

УДК 543.97

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД В ТЕСТАХ НА РАСТЕНИЯХ

Акатьева Т.Г.

ФГБОУ «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Тюмень,
e-mail: akatyevat@mail.ru

Загрязнение пресных вод стало столь значительным, что вызывает тревогу во многих странах. В современных условиях природная вода участвует не только в естественном, но и в антропогенном круговороте. В антропогенном цикле вода из природного водоема используется в энергетике, промышленности, сельском хозяйстве, для питьевого водоснабжения, коммунально-бытовых нужд. Значительная часть воды после ее использования возвращается в водоем в виде городских и промышленных сточных вод. В результате интенсивного развития промышленного производства и роста населения значительно возрос объем промышленных и бытовых стоков. В результате в природных водах уменьшается количество растворенного кислорода, ухудшаются условия разложения органических веществ, которые интенсивно накапливаются, увеличиваются концентрации азота, фосфора, различных металлов, хлорорганических и других вредных соединений. Для изучения качества сточных вод были выбраны два предприятия: имеющее очистные сооружения и сбрасывающее стоки в городской коллектор без очистки. Компонентный состав стоков определяли химическим методом, влияние на злаковые растения – методом биотестирования. Для этого были использованы три зерновые культуры: ячмень *Hordeum vulgare*, овес *Avena sativa* L., пшеница *Triticum aestivum*. В течение всего срока наблюдений растительные образцы периодически поливали сточными водами, регистрировали всхожесть семян и изменение морфологических показателей. Результаты химического анализа свидетельствуют о том, что качество сточных вод предприятия, имеющего очистные сооружения, соответствовало установленным требованиям, а стоки, не прошедшие предварительную очистку перед сбросом, содержали повышенные количества различных веществ. Данные проведенного биотестирования показали, что сточные воды не оказывали токсического действия на всхожесть злаковых культур, но изменяли ростовые характеристики злаков. Более значимыми эти изменения отмечались у растений, обрабатываемых неочищенными стоками.

Ключевые слова: очистные сооружения, сточные воды, загрязняющие вещества, тест-объекты, злаковые культуры

COMPARATIVE ANALYSIS OF SEWAGE WATER QUALITY IN TESTS ON PLANTS

Akateva T.G.

Federal State Budgetary Educational Institution «State Agrarian University of Northern Zauralye»,
Tyumen, e-mail: akatyevat@mail.ru

The pollution of fresh water has become so significant that it causes alarm in many countries. In modern conditions, natural water participates not only in the natural, but also in the anthropogenic cycle. In anthropogenic cycle, water from a natural reservoir is used in power engineering, industry, agriculture, for drinking water supply, and for domestic needs. A significant part of the water after its use is returned to the reservoir in the form of urban and industrial wastewater. As a result of intensive development of industrial production and population growth, the volume of industrial and domestic wastewater has significantly increased. As a result, the amount of dissolved oxygen decreases in natural waters, the decomposition conditions of organic substances that accumulate intensively, the concentrations of nitrogen, phosphorus, various metals, organochlorine and other harmful compounds increase. To study the quality of wastewater, two enterprises were selected: having treatment facilities and discharging effluents to a city sewer without treatment. The component composition of the effluents was determined by the chemical method, the effect on cereals – by the method of biotesting. For this, three crops were used: barley *Hordeum vulgare*, oats *Avena sativa* L., wheat *Triticum aestivum*. Throughout the observation period, the plant samples were periodically watered with sewage, the seed germination and morphological parameters were recorded. The results of the chemical analysis indicate that the quality of the sewage of an enterprise having a treatment plant complies with the established requirements, and the effluents that did not undergo pre-treatment before discharging contained increased amounts of various substances. The data of the biotesting carried out showed that the wastewater did not exert a toxic effect on the germination capacity of the cereal crops, but the growth characteristics of the cereals were changed. More significant, these changes were noted in plants treated with untreated sewage.

Keywords: sewage treatment plants, pollutants, test facilities, cereals

В числе глобальных экологических проблем – сохранение чистоты природных водоемов занимает особое место. Неравномерность географического распределения источников пресной воды и подверженность их загрязнению определяют существование критически острых ситуаций дефицита доброкачественной воды во многих реги-

онах земного шара [1]. В настоящее время основным источником загрязнения водоемов, приводящим к ухудшению качества воды и нарушению нормальных условий жизнедеятельности гидробионтов, являются сбросы стоков промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также коммунально-бытовых служб. Источника-

ми загрязнения признаются объекты, с которых осуществляется сброс или иное поступление в водоемы вредных веществ, ухудшающих качество поверхностных вод, ограничивающих их использование, а также негативное влияние на состояние дна и береговых водных объектов [2].

