

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>  
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2020, №2, Том 7 / 2020, No 2, Vol 7 <https://resources.today/issue-2-2020.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/01ECOR220.pdf>

DOI: 10.15862/01ECOR220 (<http://dx.doi.org/10.15862/01ECOR220>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Юркевич М.Г., Икконен Е.Н. Влияние лигносульфоната натрия на суглинистую почву и растения огурца // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы», 2020 №2, <https://resources.today/PDF/01ECOR220.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/01ECOR220

**For citation:**

Yurkevich M.G., Ikkonen E.N. (2020). Influence of sodium lignosulfonate on loamy soil and cucumber plants. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*, [online] 2(7). Available at: <https://resources.today/PDF/01ECOR220.pdf> (in Russian) DOI: 10.15862/01ECOR220

*Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 19-29-05174/19*

**УДК 67.08:631.4:581.1**

**ГРНТИ 66.45.47:68.05:34.31**

**Юркевич Мария Геннадьевна**

ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия  
Институт биологии – обособленное подразделение  
Заведующая лабораторией, старший научный сотрудник  
Кандидат сельскохозяйственных наук  
E-mail: [svirinka@mail.ru](mailto:svirinka@mail.ru)

**Икконен Елена Николаевна**

ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия  
Институт биологии – обособленное подразделение  
Старший научный сотрудник  
Кандидат биологических наук  
E-mail: [likkonen@gmail.com](mailto:likkonen@gmail.com)

## **Влияние лигносульфоната натрия на суглинистую почву и растения огурца**

**Аннотация.** Лигносульфонат натрия – водорастворимый побочный продукт получаемый при сульфитном способе производстве целлюлозы. Авторы в модельном эксперименте исследовали влияние лигносульфоната натрия на некоторые агрохимические показатели дерново-подзолистого суглинистого почво-грунта и на физиологические параметры развития растений огурца.

Лигносульфонат натрия вносили в почво-грунт в концентрациях 0 %, 1 %, 2,5 %, 5 % и 10 % от веса сухой почвы. Образцы инкубировали при постоянной температуре (23 °С), постоянной влажности 70 % в течение 90 дней.

Внесение лигносульфоната в модельную почву в малых концентрациях (1 и 2,5 %) существенно повышало содержание калия (от 169,7 мг/кг в контроле до 389,1–431,6 мг/кг соответственно) и обменных катионов, но снижало содержание азота независимо от внесенной дозы. Концентрация Mg, Ca и Na возрастала в 3,9...7,8 раз, что оказывало подщелачивающее действие на почву. При концентрации лигносульфоната 2,5 % величина pH солевого раствора возрастала на 1,26 единиц. При этом существенно увеличивалась концентрация буферного раствора, что проявлялось в физиологическом отклике растений.

Лигносульфат снижал накопление растениями биомассы и долю корней в общей массе. С повышением концентрации лигносульфоната в почве степень ингибирования ростовых процессов увеличивалась. Лигносульфат не повлиял на устьичный режим листьев и транспирационные потери воды, но в зависимости от концентрации сокращал содержание воды в листе. Фотосинтетическая активность растений частично подавлялась в условиях высокого содержания в почве лигносульфоната. Лигносульфат не способствовал повышению устойчивости растений к низкой температуре.

**Ключевые слова:** лигносульфонат натрия; суглинистая почва; фотосинтез; огурец

Северные регионы России являются основными площадками размещения предприятий целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБК), одним из основных видов отходов данного производства является лигносульфонат натрия. Лигносулфонаты – водорастворимые сульфопроизводные биополимера лигнина, представляют собой побочный продукт при сульфитном способе производства целлюлозы. Данный побочный продукт целлюлозно-бумажной промышленности является источником получения биологически-активных соединений, органических азотсодержащих удобрений пролонгированного действия, поверхностно-активных и комплексообразующих веществ, нужных растительным организмам. Лигносулфонаты богаты различными органическими и минеральными веществами. В состав входит лигнин древесины, полисахариды, неотмытые после гидролиза моносахара, минеральные и органические кислоты, зольные элементы и некоторые другие соединения. Лигносулфонаты содержат серу, кальций, магний, калий, углерод, водород, кислород, фосфор, а также 28 микроэлементов [1].

