

ОЦЕНКА МЕШАЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ

Орлов А. С., Бровко О. С., Zubov И. Н.

ASSESSMENT OF THE INTERFERING EFFECT OF HUMIC SUBSTANCES ON THE ACCURACY OF LIGNOSULFONATES DETERMINATION IN AQUEOUS MEDIA

Orlov A. S., Brovko O. S., Zubov I. N.

Аннотация

Выполнена экспериментальная оценка корректности определения технических лигносульфонатов в водных растворах по методу Пирла–Бенсона и охарактеризовано мешающее влияние высокомолекулярных компонентов природного фона водоема-приемника лигносульфонат-содержащих сточных вод. Показано, что присутствие ароматических соединений, в частности гумусовых кислот в водоемах может вносить значительную погрешность в значение определяемых концентраций технических лигнинов (лигносульфонатов). Установлено, что погрешность определения достигает 50%. Экспериментально обосновано оптимальное значение аналитической длины волны (430 нм) для спектрального определения лигносульфоновых кислот в природных и сточных водах обогащенных соединениями ароматической природы. Выполнен расчет коэффициентов чувствительности и селективности метода Пирла–Бенсона для исследуемых веществ, показывающий, что данный метод чувствителен и обладает высокой избирательностью к лигносульфонатам в присутствии гумусовых кислот. Показано, что фотометрический метод определения содержания лигносульфонатов применим для мониторинга многокомпонентных водных сред в ограниченных диапазонах концентраций определяемого компонента и природных примесей.

Ключевые слова: лигносульфонаты, гуминовые вещества, метод Пирла–Бенсона, природные воды, сточные воды.

Введение

Всевозрастающая хозяйственная деятельность человека приводит к загрязнению мирового океана различными органическими соединениями антропогенного происхождения с различной устойчивостью к биодegradации. Их поступление и накопление влияет на круговорот веществ как в масштабах отдельно взятого водоема так, и мирового океана в целом путем изменения состава биоты в загрязненных районах [1]. В настоящее время установлено, что

Abstract

An experimental assessment of the accuracy of technical lignosulfonates' determination in aqueous solutions is performed in the article. The determination was carried out using the Pearl-Benson method. The interfering effect of high-molecular components of the natural background of the reservoir receiving lignosulfonate-containing waste waters is described. It is shown that the presence of aromatic compounds (in particular, humic acids) in water bodies can introduce a significant error in the determined concentrations of technical lignins (lignosulfonates). Such error can reach 50%. The optimal value of the analytical wavelength (430 nm) for spectral identification of lignosulfonic acids in natural and waste waters rich in compounds of aromatic nature is experimentally justified. The coefficients of sensitivity and selectivity for the Pearl-Benson method regarding the analyzed components are calculated. The calculations show that the method is sensitive and highly selective to lignosulfonates in the presence of humic acids. It is also demonstrated that the photometric method of determining the content of lignosulfonates is applicable for monitoring of multicomponent aqueous media in limited ranges of analyte and natural impurities' concentrations.

Keywords: lignosulfonates, humic substances, Pearl-Benson method, natural waters, waste waters.

нефтяные углеводороды и высокомолекулярные фенольные соединения являются основными (по массе) органическими загрязнителями океана. Большинство этих соединений могут утилизироваться различными водными организмами, однако эффективность и скорость их биодеструкции неодинаковы. Как следствие, в воде и донных осадках происходит накопление наиболее устойчивых (нередко токсичных) соединений ароматической структуры — лигнинов [1].

На сегодняшний день одним из основных источников поступления в водоемы компонентов лигнинной природы является комплексная химическая переработка древесины и в частности ЦБП. Стоки ЦБП объединяют потоки варочного, отбельного и других цехов производственной линии и, соответственно, имеют сложный химический состав, который определяется особенностями исходного сырья и технологий получения целлюлозы [2]. Технические лигнины, которые в зависимости от способа делигнификации растительного сырья представляют собой сульфатный лигнин (сульфатная варка) или соли лигносульфоновых кислот — ЛС (сульфитная варка) [3]. Стоит отметить, что для сульфатного способа делигнификации характерен замкнутый цикл водопользования, а при переходе из щелочной среды в кислую сульфатный лигнин выпадает в осадок, что в значительной степени позволяет снизить концентрацию лигнинных веществ, попадающих в природный водоем. Как следствие, наибольшее воздействие на водоемы оказывают именно продукты сульфитных варок — ЛС, для которых характерна растворимость в широком диапазоне pH [4].