В реки и озера ежегодно поступают свыше 450 км³ стоков. Спуск неочищенных и необезвреженных сточных вод загрязняет и заражает естественные водоемы, лишает их значения как источников водоснабжения. Загрязняющие вещества, поступая в природные воды, вызывают изменение физических свойств среды (нарушение первоначальной прозрачности и окраски, появление неприятных запахов и привкусов и т.п.); изменение химического состава, в частности появления в ней вредных веществ; появление плавающих веществ на поверхности воды и отложений на дне; сокращение в воде количества растворенного кислорода вследствие расхода его на окисление поступающих в водоем органических веществ загрязнения; появление новых бактерий, в том числе и болезнетворных [3].

Цель исследования заключалась в изучении качества сточных вод некоторых предприятий г. Тюмени, осуществляющих очистку сточных вод и сбрасывающих образующиеся стоки без очистки.

Для этого были поставлены следующие задачи:

- проанализировать состав сточных вод предприятий;
- изучить токсичность стоков для злаковых культур;
- выявить чувствительную и устойчивую культуры;
- определить чувствительную тест-функцию растений.

Материалы и методы исследования

Для изучения компонентного состава сточных вод пробы отбирались с двух предприятий г. Тюмени: имеющего очистные сооружения и сбрасывающего производственные стоки без очистки, согласно ГОСТа [4], с последнего распределительного колодца. Отсюда сбрасываемые воды через городской коллектор попадают на канализационные очистные сооружения города для дополнительной очистки, и после этого производится сброс их в р. Туру. Качество сточных вод оценивали по результатам химического анализа и биотестирования.

При определении компонентного состава стоков использовались методики и мето-

дические указания, предназначенные для лабораторий и предприятий, осуществляющих производственный контроль, а также обеспечивающие государственный и ведомственный надзор за качеством сточных вод [5, 6]. При этом анализировали наличие приоритетных загрязняющих веществ. Например, содержание массовых концентраций *железа, меди, никеля, и цинка* в пробах сточных вод производили методом атомно-адсорбционной спектроскопии, который основан на измерении резонансного поглощения света свободными атомами определяемого элемента при прохождении света через атомный пар исследуемого образца образующийся в пламени [7]. Содержание металла в пробе рассчитывали по формуле

$$X = A \cdot V_1 / V, \quad (1)$$

где A – содержание металла в анализируемой пробе воды, мг/дм³;

V_1 – объем колбы, см³;

V – объем пробы анализируемой воды, см³.

Метод измерений массовой концентрации *фосфатов* основан на образовании в кислой среде молибдофосфорной кислоты, восстановлением её аскорбиновой кислотой в присутствии хлорида сурьмы и последующем измерении оптической плотности полученных растворов, окрашенных в синий цвет (молибденовой сини), при длине волны (880–890) нм [8]. Содержание фосфатов рассчитывали по формуле

$$X = \frac{C \cdot 50}{V}, \quad (2)$$

где C – концентрация фосфат-ионов, мг/дм³;

V – объем, взятый для анализа, см³.

Степень токсичности стоков оценивали методом биотестирования. Под *биотестированием* понимают процедуру установления токсичности среды с помощью тест-объектов, сигнализирующих об опасности независимо от того, какие вещества и в каком сочетании вызывают изменения жизненно важных функций у тест-объектов. Благодаря простоте, оперативности и доступности биотестирование получило широкое признание во всем мире и его чаще используют наряду с методами аналитической химии [9]. Преимуществом такого метода перед физико-химическими методами является интегральный характер ответных реакций организмов. В качестве тест-объектов были использованы три зерновые культуры: ячмень *Hordeum vulgare*, овес *Avena sativa* L., пшеница *Triticum aestivum*, которые, наряду с другими культурными растениями (кресс-

салат, редис) широко используются в биологических исследованиях.