Несмотря на широкий спектр возможных областей применения, весь объем лигносульфонатов, образующихся в результате варки древесины, не находит промышленного использования и создает экологические трудности для сульфитцеллюлозных предприятий [2].

Анализ немногочисленных литературных источников показывает возможность применения отходов в качестве биостимуляторов отдельных агрокультур. Так в работе Lv et al. [3] обсуждается положительное влияние лигнина на активность корней *Malus hupehensis* и на содержание почвенного азота и органического вещества. Было определено, что внесение в почву лигносульфонатов может способствовать увеличению урожая бобовых культур на 50 %, а капусты на 19 % [4]. Наиболее целесообразно использовать лигнин и продукты его переработки в виде компостов с минеральными удобрениями. В этом случае используются сорбционные свойства лигнина: он удерживает минеральные компоненты, предохраняя от быстрого вымывания атмосферными осадками, и создает условия для их постепенного усвоения растениями. Исследования проводимые [5–7] выявили возможность применения лигнина и лигносульфоната для производства удобрений с контролируемым высвобождением, гидрогелевых удобрений и стабилизаторов почвы. Лигносулфонаты обладают уникальными физико-химическими свойствами, которых нет у других видов лигнинов. При взаимодействии с катионами железа и другими биогенными металлами они образуют хелатные комплексы, которые могут быть использованы в сельском хозяйстве для устранения хлороза растений [8].

Попадание лигносульфоната в водоемы со сточными водами рассматривается как один из показателей их загрязненности, однако, ввиду высокого содержания в них органических и минеральных веществ, в последние годы обсуждается возможность его использования для повышения почвенного плодородия.

Как активные ионообменные материалы лигносульфонаты способствуют удалению из почвы элементов, препятствующих нормальному росту растений [1]. Отмечена роль

лигносульфаната при рекультивации почв, загрязненных свинцом и медью, а также возможность извлечения из почвы аммонийного азота, доступного фосфора и калия [9].

В связи с вышесказанным, цель наших исследований состояла в изучении отклика растений огурца на применение лигносульфоната натрия на суглинистых почвах.

### Материалы и методы

В модельном эксперименте исследовали влияние лигносульфоната натрия (ЛГС) на физиологические параметры развития растений огурца.

Предварительно готовили почво-грунт путем внесения в дерново-подзолистую суглинистую почву лигносульфоната натрия в дозе 0 %, 1 %, 2,5 %, 5 % и 10 % от веса сухой почвы. Почву предварительно подготавливали просеиванием через сито 1 мм. Образцы инкубировали при постоянной температуре (23 °С), постоянной влажности 70 % и регулярным перемешиванием (1 раз в 7 дней) в течение 90 дней.

В почвенном растворе определяли содержание общего азота по Кьельдалю, К, Na, Ca, Mg атомно-эмиссионным и атомно-абсорбционным методом на атомно-абсорбционном спектрофотометре (Shimadzu, Япония), рН КСl.