Известно, что ЛС могут служить питательной средой для многочисленных микроорганизмов водоема приемника, способствовать чрезмерному возрастанию их численности и привести к нарушению экологического баланса. В частности, бактерии *Sphaerotilus natans* и плесневые грибы *Fusarium aqaeductuum* и *Leptomitus lacteus* образуют хлопьевидную взвесь и делают воду непригодной для хозяйственного и технологического использования. Кроме того, являясь трудноокисляемыми соединениями, они оказывают негативное влияние на кислородный баланс, вызывая эвтрофирование водоема и угнетение жизнедеятельности водной фауны [5]. Обладая поверхностно-активными свойствами, компоненты лигнинной природы затрудняют коагуляцию коллоидных частиц [6, 7] и увеличивают показатель цветности воды, чем нарушают световой режим водоема. Учитывая вышесказанное, корректный аналитический контроль содержания технических лигнинов в природных водоемах — приемниках сточных вод предприятий ЦБП — является актуальной задачей.

Среди существующих методов контроля содержания лигнинных веществ в водных объектах, в том числе и аттестованных методик [8, 9], наибольшее распространение имеет метод Пирла–Бенсона, основанный на спектрофотометрическом определении хинонмонооксимных форм продуктов нитрозирования лигнинных соединений (рис. 1). Спектральный анализ продуктов реакции после стадий нитрозирования и подщелачивания проводится в видимой области спектра при $\lambda = 430$ нм [10, 11].

Стоит отметить, что нитрозированию подвергается весь спектр ароматических соединений, присутствующих в пробе, что в той или иной мере приводит к искажению истинного содержания ЛС. Особенно остро эта проблема стоит для водоемов, водосбор которых расположен на заболоченных территориях. К таким мешающим компонентам, которые повсеместно присутствуют в природных водах, стоит отнести в первую очередь вещества гумусовой природы.

Гуминовые вещества (гумусовые кислоты) относятся к группе природных полифункциональных соединений ароматической природы, источником которых являются такие каустобиолиты, как бурый уголь, почвы, торф и сапропель, а также гумифицированные природные воды [12–15]. При этом следует отметить, что устранить мешающий эффект гумусовых веществ на определение технических лигнинов методами, которые рекомендованы для удаления из анализируемой пробы, например, летучих фенолов [8], не представляется возможным.

В работе [11] на примере сульфатного лигнина показано, что наличие олигомерных и высокомолекулярных компонентов гумусовой природы может существенно влиять на точность определения технических лигнинов в природных и сточных водах (занижая определяемую концентрацию), однако для лигносульфоновых кислот данный вопрос остается без должного внимания.

Таким образом, данная работа направлена на оценку мешающего влияния компонентов гумусовой природы на точность определения массовой концентрации лигносульфоновых кислот в водных объектах фотометрическим методом.

Методы и материалы

В качестве объектов исследования использовались лигносульфонаты натрия технические

порошкообразные (ОАО «Соликамскбумпром») и гуминовые кислоты как один из основных компонентов гумуса (препарат фирмы «Sigma Aldrich»), характеристики которых приведены в табл. 1.

Для исследования готовили модельные растворы ЛС различной концентрации (100, 50 и 20 мг/л) с добавкой гуминовых кислот (1,0; 5,0; 10,0; 15,0 и 20,0 мг/л) таким образом, чтобы они были сопоставимы со значениями, характерными для сточных вод и природных, в зоне влияния целлюлозного производства (табл. 2).

Концентрацию лигносульфоновых кислот в модельных растворах определяли по методу Пирла–Бенсона [8]. Спектры исходных и нитрозированных растворов ЛС записывали на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu, Япония) в интервале длин волн 250–450 нм [11].

Методом квантовой корреляционной спектроскопии на лазерном анализаторе размеров частиц LB-550 (Hogiba, Франция) проведен анализ распределения частиц по размерам в исследуемых растворах гумусовых и лигнинных веществ [11].

