

УДК 628.356.64

***Е.Н. Косарева, Н.И. Богданович***

Косарева Елена Николаевна родилась в 1977 г., окончила в 1999 г. Поморский государственный университет, аспирант кафедры лесохимических производств Архангельского государственного технического университета. Имеет 5 печатных работ в области биотехнологии.



Богданович Николай Иванович родился в 1943 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой лесохимических производств Архангельского государственного технического университета, заслуженный работник высшей школы РФ. Имеет более 260 печатных трудов в области изучения пиролиза древесины и отходов ее химической и механической переработки с получением адсорбентов для очистки сточных вод и газовых выбросов, а также адсорбционных методов очистки сточных вод и переработки осадков.



**ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СТОЧНЫХ ВОД  
ПОСРЕДСТВОМ МЕТОДОВ БИОТЕСТИРОВАНИЯ  
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЦБП\***

Рассмотрены актуальные вопросы интегральной оценки загрязнения сточных вод ЦБП, особенности водного законодательства России в сравнении с развитыми странами; приведены методы биотестирования на предприятиях ЦБП.

*Ключевые слова:* токсичность, биотестирование, экотоксикологический контроль, тест-организмы.

В настоящее время в лабораториях ведущих стран мира методами аналитической химии может быть идентифицировано 5 ... 25 % всех органических веществ, попадающих в водоемы со сточными водами. Несмотря на постоянно растущее число химических веществ, используемых в производственных циклах и, соответственно, попадающих в поверхностные воды со сточными водами, в странах Западной Европы и Скандинавии в природных водных экосистемах регулярно контролируется только 30–40 показателей химического загрязнения [11].

В России наиболее технически оснащенные лаборатории, осуществляющие экоаналитический контроль вод, могут определять около 100 гидрхимических компонентов (т.е. имеют методики, средства измерений на их определение и др.), однако определяют, как правило, не более 25 показателей загрязнения из-за высокой стоимости анализов, плохой обеспеченности кадрами и т.д.

---

\* Настоящая статья является первой публикацией по данной проблеме.

Действующая в России система установления нормативов на предельно допустимые сбросы (ПДС) индивидуальных загрязняющих веществ предполагает необходимость контроля всех присутствующих в сточных водах веществ. Расчет ПДС производят с учетом предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ. Для водоемов питьевого и культурно-бытового назначения установлены ПДК более 1625 загрязняющих веществ, для водоемов рыбохозяйственного назначения — более 1050 [18], но и этого количества явно недостаточно для полного контроля за сбросом загрязняющих веществ, особенно органических, у большей части которых имеются гомологи и изомеры. Попадая в окружающую среду, химические вещества непрерывно изменяют свой состав под влиянием солнечной радиации, биохимического окисления, взаимодействия друг с другом.

В сточных водах, кроме установленных веществ, могут присутствовать не только компоненты, которые непосредственно используют в технологии производства, но и сопутствующие промежуточные продукты, а также вещества:

а) образующиеся в процессе ферментативного биохимического окисления при биологической очистке и, следовательно, имеющие неизвестную химическую структуру;

б) с известной химической структурой, но не обнаруживаемые из-за отсутствия подходящих аналитических методов (характерно для подавляющего большинства органических соединений);

в) для которых существует соответствующая аналитическая техника, но она не обладает достаточной селективностью, из-за чего результат анализа может быть неправильным или сомнительным (эффект матрицы сточных вод).

Таким образом, существующая методология нормирования и аналитического контроля за составом сточных вод не отвечает современным требованиям экологического контроля к загрязнению окружающей среды, поскольку охватывает лишь незначительную часть реально присутствующих в сточной воде загрязняющих веществ; не учитывает вредность их комплексного воздействия на процессы самоочищения водоемов; достоверно обнаруживает только часть известных веществ, содержащихся в сточных водах; регулярно контролирует в сбросах незначительную долю обнаруживаемых аналитическими методами веществ; не выявляет эффектов синергизма и антагонизма химических соединений, присутствующих в сточных и большинстве природных вод.

Сложность аналитического контроля заключается не только в том, что с его помощью трудно контролировать основную долю присутствующих в исследуемой среде загрязняющих веществ (необходимо иметь эталоны всех гомологов и изомеров и дорогое аналитическое оборудование), но также в том, что необходимо работать с чрезвычайно малыми концентрациями веществ, так как в большинстве случаев их ПДК составляют  $10^{-3} \dots 10^{-2}$  мг/дм<sup>3</sup>. Подготовка пробы к гидрохимическому анализу для целого ряда веществ предполагает продолжительные и многоступенчатые процедуры

(растворение, концентрирование, экстракция), при этом потери могут значительно превышать результаты анализа.

