

На правах рукописи



ЗУТОВА ЛЮБОВЬ БОРИСОВНА

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ГИДРОБИОНТОВ ДЛЯ БИОИНДИКАЦИИ
И БИОТЕСТИРОВАНИЯ ТОКСИЧНОСТИ СТОЧНЫХ ВОД**

03.02.08 – экология (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2017

Работа выполнена на кафедре зоотехнии и биологии
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П. А. Костычева»

Научный руководитель: **Нефедова Светлана Александровна**
доктор биологических наук, доцент, Федеральное
государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Рязанский
государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева», профессор
кафедры зоотехнии и биологии

**Официальные оппонен-
ты:** **Хромов Виктор Михайлович**
доктор биологических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждения высшего
образования «Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова», главный
научный сотрудник кафедры гидробиологии

Юнусов Худайназар Бекназарович
кандидат химических наук, доцент,
Государственное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Московский государственный областной
университет», декан биолого-химического
факультета

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Всероссийский научно-
исследовательский институт гидротехники и
мелиорации имени А.Н. Костякова»

Защита состоится «16» ноября 2017 г. в 16 часов 00 минут на заседании Совета
по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.203.38 при
Российском университете дружбы народов по адресу: 115093, г. Москва,
Подольское шоссе, д. 8/5.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научной библиотеке
ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» по адресу: 117198, г.
Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6 и на сайте dissovet.rudn.ru

Автореферат разослан «___» сентября 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Е.А. Ванисова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Масштабы антропогенной деятельности достигли такого уровня, когда существующая система экологического мониторинга должна дополняться исследованиями с использованием всё новых показателей биоиндикации и биотестирования, что позволит выделить основные факторы устойчивости экосистем в критических состояниях (Нефедова, 2011). Биотестирование и биоиндикация являются обязательными элементами современной системы контроля качества вод. Наряду с физико-химическими методами, они применяются при проведении экологического контроля за соблюдением нормативов допустимых сбросов химических веществ в водные объекты; при осуществлении государственного экологического мониторинга за состоянием водных объектов в районах расположения источников антропогенного воздействия; при проведении оценки изменения состояния водных экосистем и биоценозов (Алладин, 2000).

Традиционным подходом при проведении экологического мониторинга водной среды является использование методов химического анализа для оценки количественного содержания токсических веществ. Однако химический анализ не учитывает их интегрального токсикологического эффекта на биологические объекты. Для решения проблемы необходимо применение биологических методов анализа. Сочетание химических аналитических методов совместно с биотестированием в единую комплексную платформу мониторинга позволит в значительной степени повысить эффективность оценки качества водных экосистем (Сазыкина, 2014).

Модернизация методик для индикации и поиск параметров для проведения биотестирования и биоиндикации в практике природопользования проводилась Н. М. Калинкиной (1999), С. Н. Walker (2001), Н. С. Жмур (2000), Ф. А. Batzias (2007), И. В. Ивантером (2007), В. П. Моисеевой и Е. А. Моисеевой (2007), Е. Nikunen и V. Miettinen (1985). О. П. Мелехова, Е. И. Сарапульцева, С. А. Граськин, Т. И. Евсеева, В. М. Глазер, А. А. Киташова, Ю. П. Козлов, И. А. Кондратьева, Ю. К. Доронин, Д. Н. Маторин, С. А. Остроумов, С. И. Погосян, А. В. Смуров, Г. Н. Соловых (2010), А. А. Коровушкин (2011), О. А. Ляшенко (2012)) и др. посвящали свои научные работы биоэкологическому контролю окружающей среды посредством биотестирования и биоиндикации.

В современных условиях развития промышленного производства, в течение года, предприятие количественно и качественно меняет ассортимент выпускаемой продукции, быстрыми темпами идет модернизация производств, внедряются инновационные технологии, что увеличивает разнообразие токсичных веществ в сточных водах. Технический регламент использования мощностей производства в рамках ассортимента выпускаемой продукции цикличен, что отражено в поквартальном графике. Как правило, в гидрохимических лабораториях, круглогодично, используется лишь один тест-объект для определения загрязнения стоков, что не позволяет достаточно точно анализировать их токсичность.

