

## ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ЛИГНИНА ГИДРОЛИЗНОГО ДЛЯ БИООБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

*О. А. Борис\**, *С. Ю. Петрова*, *Т. Н. Гомолко*, *М. В. Анисович*

Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,  
г. Минск, Республика Беларусь, \*e-mail: [olgaboris88@gmail.com](mailto:olgaboris88@gmail.com)

Поступила в редакцию 20.04.2017 г.

В статье представлены результаты изучения в лабораторных тест-моделях токсических эффектов воздействия лигнина гидролизного на кладки прудовика большого *Lymnaea stagnalis L.*, компостного червя *Eisenia foetida*, популяцию одноклеточных организмов *Tetrahymena pyriformis W.*, семена огурцов, редиса, овса. Полученные результаты в целом свидетельствуют о том, что исследованные отходы лигнина не оказывают существенного неблагоприятного воздействия на биотические элементы окружающей среды.

*Ключевые слова:* лигнин гидролизный, угнетение выклева, биотестирование, фитотоксичность, экотоксичность.

### ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно в мире образуется около 70 млн. тонн технических лигнинов, являющихся отходами биохимического производства и, в тоже время, ценным источником химического сырья. Лигнин гидролизный, образованный в результате работы РУП «Речицкий опытно-промышленный гидролизный завод» (Республика Беларусь), применяется для производства широкого спектра химической продукции - эмульгаторов и реагентов для буровых глинистых растворов, суперпластификаторов для бетона, сорбентов разлитых нефтепродуктов и т.д.

Лигнин гидролизный представляет собой биополимер, образующийся в процессе гидролиза древесины или другого растительного сырья, в результате обработки исходного сырья концентрированной соляной или серной кислотой при температуре 180-185°C и давлении 1216-1418 кПа. При этом происходит деструкция природного лигнина, сопровождающаяся изменением химического состава, дисперсности, влажности и других характеристик исходного материала и образованием устойчивого конечного продукта – гидролизного лигнина. Его выход при гидролизе составляет около 30% от массы древесины. Это сложный, нерегулярно построенный, стойкий к разложению высокомолекулярный полимер, с разветвленными макромолекулами, растворимый в воде и органических растворителях, конгломерат различных химических веществ –

природного лигнина, полисахаридов, смол, жиров, восков, минеральных и органических добавок.

Получаемый на заводах технический гидролизный лигнин обычно сильно загрязнен различными примесями и не идентичен по своему химическому строению. В природных водах лигнин разрушается примерно через 200 суток. При разложении лигнина появляются токсичные низкомолекулярные продукты распада (фенолы, метанол, карбоновые кислоты). Растворимые в воде лигнины – лигнинные вещества. Токсическое действие лигнинных веществ установлено на ряде таких тест-объектов, как дафнии, рыбы, водные растения. Цитогенетическая активность различных лигнинных веществ выявлена в экспериментах на белых крысах, байкальских эндемичных моллюсках и растениях [1].

В литературе [2] приводятся данные о снижении токсичности гидролизного лигнина при уменьшении его молекулярной массы и увеличении суммарного содержания карбоксильных и фенольных гидроксильных групп.

Присутствие примесей солей тяжелых металлов может иметь определяющее значение в формировании токсичности лигнина. Для гидробионтов и семян высших растений биодоступными являются формы соединений тяжелых металлов, способные мигрировать в водную среду – их содержание в вытяжке и определяет потенциальную токсичность образца. Почвенные олигохеты *Eisenia foetida* поглощают тяжелые металлы в подвижной и неподвижной формах, их токсичность зависит от концентрации, а также рН и ионной силы почвенного раствора [3].

В республиканском унитарном предприятии «Научно-практический центр гигиены» накоплен определенный опыт исследований по определению токсичности отходов лигнина действующих производств на гидробионтах и семенах растений. В результате этих исследований выявлено, что степень токсичности варьирует в зависимости от химического состава и свежести лигнина. Например, проба свежего лигнина, отобранного на Бобруйском гидролизном заводе, в исследованиях на *Tetrahymena pyriformis* W. проявляет высокий уровень токсичности (2 класс опасности), в то время как пробы складированного лигнина, отобранные с горизонтальных уровней разной глубины характеризуются как умеренно токсичные (3 класс опасности) и малотоксичные (4 класс опасности) [4].