Состояние методического и приборного обеспечения гидрохимического контроля в России в настоящее время крайне неудовлетворительно. Переход к более надежному экологическому контролю качества окружающей среды возможен только при условии расширения перечня измеряемых обобщенных и групповых показателей загрязнения, обязательного использования методов биотестирования и необходимого приборного обеспечения лабораторий современными надежными средствами быстрой идентификации токсичных веществ.

До 1980-х годов во всем мире доминировал гидрохимический мониторинг качества вод, однако в настоящее время зарубежными специалистами в области охраны природы признана несостоятельность химического контроля в части предоставления совершенной и полной информации о качестве водных систем [21].

В развитых странах контроль качества вод, кроме гидрохимических определений, предусматривает проверку каждой пробы на токсичность. Этот показатель как норматив при контроле сточных вод и выдаче разрешений на их сброс в природные водоемы применяют такие страны, как Австралия, Бельгия, Бразилия, Великобритания, Германия, Дания, Ирландия, Франция, Канада, Нидерланды, Норвегия, США, Швейцария, Швеция, Япония [11].

Несмотря на то, что в отдельных территориальных лабораториях РФ уже имеется более чем двадцатилетняя практика биотестирования природных и сточных вод, однако при осуществлении производственного и государственного контроля за соблюдением нормативов качества водной среды до настоящего времени традиционно недооценивается необходимость проведения токсикологического контроля в дополнение к гидрохимическому. Государственной стратегией РФ в области охраны окружающей среды и обеспечения устойчивого развития, утвержденной Указом Президента РФ от 4 февраля 1994 г. № 236, определена необходимость перехода при оценке качества окружающей среды от количественного нормирования к нормированию по экосистемным признакам с учетом влияния загрязнения на самое чувствительное звено экологической системы. Использование для этого показателей биотестирования как показателей оперативной интегральной диагностики трудно переоценить.

На фоне широко представленной отечественной и зарубежной научной литературы по водной токсикологии публикации о порядке осуществления экотоксикологического и производственного контроля за качеством вод малочисленны.

Впервые термин «экоаналитическая химия» применительно к контролю за объектами окружающей среды был употреблен в монографии [12]. После его преобразования в термин «экоаналитический контроль» его стали широко использовать в нормативной и методической терминологии природоохранных органов России для обозначения системы мероприятий по вы-

явлению и оценке источников и уровня загрязненности природных объектов загрязняющими веществами в результате их сбросов (выбросов) в окружающую среду природопользователями [17]. В развитие этой терминологии нам представляется корректным употребление понятия «экотоксикологический контроль» для обозначения системы слежения за источниками поступления токсичных веществ в окружающую среду.

*Токсичность* – это степень проявления ядовитого действия разнообразных соединений и их смесей, которые повреждают, ингибируют, стрессируют, вызывают генетические изменения или убивают организмы в воде, почве и воздухе [11]. Это один из важнейших факторов, определяющих качество воды, достаточно информативный, существенно дополняющий представление о степени опасности или безопасности воды при ее использовании, являющийся необходимой составной частью стандартного анализа комплексной системы контроля. Токсичность определяют методами лабораторного биотестирования – по тест-реакциям организмов, культивируемых в искусственно поддерживаемых стандартных условиях. Токсичность, устанавливаемая методами биотестирования, является интегральным показателем загрязнения природных сред. Как и все интегральные показатели, она имеет недостаток: не раскрывает загрязняющие вещества, присутствующие в пробе.

За *критерий токсичности* принимают достоверное количественное значение тест-параметра, на основании которого делается вывод о токсичности сточной воды или вещества. Среди тест-параметров наиболее часто используют смертность, выживаемость, плодовитость, подавление ферментативной активности тест-организмов. В результате процедуры лабораторного биотестирования при использовании классических методов устанавливают острую или хроническую токсичность исследуемой воды в экспериментах различной продолжительности.