Для этого на дно чашек Петри помещали бумажные фильтры, увлажняли их исследуемой водой и равномерно распределяли зерна каждой культуры, по 20 штук в каждой из из трех повторностей. В течение всего срока наблюдений (14 суток) образцы периодически поливали сточными и чистой (контроль) водами. В качестве контроля использовали водопроводную воду, предварительно отстоянную. На протяжении опыта отмечали всхожесть семян, по окончании – измеряли длину корней и надземной части растений. Результаты эксперимента были обработаны методом вариационной статистики [10].

Результаты исследования и их обсуждение

Как показал анализ данных химического анализа, сточные воды, не прошедшие предварительную очистку, содержали повышенные количества тяжелых металлов (железо, медь, цинк) и фосфатов (средние значения за трехлетний период наблюдений) в сравнении с установленным нормативом (табл. 1). Наибольшие отличия от НДС отмечались по содержанию фосфатов, что, вероятно, связано с попаданием в сточные воды различных поверхностно-активных веществ, используемых в технологическом цикле предприятия.

Данные химического анализа стоков, прошедших этап очистки, характеризуются тем, что содержание определяемых компонентов не превышало установленных

значений норматива (табл. 1). Это свидетельствует об эффективной работе очистных сооружений.

Сравнивая полученные результаты, можно заметить, что в очищенных стоках количество определяемых веществ существенно ниже, чем содержание их в сточных водах, не прошедших очистку. Так, например, более существенной разница была по количеству фосфатов и никеля: меньше в 3,1 и 3,4 раза соответственно. Аналогичная закономерность сохранялась и по содержанию других веществ.

Таким образом, установленные очистные сооружения на производственных предприятиях, уменьшают количество загрязняющих веществ в сточных водах, тем самым улучшая их качество. Вследствие этого природные водоемы не испытывают столь сильного негативного влияния.

Степень токсичности стоков оценивали методом биотестирования по всхожести и изменению морфологических показателей злаков.

Результаты исследований показали, что разница с контролем по всхожести овса, обрабатываемого очищенной сточной водой, составила 12 %, тогда как в опытах с использованием неочищенной сточной воды всхожесть растений была на уровне контроля. По длине корня различий с контрольными образцами практически не наблюдалось, а по длине надземной части – тенденция к стимуляции в обоих вариантах опыта (разница с контролем составляла 19 %) (табл. 2).

Таблица 1

Сравнение содержания химических веществ в сточных водах

Показатели	НДС, мг/дм ³	Неочищенные сточные воды	Очищенные сточные воды
рН	6,0–8,0	7,6	7,58
Взвешенные вещества	120,0	73,0	60,0
Нефтепродукты	1,09	1,01	0,56
Железо общее	2,052	3,07	1,61
Медь	0,0718	0,084	0,042
Цинк	0,143	0,238	0,07
Никель	0,118	0,02	0,032
Свинец	0,108	0,05	0,045
Фосфаты	5,44	13,1	4,24

Таблица 2

Морфологические показатели ($X \pm m_x$) овса *Avena sativa*

Показатели	Контроль	Сточная вода	
		очищенная	без очистки
Всхожесть, шт.	17,3 ± 1,5	15,3 ± 0,6	17,0 ± 1,0
Длина корня, мм	123,5 ± 11,7	122,7 ± 11,8	119,5 ± 4,6
Длина надземной части, мм	98,0 ± 14,3	116,7 ± 22,4	116,6 ± 23,8

Таблица 3

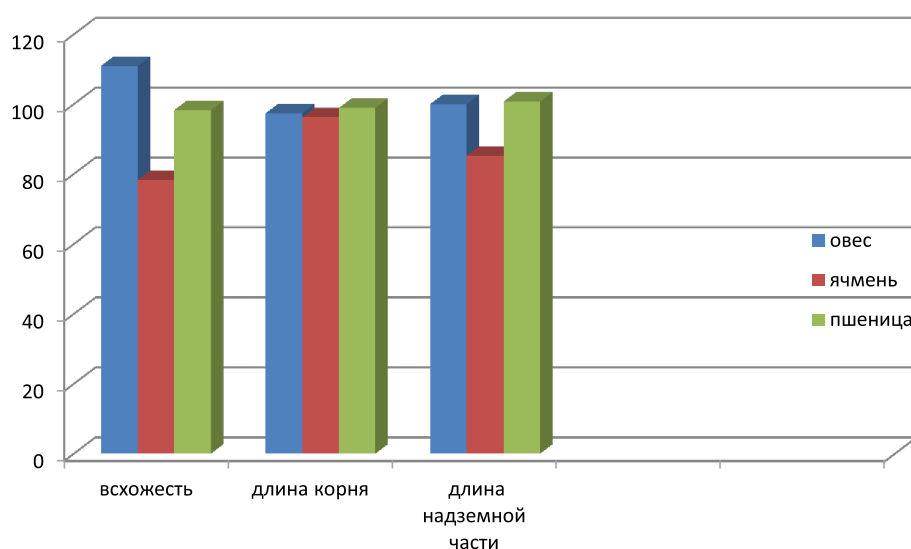
Морфологические показатели ($X \pm m_x$) ячменя *Hordeum sativum*