Целью настоящей работы является определение степени токсичности гидролизного лигнина для биообъектов окружающей среды после его длительного хранения на открытом полигоне, а также сравнительный анализ чувствительности используемых тест-систем. В результате многолетнего хранения неизбежна деструкция полимерных молекул лигнина, что может отразиться на его токсических свойствах.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Учитывая то, что лигнин гидролизный является отходом производства, в работе проводилось его изучение и оценка по системе оценки экотоксичности

отходов, с использованием утвержденных методов и критериев отнесения к классам опасности отходов [5].

В работе исследовали три образца отходов лигнина гидролизного речичского, отобранных из верхнего 0-5 м, среднего 5-10 м и нижнего 10-15 м горизонтов отвалов. Отходы лигнина образовались в процессе гидролиза древесины и другого растительного сырья в результате функционирования РУП «Речицкий опытно-промышленный гидролизный завод» и последующего хранения на протяжении более 6 лет после ликвидации предприятия.

Исследование экотоксичности лигнина проводили в лабораторных условиях в экспериментах с использованием тест-объектов различных таксономических групп. Биотестированию подвергали образцы лигнина в нативном виде. В качестве тест-объектов использовали: семена огурцов сорта «Славянский», семена редиса сорта «Тарэра F<sub>1</sub>», семена овса, почвенные олигохеты *Eisenia foetida*, популяцию инфузорий *Tetrahymena pyriformis* W., кладки моллюсков – прудовика большого *Lymnaea stagnalis* L. [5]. Статистическую обработку данных проводили с помощью традиционных методов сравнительного анализа, линейной регрессионной модели и пробит-анализа. Измерение концентраций тяжелых металлов в водных вытяжках образцов лигнина, биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>), химического потребления кислорода (ХПК) образцов лигнина проводили в соответствии с методом [5].

Исследования на *Tetrahymena pyriformis* W. проводили в остром, подостром и хроническом экспериментах. В остром и подостром экспериментах лигнин изучали на популяции в стационарной фазе роста в диапазоне концентраций 10 – 500 мг/мл. Пробы инкубировали при 25°C в течение 3 часов (острый эксперимент), в течение 24 часов (подострый эксперимент). Токсичность оценивали по параметрам летальности. В хроническом эксперименте диапазон концентраций охватывал токсичные, пороговые и малые дозы: от 10<sup>-6</sup> мг/мл до 100 мг/мл. Пробы инкубировали при 25°C в течение 96 часов. По результатам хронического эксперимента, кроме показателей летальности, определяли показатели, характеризующие закономерности роста популяций (скорость роста, время генерации, число поколений, численность популяции), а также коэффициент адаптогенности по численности популяции, кислотную резистентность, позволяющую судить о мембранотоксическом действии образцов, мутагенную активность образцов.

Коэффициент адаптогенности отражает адаптационные изменения в организме и определяется количественной оценкой колебаний численности популяции на протяжении первого (24-96 часов), седьмого (312-384 часов) жизненных циклов и в логарифмической фазе роста (48-336 часов). Коэффициент адаптогенности рассчитывали как отношение численности организмов в опыте к численности организмов в контроле. Кислотную резистентность определяли как количество 0,02 N раствора серной кислоты, которое необходимо для обездвиживания 1 мл взвеси инфузорий, и выражали в процентах относительно контроля. Реакцию на мутагенность определяли по наличию выживших организмов после инкубации в аллиловом спирте, при

добавлении которого исходный штамм *Tetrahymena pyriformis* W. погибает за 12 часов.

При изучении фитотоксичности из лигнина получали нативный экстракт при соотношении массы образца и объема дистиллированной воды 1 г : 10 мл, экспозиции в течение 3 суток при комнатной температуре  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ . Семена высевали по 25 штук в чашки Петри, добавляя нативный экстракт из исследуемых образцов в объеме 15 мл. Чашки инкубировали в течение 7 суток при температуре  $+24^\circ\text{C}$ , относительной влажности воздуха 50-70%, в отсутствии света. Измеряли длину корешков проростков по корню максимальной длины. Определяли среднее значение длины корней ( $L$ ) из трех повторностей на каждой культуре семян в опыте и контроле. Сравнивали  $L_{OP}$  и  $L_K$  между собой и определяли эффект торможения ( $E_T$ ) по формуле:

$$E_T = (L_K - L_{OP}) / L_K \times 100\%.$$

При оценке считается, что отходы оказывают фитотоксическое действие при  $E_T \geq 20\%$  хотя бы в одной из культур семян.