*Острый опыт* – краткосрочная процедура биотестирования (с установленной в каждой методике продолжительностью экспозиции), определяющая острую токсичность исследуемой воды по выживаемости (смертности) тест-объектов. Острая токсичность наступает в том случае, если интенсивность воздействующего агента велика настолько, что компенсаторная и адаптационная реакции организма не успевают проявиться и он гибнет.

*Хронический опыт* – долговременная процедура биотестирования, определяющая хроническую токсичность исследуемой воды по статистически достоверному отклонению плодовитости тест-объектов от контроля. Результаты экспериментов по определению хронической токсичности отвечают на вопрос: обеспечит ли сохранность вида изменившаяся под влиянием исследуемых сточных вод плодовитость гидробионтов.

На основании проведенных нами экспериментов установлены кратность разбавления исследуемой воды, при которой наступает 50 %-ая гибель тест-организмов, и безвредная (недействующая) концентрация вещества или безвредная кратность разбавления исследуемой воды, при которой гибель организмов не превышает таковую в контроле. Данные о хронической ток-

сичности получают в длительном эксперименте, в котором также устанавливают безвредное разбавление.

В большинстве исследований результаты биотестирования совпадают с данными гидрохимического анализа. Нами протестированы [11] условно чистые воды (УЧВ) ОАО «Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат» (гидрохимические показатели не имеют отклонений от нормы, по результатам биотестирования исследуемая вода не оказывает ни острого, ни хронического токсического действия на тест-объекты (табл. 1, табл. 2, I квартал). Совпадение наиболее вероятно, если контролем учтена основная

Таблица 1

Результаты химического анализа УЧВ ОАО АЦБК

| Показатель   | Численное значение показателя     |
|--|-----------------------------------|
| pH, мг/дм <sup>3</sup>   | 7,4 / 7,5                         |
| Растворенный кислород, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>       | 7,2 / 7,1                         |
| ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>                         | 93 ± 19 / 90 ± 16                 |
| Взвешенные вещества при температуре 105 °С, мг/дм <sup>3</sup> | 51 ± 5 / 53 ± 4                   |
| Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>                              | 0,19 ± 0,08 / 0,23 ± 0,06         |
| Азот аммонийный, мг/дм <sup>3</sup>                            | 1,7 ± 0,4 / 1,6 ± 0,2             |
| Азот нитритный, мг/дм <sup>3</sup>                             | 0,0071 ± 0,0024 / 0,0084 ± 0,0041 |
| Азот нитратный, мг/дм <sup>3</sup>                             | 0,210 ± 0,011 / 0,230 ± 0,014     |
| Лигнин сульфатный, мг/дм <sup>3</sup>                          | 18 ± 5 / 19 ± 4                   |
| Метанол, мг/дм <sup>3</sup>                                    | 0,24 ± 0,05 / 0,20 ± 0,04         |
| Формальдегид, мг/дм <sup>3</sup>                               | <0,025 / <0,025                   |
| Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>                                    | 23,2 ± 2,3 / 25,1 ± 2,3           |
| Формальдегид, мг/дм <sup>3</sup>                               | <0,025 / <0,025                   |

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, в числителе приведены данные для I квартала, в знаменателе – для II.

Таблица 2

Результаты биотестирования УЧВ ОАО АЦБК

| Тест-объект | Параметр   | Численное значение параметра при степени разбавления воды |            |            |
|-------------|--|---|------------|------------|
|             |  | 1   | 2          | 4          |
| Водоросли   | Отклонение от контроля, %:<br>в остром опыте                     | <u>-6</u>   | <u>+2</u>  | <u>+9</u>  |
|             |  | -12   | -3         | +6         |
|             | в хроническом опыте  | <u>-10</u>  | <u>-6</u>  | <u>+3</u>  |
|             |  | -18   | -10        | -1         |
| Дафнии      | Количество выживших цериодафний, % к контролю:<br>в остром опыте | <u>100</u>  | <u>100</u> | <u>100</u> |
|             |  | 100   | 100        | 100        |
|             | в хроническом опыте  | <u>100</u>  | <u>100</u> | <u>100</u> |
|             |  | 100   | 100        | 100        |

|   |                 |                  |                 |
|---|-----------------|------------------|-----------------|
|   | 90              | 100              | 100             |
| Отклонение от контроля по плодовитости в хроническом опыте, % | $\frac{0}{-32}$ | $\frac{+2}{-10}$ | $\frac{-3}{-3}$ |

Примечание. Знак «-» – ингибирование, «+» – стимулирование.