Чувствительность (S) и селективность ($k_{i,j}$) фотометрического метода Пирла–Бенсона к ЛС и ГК определяли согласно [11, 16].

Результаты и обсуждение

Первичную информацию о влиянии компонентов гумусовой природы на определение ЛС в водных средах могут дать спектральные характеристики их растворов (рис. 2). Водный препарат ЛС (см. рис. 2, кривая 3) характеризуется максимумом поглощения при 280 нм, что характерно для ароматических (фенольных) структур. Спектр водного раствора ГК не имеет выраженных пиков в данном диапазоне и представляет собой ниспадающую кривую (см. рис. 2, кривая 1). В спектрах продуктов нитрозирования исследуемых соединений как ЛС (см. рис. 2, кривая 4), так и ГК (см. рис. 2, кривая 2) появляется четкий пик поглощения в области 350 нм, однако использование данной полосы для количественного определения затруднено из-за максимального наложения оптических эффектов нитрозирования ЛС и ГК друг на друга. Поэтому, очевидно, что мешающее влияние ГК в данных условиях будет максимальным.

Нитрозирование препарата ЛС приводит к значительному возрастанию оптической плотности в диапазоне 250–450 нм, для ГК увеличение оптической плотности после нитрозирования наблюдается в диапазоне 250–390 нм. Поэтому определение массовой концентрации ЛС фотометрическим методом целесообразно проводить при длине волны 430 нм, что позволит минимизировать мешающее влияние ГК [9, 10]. А для построения предварительных калибровочных (градуировочных) зависимостей в качестве стандартного образца корректно использовать

Таблица 1
Характеристики объектов исследования

| Параметр | Величина |
|---|----------|
| Лигносulfонаты натрия | |
| Влажность, % | 3,9 |
| Содержание основного компонента, % | 61,7 |
| Зольность, % от а.с.в. | 21,1 |
| * Молекулярно-массовые характеристики: | |
| M_w , кДа | 14,5 |
| M_n , кДа | 2,7 |
| M_w/M_n | 5,5 |
| Гуминовые кислоты (ГК) | |
| Влажность, % | 4,0 |
| Зольность, % от а.с.в. | 32,3 |
| * Молекулярно-массовые характеристики: | |
| M_w , кДа | 13,6 |
| M_n , кДа | 3,3 |
| M_w/M_n | 4,1 |
| * Молекулярно массовые характеристики ЛС и ГК определены методом гель-проникающей хроматографии: M_w — среднемассовая молекулярная масса; M_n — среднечисловая молекулярная масса; M_w/M_n — полидисперсность. | |

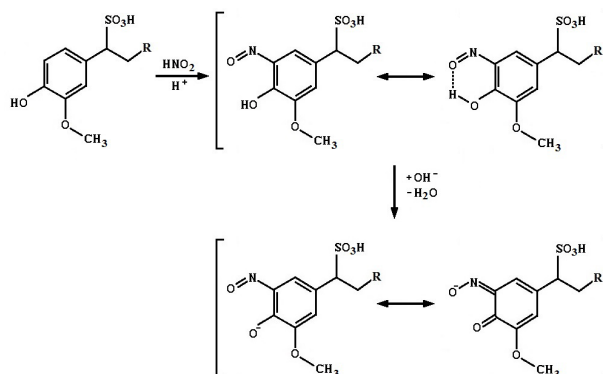


Рис. 1. Схема реакции нитрозирования фенилпропанового звена лигносульфоновой кислоты

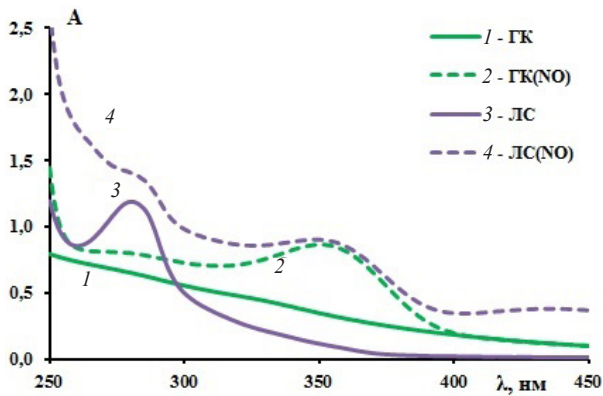


Рис. 2. Электронные спектры поглощения исходных (1, 3) и нитрозированных (2, 4) препаратов лигносульфоновых и гуминовых веществ

препарат ЛС, выделенный из щелоков (сточных вод) конкретного предприятия.