Изучение токсичности лигнина в тест-модели *Eisenia foetida* проводили в ходе острого эксперимента. Тест-объект – генетически однородная лабораторная популяция дождевого червя вида *Eisenia foetida*. В эксперименте использовали 7 особей массой 200-400 мг на 600 г модельной среды, содержащей образцы лигнина в концентрациях: 100,0 г/кг, 500,0 г/кг, 1000,0 г/кг. Экспериментальные контейнеры инкубировали при комнатной температуре на протяжении 14 суток. Критериями токсичности лигнина служили: гибель животных, оцениваемая по значению средней летальной концентрации, а также статистически достоверное снижение прироста коллумелярного веса (мг/особь) в опытной группе по сравнению с контролем. Также учитывали изменения поведенческих реакций животных по сравнению с контрольной группой и видимые морфологические изменения тела.

При изучении эмбриотоксичности лигнина использовали синхронизированные кладки *Lymnaea stagnalis* L. в стадии гаструлы. Тестировали следующие концентрации образцов лигнина: 500,0 мг/мл, 300,0 мг/мл, 100,0 мг/мл, 50,0 мг/мл. Использовали отрицательный контроль с отстоянной водопроводной водой. Каждую кладку делили на пять приблизительно равных частей, которые случайным образом расформировывали на одну контрольную и четыре опытных группы, и помещали в экспериментальную посуду. Подсчитывали изначальное количество зародышевых капсул в каждой чашке и заливали исследуемыми растворами по 10 мл. Проводили 17-ти суточную инкубацию чашек при комнатной температуре, естественном фотопериоде, до полного выклева. По окончании эксперимента подсчитывали количество погибших эмбрионов и выклюнувшейся молодежи. Рассчитывали показатель успешного выклева, выраженный как отношение количества выклюнувшихся особей к исходному количеству зародышевых капсул. В результате эксперимента в тест-модели *Lymnaea stagnalis* L. оценивали эффект угнетения выклева, который рассчитывали на основании усредненного из трех повторностей показателя

успешного выклева для каждой концентрации относительно контроля по формуле:

$$\text{Угнетение выклева} = (K - O) / K \times 100\%,$$

где  $K$  – % успешного выклева в контроле,  $O$  – % успешного выклева в опыте.

При расчете усредненного показателя успешного выклева из трех повторностей учитывали значение коэффициента вариации – процент стандартного отклонения от среднего арифметического – которое не должно превышать 30.

Угнетение выклева – это эмбриотоксический эффект, характеризующий степень снижения выклева молоди в опыте относительно контроля. Опасность отходов лигнина в отношении эмбриотоксичности на кладках *Lymnaea stagnalis* L. оценивали по показателям: средне-эффективная концентрация ( $EC_{50}$ ); пороговая концентрация ( $EC_{15}$ );  $EC_{50}/EC_{15}$  – показатель, характеризующий зону острого действия.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из таблицы 1, в водную среду из проб лигнина мигрирует небольшое количество цинка, хрома и меди, не превышающее или незначительно превышающее предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (далее ПДКв).

**Таблица 1.** Миграция тяжелых металлов из образцов лигнина гидролизного разных уровней залегания

Химический элемент	Величина ПДКв, мг/л	Концентрация в водной вытяжке, мг/л		
		лигнин с глубины 0-5 м	лигнин с глубины 5-10 м	лигнин с глубины 10-15 м
никель	0,1	н.о.	н.о.	н.о.
кадмий	0,001	н.о.	н.о.	н.о.
свинец	0,03	н.о.	н.о.	н.о.
медь	1,0	0,006	н.о.	н.о.
цинк	1,0	1,830	0,869	0,112
хром общий	0,5 хром <sup>3+</sup> 0,05 хром <sup>6+</sup>	0,031	0,033	0,029

*Примечание:* н.о. – элемент не обнаружен в пределах чувствительности данного метода

Установлены невысокие значения показателя ХПК в образцах лигнина (табл. 2), что свидетельствует о незначительном уровне содержания окисляющихся веществ в образцах. Нужно отметить также, что исследованный нами лигнин содержит мало органических соединений, способных окисляться, о чем свидетельствуют значения показателя БПК<sub>5</sub>.

**Таблица 2.** Показатели ХПК и БПК<sub>5</sub> образцов лигнина гидролизного разных уровней залегания

Определяемый показатель	Результаты исследований, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>		
	лигнин с глубины 0-5 м	лигнин с глубины 5-10 м	лигнин с глубины 10-15 м
ХПК	170,0	220,2	150,5
БПК <sub>5</sub>	5,12	3,90	2,12

Результаты химического анализа лигнина не выявили предпосылок для проявления высокой степени токсичности в биотестах. Об этом свидетельствует невысокое содержание подвижных форм тяжелых металлов и низкие значения ХПК и БПК<sub>5</sub>.