Показатели	Контроль	Сточная вода	
		очищенная	без очистки
Всхожесть, шт.	17,3 \pm 0,7	16,6 \pm 0,7	13,0 \pm 3,0
Длина корня, мм	94,8 \pm 5,8	89,1 \pm 13,1	85,7 \pm 15
Длина надземной части, мм	97,9 \pm 16,2	114,5 \pm 12,1	97,5 \pm 11,5

Таблица 4

Морфологические показатели ($X \pm m_x$) пшеницы *Triticum aestivum*

Показатели	Контроль	Сточная вода	
		очищенная	без очистки
Всхожесть, шт.	16,0 \pm 0,0	17,6 \pm 0,4	17,3 \pm 0,7
Длина корня, мм	92,4 \pm 20,6	108,2 \pm 15,5	107,0 \pm 5,4
Длина надземной части, мм	117,5 \pm 11,8	119,5 \pm 11	120,4 \pm 16,3



Показатели растений, обработанных водой без очистки
(% к значениям растений, обработанных очищенной сточной водой)

Изучение действия сточных вод на ячмень показало, что всхожесть злаков в варианте опыта с очищенной сточной водой практически не отличалась от контрольных значений, тогда как при влиянии неочищенных стоков эта разница составляла 24,9%. По длине корня растений существенных отклонений от контроля не наблюдалось. В то же время по длине надземной части всходов в варианте с очищенной сточной водой отмечалась явная стимуляция: разница с контролем составила 17%. В опыте с водой без очистки этот показатель был на уровне контрольных значений (табл. 3).

В опытах со сточной водой обоих заводов биотестирование определило стимуляцию по всхожести и длине корня пшеницы:

различия со значениями в контроле составили 12–15 и 17% соответственно. По длине побега различий с контрольными растениями практически не наблюдалось (табл. 4).

Наблюдаемый эффект, вероятно, связан с действием присутствующих в стоках тяжелых металлов (меди, цинка, железа, никеля), которые на первоначальном этапе стимулируют рост и развитие злаков, а по мере накопления отмечается угнетающее действие на растения [11].

Таким образом, в результате проведенных исследований сравнение действия сточных вод на растения показало их неоднозначное влияние: одни культуры испытывали угнетающее действие неочищенных стоков, у других учитываемые показатели

были на уровне таковых с растениями, обрабатываемыми очищенной сточной водой.

Так, например, у овса всхожесть семян в варианте опыта с водой без очистки превышала таковой показатель растений из опыта с очищенной водой на 11%. Другие тест-функции практически не отличались. Сравнение результатов экспериментов с другими культурами (ячмень, пшеница) свидетельствовали о более значимых отличиях учитываемых показателей злаков. Наиболее существенно они отмечались по длине побега и всхожести ячменя: разница в вариантах опыта составила 14,8–21,7% соответственно. У пшеницы отличий по вариантам опытов не выявлено (рисунок).

Как видим, результаты биотестирования свидетельствуют о том, что в течение эксперимента действие сточных вод на злаки вызывало как некоторый стимулирующий, так и угнетающий эффект.

Данные результатов биотестирования позволили выявить устойчивую и чувствительную культуры. Так, наиболее чувствительным оказался ячмень обыкновенный: по длине надземной части разница с контрольным уровнем составляла 14,8%, тогда как у других культур по данному показателю отличий не наблюдалось.

Наиболее устойчивым злаком определен овес посевной: всхожесть растений даже превышала контрольный уровень, а морфологические показатели не отличались от таковых в контроле. Более чувствительной тест-функцией можно назвать всхожесть семян: у ячменя она была ниже (вариант с неочищенными стоками), чем у контрольных растений, на 25%.