На рис. 3 представлены калибровочные зависимости оптической плотности (A) водных растворов ЛС и ГК от концентраций (C) определяемого компонента, построенные по стандартным растворам:

Рассчитанные согласно [16] коэффициенты чувствительности (S) метода Пирла–Бенсона для ЛС и ГК составили 0,0034 и 0,0002 соответственно. Полученные результаты могут говорить о том, что данный метод чувствителен к ЛС и относительно малочувствителен к ГК.

По [16] выполнен расчет коэффициентов селективности метода $k_{i,j}$ для определения массовой концентрации ЛС в присутствии ГК: $k_{ЛС,ГК} = 0,06$. Таким образом, показано, что данный метод дол-

жен обладать достаточно высокой избирательностью к ЛС в присутствии ГК.

Установлено, что снижение концентрации определяемого компонента — лигносульфоновых кислот в исследуемом образце — приводит к росту мешающего влияния гумусовых кислот и завышению определяемой концентрации ЛС в растворе на 5,4–52,5 % (табл. 2).

Мешающее влияние ГК в исследованном интервале концентраций определяемого и мешающего компонентов в водных растворах линейно возрастает ($R^2 = 0,99$) с увеличением концентрации ГК (рис. 4).

Таблица 2

Вклад гуминовых кислот в определение лигносульфатов

| $C_{ЛС\text{ исх.}}$, мг/л | $C_{ГК}$, мг/л | $C_{ЛС\text{ экп.}}$, мг/л | Относительная погрешность, % |
|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------|
| 100,0 | 1,0 | 105,4 | 5,4 |
| | 5,0 | 106,8 | 6,8 |
| | 10,0 | 109,8 | 9,8 |
| | 15,0 | 111,2 | 11,2 |
| | 20,0 | 113,0 | 13,0 |
| 50,0 | 1,0 | 55,1 | 10,1 |
| | 5,0 | 56,2 | 12,5 |
| | 10,0 | 58,9 | 17,8 |
| | 15,0 | 60,6 | 21,3 |
| | 20,0 | 62,1 | 24,8 |
| 20,0 | 1,0 | 22,8 | 14,0 |
| | 5,0 | 25,1 | 25,5 |
| | 10,0 | 26,5 | 32,5 |
| | 15,0 | 28,5 | 42,5 |
| | 20,0 | 30,5 | 52,5 |

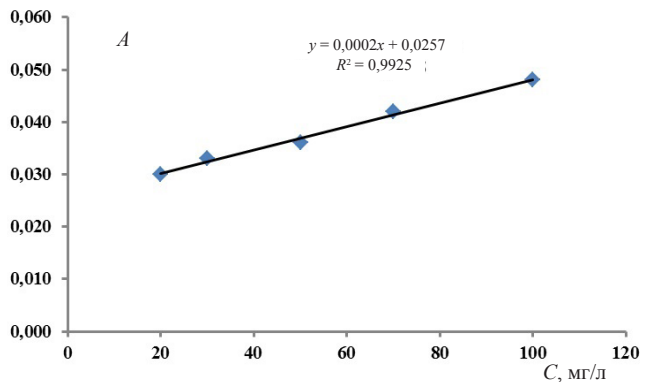
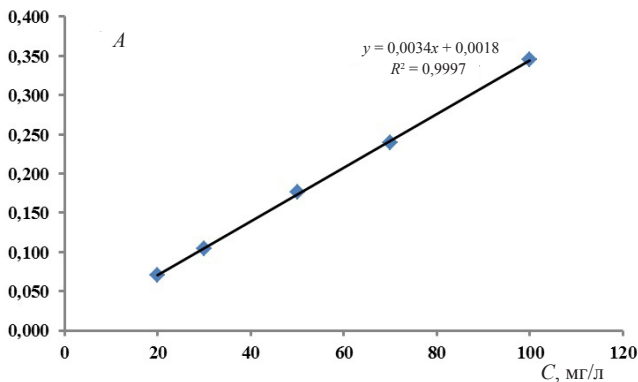


