Chemistry. Rotterdam; Brookfield: A.A. Balkema, 1992. 390 p.
- Selyanina S.B., Zubov I.N., Orlov A.S., Ponomareva T.I., Skryabina A.O., Shpanov D.A., Sokolova I.V., Chaykovskaya O.N., Fedorova A.A. Changes in the properties of humic substances of high-moor peat during dehydration. Advances in Current Natural Sciences. 2024. No. 1. P. 41–46. (in Russian). <https://doi.org/10.17513/use.38205>
- Sokolova I.V., Tchaikovskaya O.N. Fluorescent and photochemical properties of humic acids. Optika atmosfery i okeana. 2006. No. 2–3. P. 244–247. (in Russian).
- Sokolova I.V., Fedorova A.A. Fluorescence of humic acids differing in the genesis of organic raw materials. In book: The nature of humic substances and their application in various sectors of the national economy. Collection of works of the All-Russian (national) scientific and practical conference with international participation, dedicated to the memory of Doctor of Biological Sciences, Professor Igor Disanovich Komissarov in honor of the 95th anniversary of his birth (Tyumen, 27 November, 2024). Tyumen: State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, 2024. P. 26–29. (in Russian).
- Sokolova I.V., Solokha A.A., Skobtsova K.A., Selyanina S.B. Fluorescence of aqueous solutions of humic acids of peat and humic preparations. In book: Peat bogs of Siberia: functioning, resources, restoration. Proceedings of the Fourth international scientific conference (Tomsk, October 1–8, 2021) / Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, branch of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology, Russian Academy of Sciences; Institute for Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Nature and Biodiversity Conservation Union. Tomsk: Ippolitov Publishing House, 2021. P. 116–117. (in Russian).
- Tchaikovskaya O.N., Sokolova I.V. Photoreactors for solving problems of environmental pollution. Russian Physics Journal. 2015. Vol. 57. No. 12. P. 1725–1731. <https://doi.org/10.1007/s11182-015-0444-6>
- Tchaikovskaya O.N., Nechaev L.V. Interaction of polycyclic aromatic hydrocarbons with organic matter of soils and sediments. Tomsk: Tomsk State University, 2017. 124 p. URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/380692/reading> (accessed on 10.08.2025). (in Russian).
- Shubina D.M., Yakimenko O.S., Patsaeva S.V., Izosimov A.A., Terekhova V.A., Fedoseeva E.V., Yuzhakov V.I. Spectral properties of humic water solutions. Water: Chemistry and Ecology. 2010. No. 3(21). P. 21–25. (in Russian).
- Perminova I.V. From green chemistry and nature-like technologies towards ecoadaptive chemistry and technology. Pure and Applied Chemistry. 2019. Vol. 91. No. 5. P. 851–864. <https://doi.org/10.1515/pac-2018-1110>
- Piccolo A. The supramolecular structure of humic substances. Soil Science. 2001. Vol. 166. No. 11. P. 810–832.

Received 25 August 2025

Accepted 06 November 2025

Published 18 November 2025

About the authors:

Irina V. Sokolova – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Leading Researcher, Laboratory of Photophysics and Photochemistry of Molecules, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russia); irsokol783@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6515-7461>

Anastasia A. Fedorova – Postgraduate Student, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russia); stasy_fedorova@mail.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)