### Условия выращивания растений

Семена огурца (*Cucumis sativus* L., гибрид Кураж F1) замачивали в дистиллированной воде в чашках Петри и инкубировали при температуре 26 °С в течение 1 сут. Затем семена высаживали в пластиковые, заполненные подготовленным почво-грунтом. Растения выращивали при температуре день/ночь 26/22 °С, фотопериоде 16/8 ч день/ночь, фотосинтетически активной радиации (ФАР) 300 мкмоль/(м<sup>2</sup> с) и влажности воздуха 60–70 %. Через 14 суток после посадки семян растения каждого опытного варианта были разделены на 2 части. Первую часть растений продолжали выращивать при первоначальных условиях (вариант ОТ, оптимальная температура), а вторую часть растений перевели на 10 сут. на рост при 15/12 °С день/ночь (вариант НТ, низкая температура) при остальных сохраненных условиях. Выбор варианта низкотемпературных условий роста растений был обусловлен следующими причинами. Во-первых, исследуемые дерново-подзолистые суглинистые почвы широко распространены в высоких широтах, которым характерны затяжные понижения температуры воздуха и нередко культурные растения, подвергаются действию данного стрессового фактора, даже при выращивании их в тепличных условиях. Во-вторых, данному виду почвы характерен низкий уровень плодородия, ввиду ограниченного содержания в них элементов минерального питания растений. Можно предположить, что внесение ЛГС в почву может способствовать улучшению условий обеспеченности растений элементами питания, что, в свою очередь, может отразиться на повышении устойчивости растений к низкой температуре и сохранению стабильности скоростей их роста и развития в условиях охлаждения.

### Измерения

Скорость видимого фотосинтеза ( $A_n$ ), транспирационного потока ( $T_r$ ) и устьичной проводимости ( $g_s$ ) измеряли с использованием системы для исследования газообмена HCM-1000 (Walz, Германия) при температуре листа 25 °С для растений, выращиваемых при ОТ (ОТ-растения), и при температуре листа 15 °С для растений, выращиваемых при НТ (НТ-растения). Все измерения были проведены на самых молодых зрелых листьях растений возраста 24 сут. Во время измерения влажность воздуха в листовой камере поддерживали на

уровне 60–65 % и ФАР 1200 мкмоль/(м<sup>2</sup> с) ФАР для ОТ-растений и 800 мкмоль/(м<sup>2</sup> с) ФАР для НТ-растений. Содержание CO<sub>2</sub> изменялась в пределах 400–420 ppm. Эффективность использования воды (WUE, *water use efficiency*) на фотосинтез на уровне листа рассчитывали, как отношение  $A_n$  при насыщающем фотосинтез свете к Tr. Величину относительного содержания воды (ОСВ) рассчитывали как процент содержания воды в опытной растительной ткани от ее содержания в той же ткани в состоянии полного насыщения.

После всех измерений надземная часть растений была отделена от корневой системы. Корни растений были аккуратно очищены от почво-грунта и тщательно промыты проточной водой. Для определения сухой биомассы общей, надземной и подземной частей растений и их соотношения, растительный материал высушивали при температуре 70 °С до постоянного веса.

### Результаты и обсуждения

Внесение лигносульфоната в модельную почву в малых концентрациях (1 и 2,5 %) существенно повышало содержание калия (от 169,7 мг/кг в контроле до 389,1–431,6 мг/кг соответственно) и обменных катионов, но снижало содержание азота независимо от внесенной дозы (таблица 1). Концентрация Mg, Ca и Na возрастала соответственно в 3,9...4,6; 2,5...3,0 и 3,6...7,8 раз, что оказывало подщелачивающее действие на почву. Реакция почвенного раствора увеличивалась на 0,7–0,8 единиц. При концентрации ЛГС 2,5 % величина pH солевого раствора возрастала на 1,26 единиц (pH сол. с 4,93 до 6,19). При этом существенно увеличивалась концентрация буферного раствора, что проявлялось в физиологическом отклике растений.