Рис. 3. Зависимости оптической плотности водных препаратов от концентрации определяемого компонента: а) ЛС; б) ГК

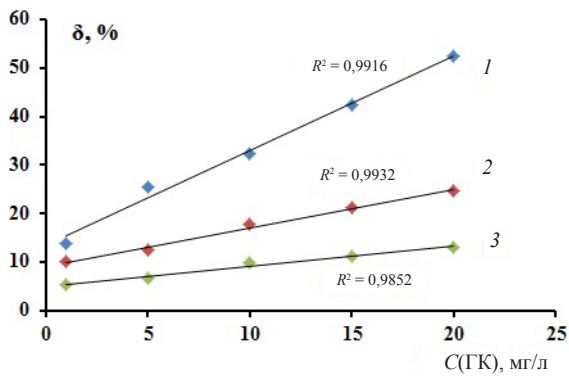


Рис. 4. Оценка мешающего влияния гуминовых веществ на определение ЛС

Завышение определяемых концентраций ЛС связано, по-видимому, с межмолекулярными взаимодействиями компонентов природных и сточных вод, в результате которого происходит укрупнение макромолекул и образование ассоциатов (смешанного состава). Последние участвуют не только в светопоглощении, но и светорассеянии, что приводит к искажению показателя истинной оптической плотности растворов. С целью подтверждения межмолекулярных взаимодействий авторами проведена оценка размеров частиц раз-

бавленных растворов ЛС (100 мг/л), ГК (2 мг/л) и их смеси (1:1). Выбранные концентрации обеспечивают минимальное межмолекулярное взаимодействие в исследуемых растворах.

Согласно полученным данным (рис. 5) в исследуемых растворах ЛС и ГК присутствуют лишь отдельные макромолекулы и небольшие ассоциаты диаметром 1–13 нм (ЛС) и 7–17 нм (ГК), что свидетельствует практически о полном отсутствии межмолекулярных взаимодействий. При этом смешение растворов индивидуальных соединений приводит к активной ассоциации макромолекул ЛС и ГК, что подтверждается наличием крупных межмолекулярных образований, диаметр которых составил 275–6000 нм. Укрупнение растворенных частиц может приводить к искажению (увеличению) показателя истинной оптической плотности растворов, и, как следствие, к завышению определяемой концентрации лигносульфоновых кислот в модельных смесях.

Заключение

Выполненный эксперимент показывает на то, что спектрофотометрический метод применим для многокомпонентных сред, в которых концентрации ЛС превышают 45–50 мг/л, т. е. для контроля производственных сточных вод, поступа-