Для совершенствования биоиндикации и биотестирования, актуально проанализировать адаптивные ответы различных тест-объектов, выбрать из них эффективные для оценки токсичности сточных вод, поступающих на очистку при разной мощности работы аэротенков, которая определяется сменой технологических режимов работы предприятий.

Целью исследований является выявление эффективности использования различных гидробионтов для биоиндикации и биотестирования токсичности сточных вод в зависимости от технологических режимов (мощностях) работы предприятий.

Задачи:

1. Выявить виды дафний, применение которых повысит эффективность биотестирования токсичности сточных вод при разных технологических режимах работы предприятий.

2. Выявить индикаторные показатели динамики жизнеспособности активного ила, предшествующей процессу его вспухания (гибели), при разных технологических режимах работы предприятий.

3. Проанализировать индикаторные эколого-морфологические показатели этологии инфузорий, отражающие изменение среды перед вспуханием активного ила в сточных водах при разных технологических режимах работы предприятий.

Положения, выносимые на защиту:

1. Для биотестирования токсичности сточных вод молокозаводов, мясокомбинатов и птицефабрик эффективно круглогодично применять, в качестве тест-объекта, *Ceriodaphnia affinis*; в зависимости от технологических режимов работы металлургических и нефтеперерабатывающих предприятий: при низкой производственной мощности – *Daphnia magna*, высокой – *Ceriodaphnia affinis*; жилищно-коммунального хозяйства, в первом варианте, эффективны оба тест-объекта, во втором – *Daphnia magna*.
2. Маркерными индикаторами жизнеспособности гидробионтов активного ила, отражающими его состояние перед вспуханием, является динамика численности популяции нитчатых бактерий и вида *Zoogloea ramigera*. Причем, в зависимости от технологического режима работы аэротенков (мощности производственной деятельности предприятия), эффективность исследования токсичности сточных вод зависит от верного выбора тест-объекта среди видового разнообразия биоты активного ила.
3. Динамика эколого-морфологических показателей этологии инфузорий активного ила (инцистирование, хемотаксис, втягивание перистомы, отрыв зооида от стебля) является индикаторным ответом на изменение среды, происходящим перед вспуханием активного ила, причем, показатели отличаются в зависимости от типа вспухания – гелевого или нитчатого.

Научная новизна работы. Впервые проведен анализ эффективности смены тест-объектов – дафний (*Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (далее по тексту *Ceriodaphnia affinis*) и *Daphnia magna* Straus (далее по тексту *Daphnia magna*)), их совместного использования, для биотестирования токсичности сточных вод

при различных технологических режимах работы предприятий; определена динамика индикаторных показателей численности популяций видового состава биоты активного ила при различных технологических режимах очистки сточных вод в аэротенках, в зависимости от мощности работы предприятий; выявлены индикаторные эколого-морфологические показатели этологии инфузорий активного ила, отражающие изменение среды перед началом его гелевого или нитчатого вспухания.

Объект исследования: показатели гидробионтов (смертность, плодовитость, динамика численности популяций) для биоиндикации и биотестирования токсичности сточных вод при различных технологических режимах (мощностях) работы предприятий; эколого-морфологические показатели этологии инфузорий, индикаторно отражающие изменение среды перед гелевым и нитчатым вспуханием активного ила.

Практическая и теоретическая значимость работы. Исследования имеют практическую значимость, так как применение полученных результатов по эффективности использования в качестве тест-объектов разных видов дафний, в зависимости от технологических режимов (мощностей) работы аэротенков, повысит точность проведения биотестирования токсичности сточных вод.

Для эффективности профилактических работ по предотвращению вспухания и продлению жизнеспособности активного ила в аэротенках предприятий, работающих в разных технологических режимах, значимо, в качестве индикаторных показателей использовать динамику этологических реакций инфузорий, реагирующих на изменение среды инцистированием, хемотаксисом, изменением длины тела, втягиванием перистома, отрыв зооидов от стебелька.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что данные исследований могут быть использованы в учебном процессе в дисциплинах, связанных с биотехнологией, экологией, этологией, гидробиологией, зоологией беспозвоночных, протозоологией.