масса гидрохимических веществ. Но могут быть и несоответствия результатов. Так, в табл. 1 за II квартал приведены данные гидрохимического анализа, характеризующие удовлетворительное качество сточных вод предприятия, в то время как по результатам биотестирования за этот же период (табл. 2) была выявлена их токсичность.

Как показал опыт на тест-объектах (водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. и цериодафнии *Ceriodaphnia affinis*), тестируемая вода не оказывает острого токсического действия (отклонение от контроля не превышает нормы: 20 %). Количество выживших цериодафний в остром и хроническом опытах так же соответствует контрольному варианту, но отклонение от контроля по плодовитости в хроническом опыте в сторону увеличения по сравнению с установленной нормой свидетельствует, что тестируемая вода может оказывать хроническое токсическое действие и должна быть отнесена к малотоксичной.

Несоответствие результатов биотестирования и гидрохимического анализа объясняется многими причинами. Например, в исследуемой воде могут присутствовать поллютанты, которые невозможно определить методами химического анализа или присутствие которых не предполагается и не измеряется и т.д. В этом случае при удовлетворительных гидрохимических результатах качества воды может быть выявлено наличие токсичности [15]. Несопоставимость данных может быть обусловлена эффектами синергизма и антагонизма химических соединений, присутствующих в сточных и природных водах. Ошибки определения при анализе токсичности вод должны быть сведены к минимуму, для чего регулярно (не реже одного раза в три месяца) необходимо контролировать чувствительность используемых тест-организмов к модельному («эталонному») токсиканту [1–9].

Результаты экотоксикологического контроля существенно дополняют данные гидрохимических анализов. При исследовании природных вод токсикологический контроль позволяет оценить состояние водоемов, выявить зоны максимального токсикологического загрязнения и, следовательно, определить состояние экосистемы в целом. Поиск вещества, вызывающего токсичность, всегда должен сопровождать токсикологический контроль, поскольку это позволит получать достоверный результат при оценке качества вод.

Какие вещества, присутствующие в исследуемой воде, ядовиты (токсичны) и в первую очередь должны привлекать внимание? Потенциально токсичные – вещества антропогенного происхождения, или промышленные поллютанты. Как правило, промышленные поллютанты более устойчивы к биодegradации, чем вещества природного происхождения, способны к

биоаккумуляции или накоплению в биологических объектах и биомагнификации, т.е. увеличению концентрирования на высших трофических уровнях. К потенциально токсичным веществам относятся тяжелые металлы, органические галогены, пестициды, инсектициды, гербициды, синтетические поверхностно-активные вещества, хлорированные растворители, полиароматические углеводороды и т.д.

Тяжелые металлы – наиболее распространенная группа токсичных трудноокисляемых загрязнений, присутствующих в сточных водах. В неочищенных сточных водах они представлены разнообразными химическими соединениями во взвешенной, коллоидной, растворенной и нерастворенной формах [10]. Токсичность соли металла зависит от токсичности как катиона, так и аниона [13]. Наиболее распространенные анионы, входящие в состав солей металлов в сточных водах предприятий ЦБП, – хлориды, нитраты и сульфаты – имеют примерно одинаковую токсичность, катионы металлов по своей токсичности значительно различаются. По ее убыванию их можно расположить в следующий ряд (Фрумин, 1995):  $Hg^{2+} > Cd^{2+} > Zn^{2+} > Cu^{2+} > Pb^{2+} > Ni^{2+} > Co^{2+} > Sn^{2+} > Ba^{2+} > Fe^{2+} > Mn^{2+} > Sr^{2+} > Mg^{2+} > Ca^{2+}$  [20]. Подобных рядов с противоречивыми данными о токсичности металлов достаточно много представлено в литературе, и эти противоречия объясняются тем, что авторы не всегда четко указывают соединения металлов, подвергающиеся исследованию на токсичность, которая может изменяться у различных соединений (табл. 3).

Токсичность неорганических соединений в порядке убывания можно представить следующим рядом: нитраты >хлориды >бромиды>ацетаты >иодиды > перхлораты>сульфаты >фосфаты >карбонаты >фториды >гидроксиды >оксиды [14].