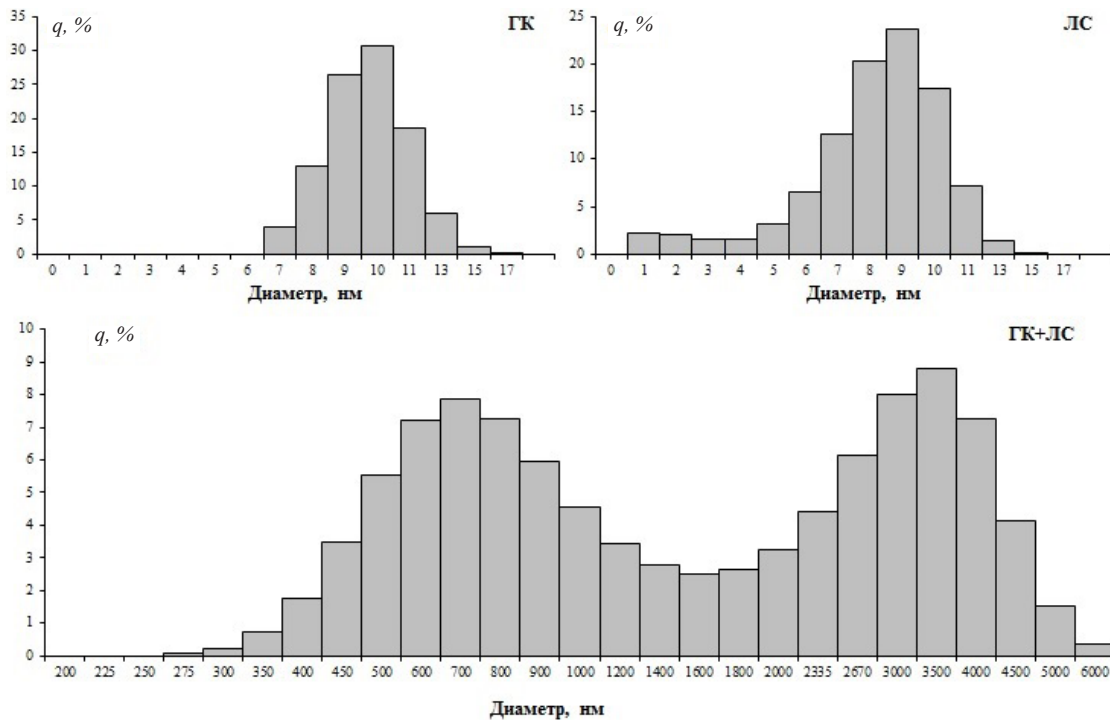


Рис. 5. Распределения частиц по размерам в растворах ГК (2 мг/л), ЛС (100 мг/л) и их смеси (1:1)

ющих на БОПС, при этом погрешность составит не более 20 % (что соответствует погрешности методики [9]).

Для мониторинга сточных вод, сбрасываемых в водоем, метод имеет ограниченное применение, и при возрастании концентрации гумусовых веществ в водоеме погрешность превышает 20 %.

При разбавлении стока природными водами погрешность метода существенно возрастает и может достигать 50 %, что связано с низкой концентрацией определяемых компонентов (технических лигнинов) и значительным содержанием фенольных компонентов природного происхождения, также участвующих в реакции нитрозирования. Особенно важно учитывать этот фактор в период паводков из-за больших объемов органического вещества, поступающего в водоемы с водосборных территорий, прежде всего болотных массивов.

Таким образом, метод Пирла–Бенсона применим для экологического контроля — анализа количественного содержания лигнинных веществ в сточных и природных водах. Для повышения достоверности требуется оценка природного фона высокомолекулярных и олигомерных соединений ароматической природы.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФАНО России с использованием оборудования ЦКП КТ РФ-Арктика, (ФИЦКИА РАН). Определение физико-химических параметров компонентов гумусовой природы, а также их вклада в оптическую плотность растворов лигносульфонатов выполнено в рамках темы № АААА-А18-118012390224-1, исследуемых лигносульфонатов в рамках темы № АААА-А18-118012390231-9.

Литература

1. Пересыпкин, В. И. и Романкевич, Е. А. (2010). Биогеохимия лигнина. М.: ГЕОС. 340 с.
2. Байкова, И. С., Штамм, Е. В., Скурлатов, Ю. И., Швыдкий, В. О. и Вичутинская, Е. В. (2015). Природа токсического воздействия сточных вод предприятий целлюлозно-бумажного производства на водные экосистемы. *Химическая физика*, т. 34. № 6, сс. 22–29.
3. Дейнеко, И. П. (2012). Утилизация лигнинов: достижения, проблемы и перспективы. *Химия растительного сырья*, № 1, сс. 5–20.
4. Богомолов, Б. Д. и Сапотницкий, С. А. (ред.) (1989). *Переработка сульфатного и сульфитного шелоков*. М.: Лесная промышленность, 360 с.

5. Левандовская, Т. В. (2008). *Химическая переработка растительного сырья*. Архангельск: Поморский университет, 97 с.

6. Trufanova, M. V., Parfenova, L. N., Yarygina, O. N. (2010). Surfactant properties of lignosulfonates. *Russian Journal of Applied Chemistry*, vol. 83, issue 6, pp. 1096–1098. <https://doi.org/10.1134/S1070427210060352>

7. Селянина, С. Б., Афанасьев, Н. И., Тельтевская, С. Е. и Селиванова, Н. В. (2007). Влияние лигносульфонатов на разрушение лигно-талловой эмульсии. *Вестник Поморского университета. Сер. «Естественные и точные науки»*, вып. 1 (11), сс. 88–93.

8. Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия (2011). ПНД Ф 14.1: 2.216-06. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации лигнинсульфоновых (лигносульфоновых) кислот и их солей в поверхностных природных и сточных водах фотометрическим методом. М.: Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, 18 с.