Личный вклад автора заключается в проведении производственных и лабораторных исследований стресс-реакций и адаптивных ответов гидробионтов, используемых для биотестирования и биоиндикации токсичности среды; гидрохимическом анализе сточных вод предприятий, гидробиологическом анализе активного ила аэротенков нефтеперерабатывающего предприятия, статистической обработке результатов; анализе литературных источников; систематизации и публикации (в соавторстве) полученных материалов.

Апробация работы. Материалы диссертации были представлены и обсуждены на международной конференции «Актуальные проблемы естественных наук» (Новосибирск, 2011), международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Курганской ГСХА «Интеграция науки и практики – механизм развития агропромышленного комплекса» (Курган, 2014), XII Международной студенческой научной конференции «Знания молодых – будущее России» (Киров 2014); Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные и научно-технические разработки и исследования молодых учёных» (Рязань, 2016); на научно-практических конференциях профессор-

ско-преподавательского состава и аспирантов ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева» (Рязань, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 4 статьи в журналах из списка рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из разделов: введение, обзор литературы, материалы и методы исследований, результаты собственных исследований, заключение, выводы, список использованной литературы. Общий объем работы 113 стр., в диссертации 8 таблиц, 11 рисунков. Список использованной литературы включает 173, в том числе 21 на иностранных языках.

Благодарности. Автор глубоко признателен за неоценимую помощь в работе своему научному руководителю – доктору биологических наук, профессору С. А. Нефедовой. За постоянную помощь и поддержку – профессору А. А. Коровушкину, сотрудникам кафедры зоотехнии и биологии ФГБОУ ВО РГАТУ; сотрудникам экологической лаборатории ЗАО «Рязанская нефтеперерабатывающая компания» за ценные рекомендации по исследованию активного ила биологу Т. Г. Маликовой.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В разделе 1. Обзор литературы. Приведены начальные этапы и степень развития методов биологической очистки сточной воды в аэротенках с применением активного ила; установлена необходимость изыскания новых показателей активного ила для индикаторных работ, а также показателей, отражающих реакции дафний и биоты активного ила на изменение концентрации загрязнителей в сточных водах в зависимости от технологического режима работы предприятий.

В разделе 2. Материалы и методы исследований приведены необходимые сведения по научно-исследовательской работе, которая проводилась на кафедре зоотехнии и биологии ФГБОУ ВО РГАТУ с 2009 по 2015 годы, а также в экологической лаборатории ЗАО «Рязанская нефтеперерабатывающая компания».

Для анализа динамики показателей гидрохимического состава сточных вод, помимо собственных исследований токсичности среды (2009-2015 годы), использовались отчёты по программе мониторинга водной среды Рязанской области за 2007-2015 годы.

Для биотестирования взяты сточные воды следующих предприятий: птицефабрики, мясокомбината, молокозавода, металлургического предприятия, нефтеперерабатывающего завода, жилищно-коммунального хозяйства; активный ил – из аэротенков нефтеперерабатывающего завода.

Анализ сточных вод и активного ила проводился согласно двум технологическим режимам работы предприятий: I-й технологический режим (низкая

производственная мощность) и II-ой технологический режим (высокая производственная мощность).

Гидрохимический анализ сточных вод проводился: птицефабрика 288 проб; мясокомбинат, металлургическое предприятие, нефтеперерабатывающий завод по 324 пробы; молокозавод 252 пробы; жилищно-коммунальное хозяйство 432 пробы; всего – 1944 пробы (972 в I-ом технологическом режиме, 972 – во II-ом, для каждого показателя $n = 36$). Отбор проб сточных вод проводился в соответствии с требованиями ГОСТ РФ 5.592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб».