Результаты лабораторных испытаний зависят от видовой специфики организмов, используемых для биотестирования. Естественно, что каждый вид имеет индивидуальную чувствительность и реакцию на воздействие

Таблица 3

**Ряды токсичности металлов для различных гидробионтов**

| Организм  | Ряд токсичности   |
|---|---|
| Инфузория (Трунова, 1979)   | Ag > Hg > Cu > Pb > Co > Cd                               |
| Водоросли (Nieboer, Richardson, 1980)                                   | Hg > Cu > Cd > Fe > Cr > Zn > Co > Mn                     |
| Фитопланктон, мезо- и эвтрофные озера Швейцарии (Gahter, Schweiz, 1976) | Hg > Cu > Cd > Zn > Pb                                    |
| Гетеротрофный планктон (Bossardetal, 1979)                              | Hg > Cu > Cd > (Zn Pb)                                    |
| Рыбы (Nieboer, Richardson, 1980)  | Ag > Hg > Cu > Pb > Cd > Al > Zn > Ni > Cr > Co > Mn > Sr |
| Рыбы (Skidmore, Firth, 1983)  | Cd > Hg > Cu > Zn > Pb > Ni > Cr                          |
| Дафнии (по данным нескольких авторов, обзоры Грушко 1979, Метелев)      |   |

|                                      |                                       |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| и др., 1971)                         | Ag > Cd > Hg > Cu > Pb > Ni > Cr > Zn |
| Ракообразные (Skidmore, Firth, 1983) | Hg > Cd > Cu > Zn > Pb > Co > Ni      |

Примечание. В скобках указаны фамилия автора, установившего токсичность, и год.

токсических веществ. Для исследовательских целей используют более сотни различных методов биотестирования, однако для практического применения этот список ограничен лишь несколькими. Основной принцип практического лабораторного биотестирования природных и сточных вод, реализуемый в развитых странах, – применение одновременно 3-4 методов с тест-организмами, представляющими разные трофические группы (бактерии, водоросли, беспозвоночные, рыбы). В России при осуществлении экотоксикологического контроля предложено использовать не менее двух стандартных методов биотестирования с тест-организмами из разных систематических групп (табл. 4).

Методики биотестирования выбраны таким образом, чтобы использовать гидробионтов не только из разных трофических уровней, важных для водных экосистем, но и обладающих различной чувствительностью к различным загрязнителям.

Результаты биотестирования можно использовать для принятия решений по сокращению сбросов загрязняющих веществ, выявления нарушений водного законодательства, проведения экологической экспертизы новых технологий, проектов по интенсификации очистки сточных вод. Промышленным предприятиям проведение токсикологического контроля позволяет сокращать затраты на природоохранные мероприятия за счет раннего выявления опасности сбрасываемых сточных вод и возможности осуществления селективного поиска наиболее опасных токсикантов, используемых при производстве продукции и попадающих в сточные воды. Контроль с помощью биотестирования дает возможность выявлять присут-

Таблица 4

#### Методы биотестирования, рекомендованные для экологического контроля

| Метод   | Область его применения  |
|---|---|
| Определение токсичности воды по жизнедеятельности дафний <i>Daphnia magna</i>   | Поверхностные, природные пресные, сточные и очищенные сточные, грунтовые, питьевые воды, водные вытяжки из почвы, донных осадков, отходов |
| Определение токсичности воды по жизнедеятельности цериодафний <i>Ceriodaphnia affinis</i>                               | То же   |
| Определение токсичности воды, почв и донных отложений по ферментативной активности лиофилизированных мутантных бактерий | Поверхностные, природные пресные, сточные и очищенные сточные, грунтовые, питьевые воды,  |

|  |  |
|--|--|
| <i>Escherichia coli</i>  | водные вытяжки из почвы и донных осадков                           |
| Определение токсичности воды по хемотаксической реакции инфузорий <i>Paramecium caudatum</i>   | То же  |
| Определение токсичности воды по ингибированию темпа роста водорослей <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i>        | Поверхностные, природные пресные, сточные и очищенные сточные воды |
| Определение токсичности воды по жизнедеятельности рыб <i>Poecilia reticulata</i> Peters или <i>Brachydanio rerio</i> Hamilton-Buchanan | То же  |

ствии токсичных веществ на уровне доз, оказывающих токсичное действие на живые организмы [16, 19].

В развитых странах (Германия, Дания, Ирландия, Нидерланды, Франция и др. [11]) при выдаче разрешения на сброс сточных вод в водные объекты предусмотрена последовательная и более обширная, чем в России, процедура предварительного комплексного изучения сточных вод на основании данных гидрохимических, токсикологических и биологических исследований.