9. Филиал ОАО «Группа «Илим» в г. Усть-Илимске (2009). Методика выполнения измерений массовой концентрации лигнина сульфатного в пробах природных поверхностных, природных подземных и сточных вод фотометрическим методом (свидетельство об аттестации № 224.01.03.033/209). Усть-Илимск: ОАО «Группа «Илим», 11 с.

10. Хабаров, Ю. Г. и Песьякова, Л. А. (2008). *Аналитическая химия лигнина: монография*. Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 172 с.

11. Бровко, О. С., Орлов, А. С., Зубов, И. Н. и Парфенова, Л. Н. (2016). Оценка мешающего влияния соединений ароматической природы на точность определения лигнинных веществ в водных средах. *Вода: химия и экология*, № 1 (91), сс. 62–68.

12. Вальков, В. Ф., Казеев, К. Ш. и Колесников, С. И. (2004). *Почвоведение*. Ростов-на-Дону: Издат. центр «МарТ», 496 с.

13. Попов, А. И. (2004). *Гуминовые вещества: свойства, строение, образование*. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 248 с.

14. Орлов, Д. С., Садовникова, Л. К. и Суханова, Н. И. (2005). *Химия почв: учебник*. М.: Высш. шк., 558 с.

15. Косов, В. И. (ред.) (2007). *Торф. Ресурсы, технологии, геоэкология*. М.: Наука, 452 с.

16. Орлов, А. С. и др. (2015). Исследование мешающего влияния соединений ароматической природы на точность определения лигнинных веществ по методу Пирла–Бенсона. *Материалы докладов V Международной молодежной научной конференции «Экология-2015»*. Архангельск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экологических проблем Севера Уральского отделения Российской академии наук, сс. 39–40.

References

1. Peresyppkin, V. I., Romankevich, Ye. A. (2010). *Biogeokhimiya lignina [Lignin biogeochimistry]*. Moscow: GEOS, 340 p. (in Russian).
2. Baykova, I. S., Shtamm, Ye. V., Skyratov, Yu. I., Shvydky, V. O., Vichutinskaya, Ye. V. (2015). *Priroda toksicheskogo vozdeystviya stochnykh vod predpriyatij tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva na vodnye ekosistemy*

[Nature of pulp-and-paper wastewater toxic effect on water ecosystems]. *Russian Journal of Physical Chemistry B: Focus on Physics*, vol. 34, No. 6, pp. 22–29 (in Russian).

3. Deyneko I. P. (2012). Utilizatsiya ligninov: dostizheniya, problemy i perspektivy [Disposal of lignins: achievements, problems and prospects]. *Chemistry of Plant Raw Material*, No. 1, pp. 5–20. (in Russian).

4. Bogomolov, B. D., Sapotnisky, S. A. (ed.) (1989). *Pererabotka sulfatnogo i sulfitnogo shchelokov [Processing of sulfate and sulfite liquors]*. Moscow: Lesnaya Promyshlennost, 360 p. (in Russian).

5. Levandovskaya, T. V. (2008). *Khimicheskaya pererabotka rastitelnogo syrya [Chemical processing of plant raw materials]*. Arkhangelsk: Pomor University, 97 p. (in Russian).

6. Trufanova, M. V., Parfenova, L. N., Yarygina, O. N. (2010). Surfactant properties of lignosulfonates. *Russian Journal of Applied Chemistry*, vol. 83, issue 6, pp. 1096–1098. <https://doi.org/10.1134/S1070427210060352>

7. Selyanina, S. B., Afanasiev, N. I., Teltevsckaya, S. Ye., Selivanova, N. V. (2007). Vliyaniye lignosulfonaton na razrusheniye ligno-talloyoy emulsii [Influence of lignosulphonates on lignin-tall emulsion destruction]. *Vestnik Pomorskogo Universiteta, ser. "Yestestvennye i tochnye nauki"*, issue 1 (11), pp. 88–93 (in Russian).