Температура воды измерялась ртутным термометром согласно РД 52.24.496-2005. Для определения рН применялся электрометрический метод на МИКОН-2 рН-метр-иономер Эксперт-001. Количество аммонийных ионов определялось фотометрическим методом по ПНДФ 14.1:2.1-95 (изд. 2004 г.); нитрит-ионов – по ПНДФ 14.1:2.3-95 (изд. 2004 г.), фосфат-ионов (по Р) – по РД 52.24.382-2005, сульфат-ионов – по ГОСТ 4389-72 ПНДФ 14.1:2.159-2000 (изд. 2005 г.). Массовая концентрация общего железа измерялась согласно ПНДФ 14.1:2:4.50-96. Согласно ПНДФ 14.1:2.62-96 (изд. 2004 г.) колоночной хроматографией с весовым окончанием определялось количество нефтепродуктов. Определение хлорид-ионов выполнялось титриметрическим методом в соответствии с ПНДФ 14.1:2.96-97 (изд. 2004 г.) РД 52.24.402-2005. Измерения химического потребления кислорода производилось титриметрическим методом в соответствии с ПНДФ 14.1:2.100-97 (изд. 2004 г.). Определение БПК производилось согласно ПНДФ 14.1:2:3:4.123-97 (изд. 2004).

Токсикологический контроль воды в лаборатории проводился хроническим методом определения показателей смертности и плодовитости дафний, согласно «Руководству по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов» (2002), «Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний» (2007).

Биотестирование проводилось при температуре окружающего воздуха 22 °С, температуре климатостата 20 ± 2 °С с освещенностью 500-1000 люкс. Для анализа использовались односуточные экземпляры культуры *Daphnia magna* и *Ceriodaphnia affinis*, которые подсаживались в тестируемую воду, контролем служила культивационная вода. Учет смертности и изменения их плодовитости определялся за период до 24 суток. Количество учтенных проб за 6 месяцев $n = 6$, за три года $n = 18$. Отбор проб осуществлялся один раз в месяц.

Биоиндикационные исследования биоценоза активного ила проводятся согласно двум технологическим режимам работы аэротенков на ЗАО «Рязанская нефтеперерабатывающая компания». Гидробиологический анализ вспухания активного ила заключался в микроскопической оценке его структурных особенностей согласно методике проведения технологического контроля работы сооружений по очистке сточных вод (Методическое руководство по гидробиологическому..., 1996). В биоценозе активного ила изучались показатели

следующих представителей: Амебы раковинной (*Testacea*), прикрепленных инфузорий (отряд *Peritrichia*), свободноплавающих инфузорий (Отряд *Hymenostomatida*), жгутиковых (*Mastigofora*), нитчатых бактерий, колеровок, бактерии вида *Zoogloea ramigera*. Идентификация организмов осуществляется по морфологическим признакам в соответствии с атласом «Фауна аэротенков» Л. А. Лесникова (1984) и «Атлас сапробных организмов» (1977). Определение количественного состава нитчатых бактерий проводится согласно ПНД Ф СБ 14.1.92-96 (1996). Число экземпляров исчислялся в расчёте на 1 мл иловой смеси.

Для определения абсолютного количества организмов в единице объема иловой смеси использовалась камера Горяева. Определенное количество тщательно перемешанной иловой смеси наносилась на поверхность камеры. Просматривались квадраты по диагонали, при численности менее 100 тыс. экз., учитывались показатели во всей камере. Крупные экземпляры наблюдались при увеличении в 100 раз, более мелкие – в 200 раз. Расчет организмов проводился в 1 мл иловой смеси. Также отмечалось состояние организмов (инцистирование, хемотаксис, втягивание перистомы, отрыв зооида от стебелька). Размер организмов активного ила производился с помощью окуляр-микрометра по масштабной линейке объект-микрометра. Использовался микроскоп марки Микмед-1.

Количество учтенных проб активного ила из аэротенков очистных сооружений ЗАО РНПК составило 30, где $n = 5$. Отбор проб осуществлялся 1 раз в день.

Расчеты по гидрохимическому составу воды проводятся с помощью программы LabExpert. Статистическая обработка выполняется согласно методике Н. А. Плохинского (1970), расчеты и рисунки сделаны в программе MS Excel 2013.

Раздел 3. Результаты собственных исследований. В подразделе 3.1. изложены результаты по выявлению индикаторных показателей дафний для биотестирования сточных вод в различные технологические режимы работы предприятий (таблица 1).