В остром и подостром экспериментах на *Tetrahymena pyriformis* W. при концентрациях образцов лигнина 50-500 мг/мл наблюдались изменения формы тела и характера движения инфузорий, появились мертвые особи. Значения ЛД<sub>50</sub> образцов лигнина из верхнего и среднего горизонтов составили  $533,3 \pm 0,39$  мг/мл и  $469,9 \pm 0,36$  мг/мл, соответственно, что характеризует их невысокий уровень токсичности – 4 класс опасности отходов (малоопасные). Образец лигнина из нижнего горизонта обладает еще менее выраженной токсичностью – значение ЛД<sub>50</sub> составляет  $1294,2 \pm 6,30$  мг/мл, что также относит его к 4 классу опасности отходов (малоопасные).

В хроническом эксперименте на *Tetrahymena pyriformis* W. лигнин всех слоев, начиная с концентраций  $10^{-3}$  мг/мл –  $10^{-4}$  мг/мл, оказывал угнетающее действие на рост и жизненные функции популяции на протяжении всего жизненного цикла, что привело к снижению численности популяции по отношению к контролю. По результатам хронического эксперимента на инфузориях, максимальная недеятельная доза образцов лигнина из верхнего и среднего горизонтов составила  $10^{-1}$  мг/мл, из нижнего горизонта –  $10^0$  мг/мл. Данные свидетельствуют о том, что все три образца лигнина малотоксичны для инфузорий.

Биологическое действие образцов лигнина на популяцию тест-объекта выражалось в незначительном повышении адаптационных возможностей популяции по сравнению с контролем в пробах, содержащих образцы лигнина в концентрациях  $10^{-5}$  мг/мл –  $10^{-1}$  мг/мл. В пробах, содержащих образцы лигнина в концентрациях 1 – 100 мг/мл, было отмечено снижение адаптационных возможностей популяции.

Образцы лигнина, присутствующие в среде культивирования *Tetrahymena pyriformis* W. не проявили мутагенной активности, при этом снизили устойчивость клеточных мембран инфузорий к неблагоприятным воздействиям внешней среды по сравнению с контролем на 20-30%, начиная с концентрации  $10^0$  мг/мл (табл. 3).

**Таблица 3.** Биологическое действие образцов лигнина гидролизного на популяцию *Tetrahymena pyriformis* W.

Концентрация, мг/мл	Коэффициент адаптогенности, $M \pm m$	Кислотная резистентность, %	Реакция на мутагенность
лигнин с глубины 0-5 м			
Контроль	1,00 ± 0,04	100	Отрицательная
10 <sup>-5</sup>	1,25 ± 0,01*	90	Отрицательная
10 <sup>-4</sup>	1,16 ± 0,00*	90	Отрицательная
10 <sup>-3</sup>	1,08 ± 0,01	90	Отрицательная
10 <sup>-2</sup>	1,15 ± 0,00	80	Отрицательная
10 <sup>-1</sup>	1,18 ± 0,00*	90	Отрицательная
10 <sup>0</sup>	0,95 ± 0,01*	80	Отрицательная
10	0,89 ± 0,00*	80	Отрицательная
100	0,88 ± 0,02*	80	Отрицательная
лигнин с глубины 5-10 м			
Контроль	1,00 ± 0,04	100	Отрицательная
10 <sup>-5</sup>	1,31 ± 0,00*	90	Отрицательная
10 <sup>-4</sup>	1,21 ± 0,00*	90	Отрицательная
10 <sup>-3</sup>	1,25 ± 0,01	90	Отрицательная
10 <sup>-2</sup>	1,06 ± 0,02	90	Отрицательная
10 <sup>-1</sup>	1,01 ± 0,00*	90	Отрицательная
10 <sup>0</sup>	0,96 ± 0,01	80	Отрицательная
10	0,73 ± 0,00	70	Отрицательная
100	0,71 ± 0,00*	70	Отрицательная
лигнин с глубины 10-15 м			
Контроль	1,00 ± 0,04	100	Отрицательная
10 <sup>-5</sup>	1,10 ± 0,00*	90	Отрицательная
10 <sup>-4</sup>	1,08 ± 0,02*	90	Отрицательная
10 <sup>-3</sup>	1,05 ± 0,00*	90	Отрицательная
10 <sup>-2</sup>	1,01 ± 0,00*	90	Отрицательная
10 <sup>-1</sup>	1,03 ± 0,01*	90	Отрицательная
10 <sup>0</sup>	1,02 ± 0,00	90	Отрицательная
10	0,91 ± 0,00	70	Отрицательная
100	0,89 ± 0,00*	80	Отрицательная

Примечание: \* – достоверность различий с контролем при  $p \leq 0,05$

Результаты исследований лигнина гидролизного на фитотоксичность представлены в таблице 4.