Выводы

1. Результаты химического анализа свидетельствуют о том, что за весь период наблюдений в сточных водах без очистки отмечалось превышение нормативов по содержанию железа, меди, цинка, сульфатов в 1,17–2,4 раза. Качество сточных вод, прошедших очистку, за исследованный период оставалось удовлетворительным: содержание веществ не превышало установленных нормативов, что указывает на эффективную работу очистных сооружений.

2. Результаты биотестирования показали, что сточные воды обоих предприятий оказывали острое токсическое действие на злаковые культуры, проявляющееся в снижении всхожести семян в опытных вариантах на 15–25% относительно контроля. При более длительном воздействии отмечались изменения морфологических показателей – длины корня и длины надземной части.

3. По данным биотестирования определены чувствительная (ячмень обыкновенный) и устойчивая (овес посевной) культуры. Более чувствительной тест-функцией оказалась всхожесть семян: у ячменя она была ниже (вариант с неочищенными стоками), чем у контрольных растений, на 25%.

Список литературы / References

1. Бикбулатов Э.С. Биэлементы и их трансформация в водных экосистемах. Рыбинск: Рыбинский дом печати, 2009. 289 с.

Bikbulatov E.S. Bioelements and their transformation in aquatic ecosystems. Rybinsk: Rybinsk press house, 2009. 289 p. (in Russian).

2. Акатьева Т.Г. Изучение качества сточных вод предприятия «Жилищно-коммунальное хозяйство п. Боровский» с помощью *Daphnia magna* Straus // Современная экология: образование, наука, практика. 2017. С. 278–282.

Akatyeva T.G. Study of the quality of sewage of the enterprise «Housing and communal services p. Borowski» using *Daphnia magna* Straus // Modern ecology: education, science, practice. 2017. P. 278–282 (in Russian).

3. Влияние сточных вод на водоем и санитарные правила их спуска [Электронный ресурс]. URL: <http://www.activestudy.info/vliyanie-stochnykh-vod-na-vodoem-i-sanitarnye-pravila-ix-spuska> (дата обращения: 02.10.2018).

The impact of wastewater on the pond and sanitary rules of their descent [Электронный ресурс]. URL: <http://www.activestudy.info/vliyanie-stochnykh-vod-na-vodoem-i-sanitarnye-pravila-ix-spuska> (date of access: 02.10.2018) (in Russian).

4. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.

5. Государственный контроль качества воды. М.: Издательство стандартов, 2001. 209 с.

State control of water quality. M.: Publishing house of standards, 2001. 209 p. (in Russian).

6. Водопользование (водопотребление и водоотведение): сборник нормативных документов. Екатеринбург: ИД «Урал Юр Издат», 2007. 304 с.

Water use (water consumption and sanitation): collection of normative documents. Ekaterinburg: publishing house «Ural Yur Izdat», 2007. 304 p. (in Russian).

7. ПНД Ф 16.2.2.3.71-2011 Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовых долей металлов в осадках сточных вод, донных отложениях, образцах растительного происхождения спектральными методами [Электронный ресурс]. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293793/4293793107.htm> (дата обращения: 02.10.2018).

8. ПНД Ф 14.1.2.4.248-07 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций ортофосфатов, полифосфатов и фосфора общего в пробах питьевых, природных и сточных вод, фотометрическим методом [Электронный ресурс]. URL: <http://libnorm.ru/Files2/1/4293773/4293773265.htm> (дата обращения: 02.10.2018).

9. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / Ред. О.П. Мелехова, Е.И. Сарапульцева. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 288 с.

Biological control of the environment: bioindication and biotesting / Ed. O.P. Melekhova, E.I. Sarapul'tseva. M.: Publishing center «Academy», 2010. 288 p. (in Russian).

10. Зверев А.А., Зефирова Т.Л. Статистические методы в биологии: учебно-методическое пособие. Казань: КФУ, 2013. 42 с.

Zverev A.A., Zefirova T.L. Statistical methods in biology: teaching manual. Kazan: KFU, 2013. 42 p. (in Russian).

11. Петухова Г.А., Акатьева Т.Г., Петухова Е.С., Артеменко С.В. Оценка токсического влияния поверхностных вод, загрязненных нефтью, в тестах на растениях и животных // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2010. № 7. С. 57–66.

Petukhova G.A., Akatyeva T.G., Petukhova E.S., Artemenko S.V. Assessment of toxic effect of surface waters contaminated with oil in tests on plants and animals. Bulletin of Tyumen state University. Ecology and nature management. 2010. No. 7. P. 57–66 (in Russian).