8. Federal Center for Analysis and Evaluation of Anthropogenic Impact (2011). PND F 14.1:2.216-06. Kolichestvenny khimichesky analiz vod. Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii ligninsulfonovykh (lignosulfonovykh) kislot i ikh soley v poverkhnostnykh prirodnykh i stochnykh vodakh fotometricheskim metodom [Environmental Regulatory Document PND F 14.1:2.216-06. Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass fraction of ligninsulfonic (lignosulfonic) acids and their salts in surface natural and waste waters using the photometric method]. Moscow: Federal Service for Supervision of Natural Resources Management, 18 p. (in Russian).

9. The Ust-Ilimsk branch of Ilim Group (2009). Metodika vypolneniya izmereniy massovoy kontsentratsii lignina sulfatnogo v probakh prirodnykh poverkhnostnykh, prirodnykh podzemnykh i stochnykh vod fotometricheskim metodom [Methodology for measuring the mass fraction of sulfate lignin in samples of natural surface, natural underground and waste waters using the photometric method] (Certificate No. 224.01.03.033/209). Ust-Ilimsk: Ilim Group, 11 p. (in Russian).

10. Khabarov, Yu. G., Pesyakova, L. A. (2008). *Analiticheskaya khimiya lignina [Analytical chemistry of lignin]*. Monograph. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University, 172 p. (in Russian).

11. Brovko, O. S., Orlov, A. S., Zubov, I. N., Parfenova, L. N. (2016). Otsenka meshayushchego vliyaniya soyedineniy aromatischeskoy prirody na tochnost opredeleniya ligninnykh veshchestv v vodnykh sredakh [Evaluation of the effect of interfering compounds of aromatic nature on the accuracy of the lignin compounds detection in aqueous mediums]. *Water: Chemistry and Ecology*, No. 1 (91), pp. 62–68 (in Russian).

12. Valkov, V. F., Kazeyev, K. Sh., Kolesnikov, S. I. (2004). *Pochvovedeniye [Soil science]*. Rostov-on-Don: MarT Publishing Center, 496 p. (in Russian).

13. Popov, A. I. (2004). *Guminovye veshchestva: svoystva, stroyeniye, obrazovaniye [Humic substances: properties,*

structure, formation]. Saint Petersburg: Publishing House of the Saint Petersburg State University, 248 p. (in Russian).

14. Orlov, D. S., Sadovnikova, L. K., Sukhanova, N. I. (2005). *Khimiya pochv: uchebnik [Soil chemistry: textbook]*. Moscow: Vysshaya Shkola, 558 p. (in Russian).

15. Kosov, V. I. (ed.) (2007). *Torf. Resursy, tekhnologii, geoekologiya [Peat. Resources, technologies, geoecology]*. Moscow: Nauka, 452 p. (in Russian).

16. Orlov, A. S. et al. (2015). *Issledovaniye meshayushchego vliyaniya soyedineniy aromatischeskoy prirody na tochnost opredeleniya ligninnykh veshchestv po metodu Pirla-Bensona [Studies of the interfering effect of compounds of aromatic nature on the accuracy of the lignin compounds' detection according to the Pearl-Benson method]*. Materialy dokladov V Mezhdunarodnoy molodyozhnoy nauchnoy konferentsii "Ekologiya-2015" [Proceedings of the 5th International Scientific Youth Conference "Ecology 2015"]. Arkhangelsk: Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Ecological Problems of the North of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences [Federalnoye gosudarstvennoye byudzhethnoye uchrezhdeniye nauki Institut ekologicheskikh problem Severa Uralskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk], pp. 39–40 (in Russian).

Авторы

Орлов Александр Сергеевич

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Российской академии наук, г. Архангельск, Россия

E-mail: alseror@yandex.ru

Бровко Ольга Степановна, канд. хим. наук, доцент

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Российской академии наук, г. Архангельск, Россия

E-mail: brovko-olga@rambler.ru

Зубов Иван Николаевич, канд. хим. наук

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Российской академии наук, г. Архангельск, Россия

E-mail: zubov.ivan@bk.ru

Authors

Orlov Aleksandr Sergeevich

Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk, Russia

E-mail: alseror@yandex.ru

Brovko Olga Stepanovna, Ph. D. in Chemistry, Associate Professor

Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk, Russia

E-mail: brovko-olga@rambler.ru

Zubov Ivan Nikolaevich

, Ph. D. in Chemistry

Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk, Russia

E-mail: zubov.ivan@bk.ru