Оценка влияния образцов гидролизного лигнина на прорастание семян показала отсутствие токсичности всех исследованных образцов. При действии нативных экстрактов образцов лигнина на семена, отмечены эффекты торможения развития корешков проростков редиса, огурцов и овса, которые не достигают порога фитотоксичности, равного 20%. При этом наибольшую чувствительность проявляли семена огурцов и овса. Таким образом, оценивая фитотоксичность отходов лигнина гидролизного, все три образца можно отнести к неопасным по степени опасности отходов для окружающей природной среды.

**Таблица 4.** Результаты изучения фитотоксичности лигнина

Проба	Тест-культура (семена)	Средняя длина корней проростков, $L_{cp}$ . (мм)	Тест-реакция	Эффект торможения, $E_T$ (%)
контроль	Редис	5,19	норма	-
	Огурцы	7,87	норма	-
	Овес	7,56	норма	-
лигнин с глубины 0-5 м	Редис	4,89	норма	5,78 %
	Огурцы	6,79	норма	13,72 %
	Овес	6,92	норма	8,46 %
лигнин с глубины 5-10 м	Редис	4,92	норма	5,20 %
	Огурцы	6,98	норма	11,31 %
	Овес	6,22	норма	17,72 %
лигнин с глубины 10-15 м	Редис	4,98	норма	4,05 %
	Огурцы	6,67	норма	15,25 %
	Овес	6,16	норма	18,52 %

Результаты исследований токсичности лигнина на *Eisenia foetida* показали отсутствие гибели животных на протяжении 14 суток при действии всех изученных концентраций образцов лигнина: 100,0 г/кг, 500,0 г/кг, 1000,0 г/кг. Выживаемость в контроле также составила 100%. На протяжении всего эксперимента при действии максимально насыщенной концентрации образцов лигнина (1000,0 г/кг) отсутствовали проявления токсических эффектов в виде достоверного снижения прироста коллумелярного веса при  $p < 0,05$  (табл. 5), проявления патологических поведенческих реакций и видимых морфологических изменений организмов животных.

**Таблица 5.** Влияние образцов лигнина на динамику коллумелярного веса *Eisenia foetida* при экспозиции 14 суток

№ повторности	Прирост коллумелярного веса			
	контроль	лигнин с глубины 0-5 м	лигнин с глубины 5-10 м	лигнин с глубины 10-15 м
1	14	21	20	12
2	19	15	15	17
3	14	16	15	19
4	20	17	12	16
Me* (25%;75% квантили)	16,5 (14,0; 19,5)	16,5 (15,5; 19,0) $p = 0,56$	15,0 (13,5; 17,5) $p = 0,88$	16,5 (14,0; 18,0) $p = 0,66$

Примечание: \* Me – медиана

По результатам оценки токсичности образцов лигнина на *Eisenia foetida*, их можно отнести к неопасным по степени опасности отходов для окружающей природной среды.

В результате исследований эмбриотоксичности на кладках *Lymnaea stagnalis* L. отмечено равнозначное влияние проб лигнина с разных горизонтов на угнетение выклева. Выявлен дозозависимый эффект угнетения выклева

моллюсков при действии растворов концентраций 500,0 мг/мл, 300,0 мг/мл, 100,0 мг/мл, 50,0 мг/мл (табл. 6).

**Таблица 6.** Результаты эмбриотоксического действия образцов лигнина на кладках *Lymnaea stagnalis* L. (анализ усредненных из трех повторностей данных)

Концентрация (мг/мл)	Успешный выклев, %	Коэффициент вариации	Угнетение выклева, %
Контроль	85,55	5,77	-
лигнин с глубины 0-5 м			
50,0 мг/мл	83,27	7,37	2,67
100,0 мг/мл	77,41	5,75	9,51
300,0 мг/мл	37,09	16,27	56,65
500,0 мг/мл	12,41	30,0	85,50
лигнин с глубины 5-10 м			
50,0 мг/мл	80,22	7,71	6,24
100,0 мг/мл	75,08	5,8	12,24
300,0 мг/мл	36,50	30,0	57,33
500,0 мг/мл	9,77	29,1	88,58
лигнин с глубины 10-15 м			
50,0 мг/мл	81,69	4,92	4,52
100,0 мг/мл	72,33	0,96	15,45
300,0 мг/мл	30,47	22,5	64,39
500,0 мг/мл	8,64	13,5	89,90

На основании полученных данных рассчитаны параметры эмбриотоксичности образцов лигнина, анализ которых позволяет отнести их к 4-му классу опасности отходов (малоопасные) (табл. 7).