Уровень достигнутых результатов по улучшению качества водоемов в этих странах за относительно короткий период (2–3 десятилетия) позволяет признать процедуру нормирования и контроля качества сбрасываемых сточных вод более совершенной, чем в России, и дает готовую, тщательно продуманную и отработанную систему предупреждения загрязнения водоемов и последовательного улучшения их качества.

Результаты биотестирования на токсичность оперативно сигнализируют об опасном воздействии химического загрязнения на жизнедеятельность водных организмов не только отдельных токсических веществ, но и их смесей, часто неизвестной природы и не выявляемых другими методами анализа. Таким образом, с помощью биотестирования может быть получена наиболее полная информация при минимальных затратах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8.207–76. ГСИ. Прямое измерение с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 48 с.
2. ГОСТ 17.1.1.01–77. Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 36 с.
3. ГОСТ 17.1.5.01–80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 36 с.
4. ГОСТ 8.001–80. ГСИ. Организация и порядок проведения государственных испытаний средств измерений [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 36 с.

5. ГОСТ 17.4.3.01–83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 40 с.
6. ГОСТ 15.1.5.05–85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 45 с.
7. ГОСТ 27065–86. Качество вод. Термины и определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 40 с.
8. ГОСТ 8.010–90. ГСИ. Методики выполнения измерений [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 55 с.
9. ГОСТ Р. 1997. Проект. Система аккредитации аналитических лабораторий [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 70 с.
10. Грушко, Я. М. Ядовитые металлы и их неорганические соединения в промышленных сточных водах [Текст] / Я.М. Грушко. – М.: Медицина, 1972. – С. 172–184.
11. Жмур, Н.С. Государственный и производственный контроль токсичности вод методами биотестирования в России [Текст] / Н.С. Жмур. – М.: Международный Дом Сотрудничества, 1997. – С. 6–19.
12. Кальвода, Р. Электроаналитические методы в контроле окружающей среды [Текст] / Р. Кальвода [и др.]. – М.: Химия, 1990. – С. 16–29.
13. Левина, Э.Н. Общая токсикология металлов [Текст] / Э.Н. Левина. – Л.: Медицина, 1972. – С. 28–45.
14. Внутренний оперативный контроль качества результатов количественного химического анализа [Текст]: метод. рекомендации. – М.: УНИИМ, 1994. – 65 с.
15. Методы биотестирования вод [Текст]. – Черноголовка: ГК ОП СССР, 1988. – 115 с.
16. Методы биотестирования качества водной среды [Текст] / Под ред. О.Ф. Филенко. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 129 с.
17. Нейман, Е.Я. Организация экоаналитического контроля в Российской Федерации [Текст] / Е.Я. Нейман // Экологическая химия. – 1993. – № 1. – С. 59–67.
18. Оценка и регулирование качества окружающей природной среды [Текст]: учеб. пособие для инженера-эколога / Под ред. А.Ф. Порядина и А.Д. Хованского. – М.: НУМЦ Минприроды России, Издат. дом «Прибой», 1996. – С. 29–45.
19. Павленко, В.В. Оценка токсичности и мутагенности водных сред в экспериментах с дафниями [Текст] / В.В. Павленко, Т.П. Денисова, Н.А. Перевалова. – Иркутск: НИИ биологии Иркутского госуниверситета, 1986. – С. 36–41.
20. Теоретические основы биотестирования [Текст]. – Волгоград, ВНИИ 1983. – 87 с.
21. Van Loon, W.V.G.M. Monitoring water quality in the future. Volume 2: Mixture toxicity parameters. Research Institute of Toxicology (RITOX) [Text] / W.V.G.M van Loon, J.L.M. Hermens. – Utrecht, The Netherlands, 1995. – P. 116–118.
22. United States Environmental Protection Agency Method 1002.2. Oct.11.951034. No. 001 P 03 Cladoceran, Ceriodaphnia dubia, survival and reproduction test method [Text]. – 1994. – P. 72–75.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 26.10.05

*E.N. Kosareva, N.I. Bogdanovich*

**Ecotoxicological Control of Sewage by Biotesting Methods  
at Pulp-and-paper Mills**

The actual questions of integral assessment of sewage contamination at pulp-and-paper mills are considered, as well as peculiarities of water pollution legislation of Russia in comparison with the developed countries. Biotesting methods at PPMs are provided.

---