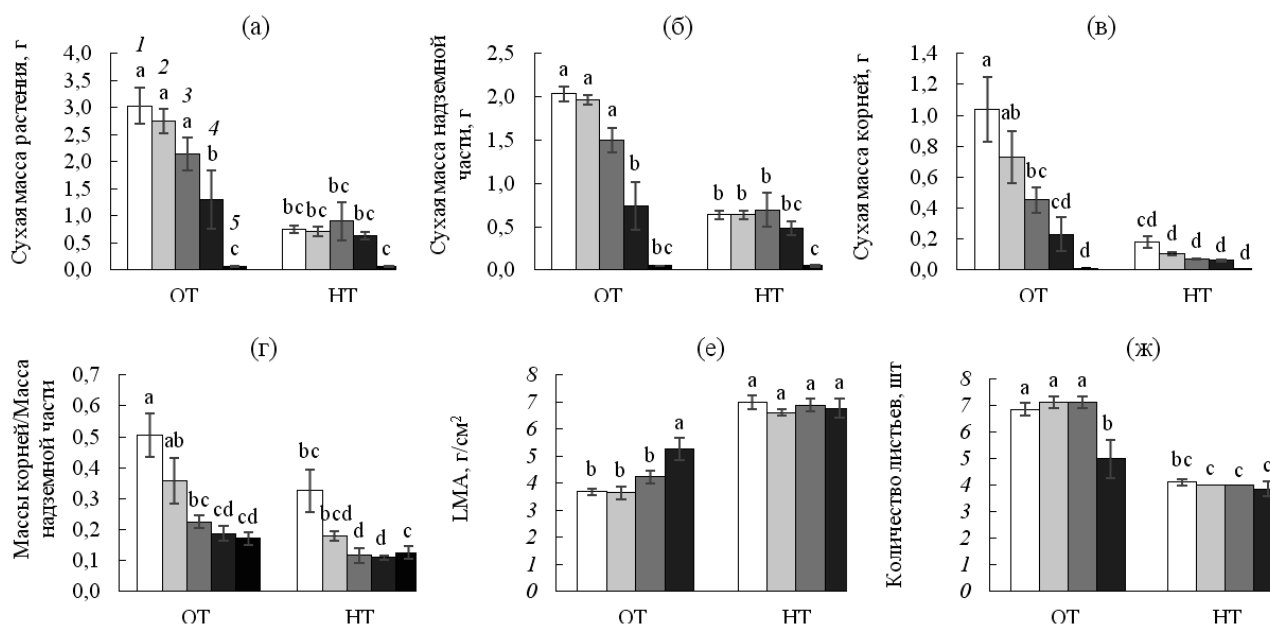
Таблица 1

#### Агрохимические показатели почвенного субстрата из дерново-подзолистой суглинистой почвы и лигносульфоната

Содержание лигносульфоната в почве	K, мг/кг	Na, мг/кг	Ca, мг/кг	Mg, мг/кг	N, %	pH солевой
0 %	169,7	17,2	767,9	42,5	0,30	4,93
1 %	389,1	62,1	1890,5	163,9	0,18	5,63
2,5 %	431,6	134,9	2326,1	194,5	0,18	6,19
5 %	237,6	130,9	898,1	40,7	0,16	5,72
10 %	141,8	20,8	772,4	42,8	0,18	5,73

Составлено авторами

Внесение лигносульфоната в почво-грунт оказало влияние на биометрические показатели развития растений огурца. Применение ЛГС уменьшало накопление ими общей биомассы в целом (рисунок 1а) и развитие корневой системы в частности (рисунок 1в). В большей степени данное влияние было выражено при оптимальных температурных условиях роста огурца. Причем, данное негативное влияние ЛГС усиливалось с повышением его концентрации в почве. Низкая температура роста существенно снижала скорость роста и развития растений (рис. 1а,ж), что подтверждает общеизвестный факт об ингибирующем действии низкой температуры на растения. Однако внесение в почву ЛГС не способствовало даже частичному стимулированию скорости роста растений в данных условиях. Более того, при высоком уровне содержания ЛГС в почве, его ингибирующий эффект проявлялся и у растений, которые выращивали при низкой температуре. При высоком уровне содержания ЛГС (10 %) рост растения прекращался на уровне семядольных листьев. Можно предположить, что данный негативный эффект ЛГС на рост и развитие растений огурца связан с увеличением буферности и осмотического давления почвенного раствора, а также со снижением содержания в почве азота. ЛГС в большей степени ингибировал накопление растением подземной, чем надземной биомассы, что отражалось на снижении доли корней в общей биомассе растений уже при незначительном (1 %) содержании его в почве (рис. 1г).