**Таблица 7.** Параметры эмбриотоксичности образцов лигнина на кладках *Lymnaea stagnalis* L.

Показатель	Результат		
	лигнин с глубины 0-5 м	лигнин с глубины 5-10 м	лигнин с глубины 10-15 м
Средне-эффективная концентрация (EC <sub>50</sub> ), мг/мл	314,62 ± 0,034	295,62 ± 0,044	279,31 ± 0,039
Пороговая концентрация (EC <sub>15</sub> ), мг/мл	143,64	108,34	111,25
EC <sub>50</sub> /EC <sub>15</sub>	2,19	2,73	2,51

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты лабораторных экспериментов по изучению токсичности отходов лигнина гидролизного речичного в отношении *Tetrahymena pyriformis* W. демонстрируют дозозависимый эффект летальности при внесении разных концентраций образцов лигнина. По результатам токсикологической оценки на

инфузориях *Tetrahymena pyriformis* W. и изучения эмбриотоксичности на моллюсках *Lymnaea stagnalis* L. образцы отходов лигнина отнесены к 4 классу опасности (малоопасные). При действии лигнина на семена редиса, огурцов и овса отмечены эффекты торможения развития корешков проростков, однако они недостаточно выражены, чтобы считать лигнин фитотоксичным. Оценка результатов изучения токсичности отходов лигнина речичского для червей *Eisenia foetida* в остром эксперименте выявляет полное отсутствие токсических эффектов даже при действии максимальной концентрации лигнина. Очевидно, что тест-системы с гидробионтами более чувствительны к негативному влиянию лигнина, чем фитотест и тест-системы с представителями почвенных беспозвоночных. Экотоксикологический ответ тест-системы *Lymnaea stagnalis* L. определяется воздействием на эмбриональные стадии развития организма. Повышенная чувствительность тест-модели *Tetrahymena pyriformis* W. обусловлена воздействием на процессы клеточного деления и роста в ряду поколений, приводящим к снижению численности популяции.

Таким образом, в целом можно охарактеризовать отходы лигнина гидролизного речичского, как не оказывающие существенного неблагоприятного воздействия на биотические элементы окружающей среды.

Список литературы:

1. Леонтьева О.А., Семенов Д.В. // Успехи соврем. биологии. 1997. Т. 117. № 6. С. 726.
2. Яковлева Ю.Н. Дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2005.
3. Стом Д.И., Казаринова Т.Ф., Титов И.Н. Дождевые черви в переработке отходов. Иркутск: Изд. ИГУ, 2012. 111 с.
4. Котеленец А.И., Войтович А.М., Наджарян Л.А. // Санитария и гигиена. 2007. № 2. С. 70.
5. Инструкция № 044-1215. Метод экспериментального определения токсичности отходов производства: утв. постановлением Гл. гос. врача Респ. Беларусь от 07.04.2016. Минск, 2015. 56 с.

---

## EVALUATION OF TOXICITY OF HYDROLYZED LIGNIN FOR BIOLOGICAL AGENTS OF ENVIRONMENT

*O. A. Boris\*, S. Yu. Petrova, T. N. Gomolko, and M. V. Anisovich*

Republican Unitary Enterprise “Scientific and Practical Centre of Hygiene”, Minsk, Republic of Belarus, \*e-mail: olgaboris88@gmail.com

Received April 20, 2017

**Abstract** – The paper deals with the results of studying toxic effects of hydrolyzed lignin on laboratory test models, i.e. egg masses of the great pond snail *Lymnaea stagnalis* L., earthworm *Eisenia foetida*, population of single-celled organism *Tetrahymena pyriformis* W., as well as seeds of cucumber, radish, and oats. Overall, the obtained results show that the studied wastes of lignin have little adverse effect on the biotic elements of the environment.

**Keywords:** hydrolyzed lignin, suppression of hatching, biotesting, phytotoxicity, environmental toxicity.