**Рисунок 1.** Общая сухая масса (а), надземной части (б), корней (в), отношение сухой массы корней к массе надземной части (г), отношение сухой массы надземной части к общей массе (д), отношение площади к массе листа (LMA, (е) и количество листьев (ж) у растений огурца, выращиваемых при оптимальной (ОТ) и низкой (НТ) температуре на дерново-подзолистой суглинистой почве, содержащей 0 (1), 10 (2), 25 (3), 50 (4) или 100 (5) г лигносульфоната в кг сухой почвы. Различные буквы указывают на достоверность различий средних значений при  $P < 0.05$  (составлено авторами)

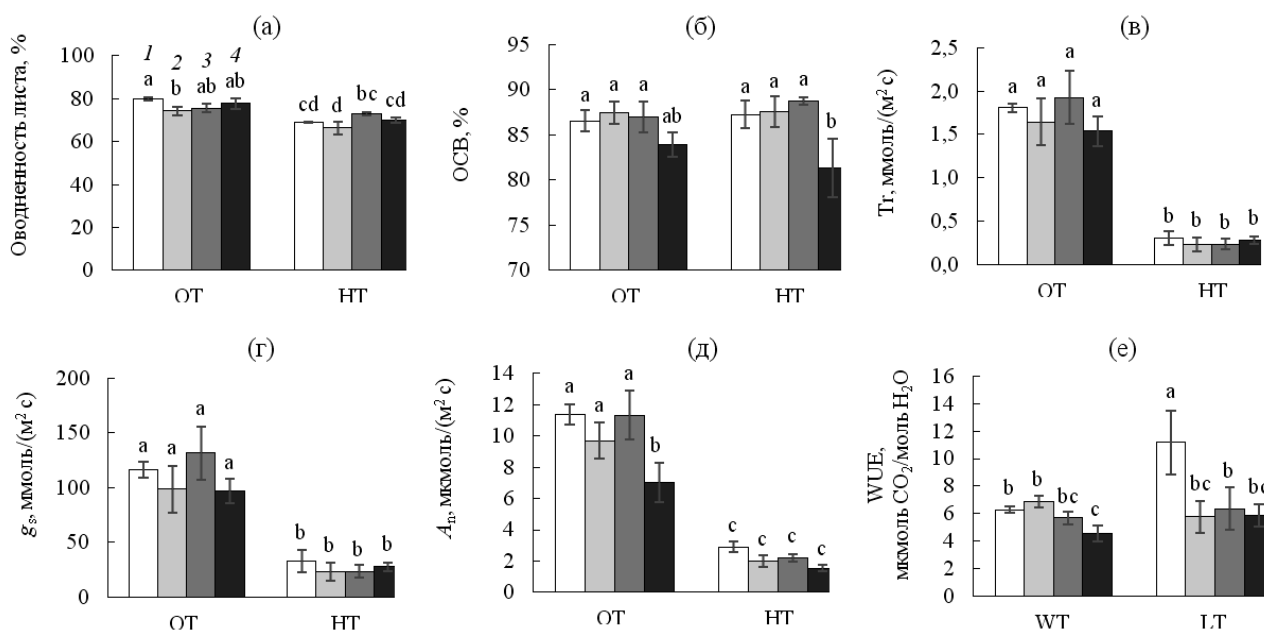
Данный эффект проявился независимо от температурных условий роста растений. Известно, что рост растений в холоде инициирует структурные преобразования в листе, вызывающие повышение величины LMA [10–11], что косвенно отражает утолщение листа. Результаты данного исследования также подтвердили этот факт (рис. 1е). Влияние ЛГС на величину LMA растений проявилось только при их выращивании в оптимальных температурных условиях. Так ЛГС увеличивал на 18 % значение LMA огурца при высоком уровне его содержания в почве. Можно предположить, что рост величины LMA связан в большей степени с накоплением в листе апопластных, чем симпластных структур.

Понижение температуры роста отразилось в большей степени на скорости транспирационного потока и устьичном режиме растений, чем на содержании в листьях воды (рис. 2а–г). Так, у растений, выращиваемых при низкой температуре, величины  $T_g$  и  $g_s$  были соответственно в 6 и 4 раза ниже, чем у растений, росших при оптимальной температуре. Однако оводненность листьев и ОСВ при изменении температуры роста изменялись в гораздо меньшей степени, чем  $T_g$  и  $g_s$ . В отличие от влияния температуры, внесение в почву ЛГС напротив, изменяло оводненность листьев и ОСВ, но не отражалось на  $T_g$  и  $g_s$ . Так, оводненность листа снижалась при низком уровне содержания ЛГС в почве (1 %), а величина ОСВ уменьшалась на при высоком уровне ЛГС (10 %) независимо от температуры роста растений.

Низкая температура роста существенно тормозила скорость видимого фотосинтеза растений, но внесение в почву ЛГС не способствовало даже частичному восстановлению величины у растений, выращиваемых при холоде (рис. 2д). При оптимальной температуре роста внесение ЛГС в высокой дозе (10 %) снижало скорости  $A_n$  в большей степени у растений, выращиваемых при оптимальной температуре. Рост растений в низкотемпературных условиях способствовал увеличению фотосинтетической эффективности использования воды листьями



растений, не подвергавшихся воздействию ЛГС (рис. 2е). Данный факт подтверждает ранее выявленное стимулирование низкими температурами повышение величины WUE у огурца [12]. Выявленное в данной работе повышение WUE было обусловлено меньшей степенью ингибирования под низкой температурой скорости фотосинтеза, чем процесса транспирации воды растением. Влияние ЛГС на WUE мало зависело от температурных условий роста растений и выражалось в снижении его величины.



**Рисунок 2.** Оводненность листа (а), относительное содержание воды (ОСВ, (б)), скорость транспирационного потока (Tr, (в)), устьичной проводимости ( $g_s$ , (г)), видимого фотосинтеза ( $A_p$ , (д)) и эффективность использования воды на фотосинтез на уровне листа (WUE, (е)) растений огурца, выращиваемых при оптимальной (ОТ) и низкой (НТ) температуре на дерново-подзолистой суглинистой почве, содержащей 0 (1), 10 (2), 25 (3) или 50 (4) г лигносульфоната в кг сухой почвы. Измерения выполнены при температуре листа 25 °С для растений, выращиваемых при ОТ, и при температуре листа 15 °С для растений, выращиваемых при НТ. Различные буквы указывают на достоверность различий средних значений при  $P < 0.05$  (составлено авторами)

Тогда как при оптимальной температуре величина WUE понижалась при только при высокой дозе вносимого ЛГС, при низкой температуре она существенно снижалась уже при малой дозе ЛГС и далее с увеличением дозы не изменялась.

Значительное снижение содержания азота в почве оказало влияние на долю его инвестирования в процесс фотосинтеза, что повлияло на снижение роста растений.

В связи со значительным увеличением буферности почвенного раствора высокий уровень магния, кальция и особенно натрия в слабокислой суглинистой почве привела к изменению агрегатного состояния почвы, её уплотнению и свойственным солонцам характеристикам. Солонцы отличаются агрономически отрицательными водно-физическими и физико-механическими свойствами. В сухом состоянии они плотного сложения, а во влажном сильно набухают, вязкие, липкие. Водопроницаемость низкая, количество влаги, недоступной растениям, высокое. Переход суглинистой почвы в солонцовую оказал крайне негативное влияние на развитие растений огурца.

### Выводы

Содержание лигносульфоната натрия в суглинистом почво-грунте оказывало раскисляющее действие независимо от внесенной концентрации. Внесение ЛГС повышало содержание в почве калия, кальция, магния и натрия, но снижало содержание азота.

Лигносульфанат снижал накопление растениями биомассы и долю корней в общей массе. С повышением концентрации ЛГС в почве степень ингибирования ростовых процессов увеличивалась.

Лигносульфанат не повлиял на устьичный режим листьев и транспирационные потери воды, но в зависимости от концентрации сокращал содержание воды в листе.

Фотосинтетическая активность растений частично подавлялась в условиях высокого содержания в почве ЛГС.

Лигносульфанат не способствовал повышению устойчивости растений к низкой температуре.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Максимов В.Ф., Стадницкий Г.В. Введение в специальность: учеб. пособие для Вузов. Л: Химия, 1988, с. 168.
2. Осовская И.И., Кухаренко Ю.А., Ковжина А.Л., Полторацкий Г.М. Полторацкий Лигносульфонаты – добавки в композиции лакокрасочных материалов: учебное пособие / под ред. Г.М. Полторацкого / ГОУВПО СПбГТУРП. – СПб., 2010. – 36 с.
3. Lv T. Effects of Lignin on Root Activity and Soil Nutrients of *Malushupehensis. var. pingyiensis* under the Use of Organic Fertilizer // *Agricultural Sciences*. 2017. Т. 8. № 5. С. 341–350.
4. Savy D. Humic-like water-soluble lignins from giant reed (*Arundodonax L.*) display hormone-like activity on plant growth // *Journal of Plant Growth Regulation*. 2017. Т. 36. № 4. С. 995–1001.
5. Adam G.A. Lignin-based multipurpose fertilizers: пат. 9039803 США. 2015.
6. Martinez R.A.G. Fertilizer having reduced biuret content: заяв. пат. 15110787 США. 2016.
7. Jiao G.J. Controlled-Release Fertilizer with Lignin Used to Trap Urea / Hydroxymethylurea / Urea-Formaldehyde Polymers // *BioResources*. 2018. Т. 13. № 1. С. 1711–1728.
8. Хабаров Ю.Б., Вешняков В.А., Кузяков Н.Ю. Получение и применение комплексов лигносульфоновых кислот с катионами железа // *Лесной журнал* 2019, № 5, С. 167–187 DOI: 10.17238/issn0536-1036. 2019.5.167.
9. Liu Q. Potassium lignosulfonate as a washing agent for remediating lead and copper co-contaminated soils // *Science of The Total Environment*. 2019. Т. 658. С. 836–842.
10. Кислюк И.М., Васьковский М.Д., Буболо Л.С., Палеева Т.В. Влияние температуры на строение листьев и фотосинтез *Carex lugens* (Cyperaceae) и *Arctagrostis arundinacea* (Poaceae) // *Ботан. журн.* 1983. Т. 68. С. 1325–1332.
11. Трунова Т.И. Растение и низкотемпературный стресс. 2007. М.: Наука, 54 с.
12. Ikkonen E.N., Shibaeva T.G., Titov A.F. Water use efficiency in *Cucumis sativus L.* in response to daily short – term temperature drop // *Journal of Agricultural Science*, 2015. Vol. 7 No. 11. P. 208–215.

## Yurkevich Maria Gennadevna

Karelian research centre of the Russian academy of sciences, Petrozavodsk, Russia  
Institute of biology – separate division  
E-mail: svirinka@mail.ru

## Ikkonen Elena Nikolaevna

Karelian research centre of the Russian academy of sciences, Petrozavodsk, Russia  
Institute of biology – separate division  
E-mail: likkonen@gmail.com

# Influence of sodium lignosulfonate on loamy soil and cucumber plants

**Abstract.** Sodium lignosulfonate is a water-soluble by-product obtained by the sulfite method of cellulose production. In a model experiment, the authors investigated the effect of sodium lignosulfonate on certain agrochemical parameters of sod-podzolic loam soil and on the physiological parameters of cucumber plant development.

Sodium lignosulfonate was added to the soil in concentrations 0 %, 1 %, 2,5 %, 5 % and 10 % of the dry soil weight. The samples were incubated at a constant temperature (23 °C) and a constant humidity of 70 % for 90 days.

Adding lignosulfonate to the model soil in small concentrations (1 and 2.5 %) significantly increased the content of potassium (from 169.7 mg/kg in the control to 389.1–431.6 mg/kg, respectively) and exchange cations, but reduced the nitrogen content regardless of the dose. The concentration of Mg, CA and Na increased by 3.9...7.8 times, which had an alkalizing effect on the soil. At a concentration of 2.5 % lignosulfonate, the pH of the salt solution increased by 1.26 units. At the same time, the concentration of the buffer solution significantly increased, which was manifested in the physiological response of plants.

Lignosulfonate reduced the accumulation of plant biomass and proportion of roots in the total mass. With an increase in the concentration of lignosulfonate in the soil, the degree of inhibition of growth processes increased. Lignosulfonate did not affect the stomatal regime of leaves and transpiration losses of water, but it reduced the water content in the leaf depending on the concentration. Photosynthetic activity of plants was partially suppressed in conditions of high lignosulfonate content in the soil. Lignosulfonate did not enhance plant tolerance to low temperature.

**Keywords:** sodium lignosulfonate; loamy soil; photosynthesis; cucumber

## REFERENCES

1. Maksimov V.F., Stadnitskiy G.V. (1988). Vvedenie v spetsial'nost'. [*Introduction to the specialty.*] Leningrad: Chemistry, p. 168.
2. Osovskaya I.I., Kukharenko Yu.A., Kovzhina A.L., Poltoratskiy G.M. (2010). Lignosul'fonaty – dobavki v kompozitsii lakokrasochnykh materialov. [*Lignosulfonates – additives in the composition of paints and varnishes.*] Saint Petersburg: Saint Petersburg State Technological University of Plant Polymers, p. 36.
3. Lv T. (2017). Effects of Lignin on Root Activity and Soil Nutrients of Malushpehensis. var. pingyiensis under the Use of Organic Fertilizer. *Agricultural Sciences*, 5(8), pp. 341–350.



4. Savy D. (2017). Humic-like water-soluble lignins from giant reed (*Arundodonax L.*) display hormone-like activity on plant growth. *Journal of Plant Growth Regulation*, 4(36), pp. 995–1001.
5. Adam G.A. (2015). *Lignin-based multipurpose fertilizers: patent 9039803*. United States of America.
6. Martinez R.A.G. (2016). *Fertilizer having reduced biuret content: patent application 15110787*. United States of America.
7. Jiao G.J. (2018). Controlled-Release Fertilizer with Lignin Used to Trap Urea / Hydroxymethylurea / Urea-Formaldehyde Polymers. *BioResources*, 1(13), pp. 1711–1728.
8. Khabarov Yu.B., Veshnyakov V.A., Kuzyakov N.Yu. (2019). Obtaining and using complexes of lignosulfonic acids with iron cations. *Forest Journal*, 5, pp. 167–187. DOI: 10.17238/issn0536-1036. 2019.5.167 (in Russian).
9. Liu Q. (2019). Potassium lignosulfonate as a washing agent for remediating lead and copper co-contaminated soils. *Science of The Total Environment*, (658), pp. 836–842.
10. Kislyuk I.M., Vas'kovskiy M.D., Bubolo L.S., Paleeva T.V. (1983). The effect of temperature on the structure of leaves and photosynthesis of *Carex lugens* (Cyperaceae) and *Arctagrostis arundinacea* (Poaceae). *Botanical Journal*, (68), pp. 1325–1332 (in Russian).
11. Trunova T.I. (2007). *Rastenie i nizkotemperaturnyy stress. [Plant and low temperature stress.]* Moscow: Science, p. 54.
12. Ikkonen E.N., Shibaeva T.G., Titov A.F. (2015). Water use efficiency in *Cucumis sativus L.* in response to daily short – term temperature drop. *Journal of Agricultural Science*, 11(7), pp. 208–215.