При биотестировании стоков с применением дафний *Daphnia magna* и *Ceriodaphnia affinis*, в качестве тест-объектов, обнаружены отличия в их стресс-реакциях на изменение среды, выявлена видовая особенность к индикаторной способности разных дафний в зависимости от мощности работы нефтеперерабатывающего предприятия, определяющей технологический режим очистки сточных вод в аэротенках.

При анализе смертности и плодовитости двух видов дафний, обнаружена следующая тенденция: в I-ом технологическом режиме (низкая производственная мощность работы предприятия) показатель смертности у *Daphnia magna* увеличивается на 29 %, численность снижается на 31 %. При этом представители вида *Ceriodaphnia affinis* не проявляют себя, как эффективные тест-объекты, показатель смертности у них увеличивается на 2 %, плодовитость – на 0,6 %.

Таблица 1 – Зависимость смертности и плодовитости дафний от гидрохимического состава сточных вод при различных технологических режимах (мощностях) работы нефтеперерабатывающего предприятия

Показатели	контроль	Технологический режим			
		I		II	
		время года			
		осень	зима	лето	весна
<i>Daphnia magna</i>					
плодовитость, экз./самку	7,2±0,82	5,2±0,39** *	4,7±0,35** *	7,4±0,71	7,0±0,68
смертность, %	0	26	31	2	5
<i>Ceriodaphnia affinis</i>					
плодовитость, экз./самку	21,6±1,23	21,4±1,80	22,0±1,51	12,8±0,99** *	12,2±1,28** *
смертность, %	0	2	2	26	29

Примечание: здесь и далее в таблицах достоверность рассчитана по отношению к контролю: Р * - $\leq 0,05$; ** - $\leq 0,01$; *** - $\leq 0,001$

Во II-ом технологическом режиме (высокая производственная мощность работы предприятия), когда наблюдается превышение токсичности по содержанию аммонийных ионов до 35 ПДК, смертность *Ceriodaphnia affinis* в сточной воде увеличивается в среднем на 28 %, аналогичный показатель у *Daphnia magna* практически не меняется. В тех же условиях среды плодовитость *Ceriodaphnia affinis* снижается на 12 %, численность вида *Daphnia magna* увеличивается на 11 %.

При анализе токсичности сточных вод с высоким содержанием хлорид-ионов (500 мг/дм³), что свойственно I-ому технологическому режиму работы нефтеперерабатывающего предприятия, маркерным является то, что изменения по показателям смертность и плодовитость *Daphnia magna* статистически достоверно отражает динамику, тогда как у *Ceriodaphnia affinis* эти показатели не отличаются от контроля (таблица 2).

При концентрации в стоках хлорид-ионов 200 мг/дм³ смертность *Daphnia magna* увеличивается на 1 %, *Ceriodaphnia affinis* на такую концентрацию загрязнителя не реагирует. При концентрации 300 мг/дм³ хлорид-ионов в пробе сточной воды смертность *Daphnia magna* увеличивается на 5 %, при 400 мг/дм³ – на 28 %. При этом у *Ceriodaphnia affinis* смертность увеличивается на 3 %, что свидетельствует о низкой индикаторной чувствительности этого вида гидробионтов.

При превышении ПДК по хлорид-ионам в 1,5 раза, что свойственно сточным водам в I-ом технологическом режиме, когда наблюдается низкая произ-

водственная мощность предприятия, смертность *Daphnia magna* увеличивается на 46 %. Этот показатель у *Ceriodaphnia affinis* при концентрациях от 200 до 500 мг/дм³ остается в пределах 3-4 % независимо от технологического режима.

По показателю – плодовитость, при превышении в стоках ПДК по хлорид-ионам, *Daphnia magna* также обладают высокой чувствительностью, по сравнению с *Ceriodaphnia affinis*. При концентрации 500 мг/дм³ плодовитость у *Daphnia magna* снижается на 50 %, у *Ceriodaphnia affinis* – всего на 6 %.

Таблица 2 – Динамика смертности и плодовитости дафний в зависимости от концентрации хлорид-ионов в сточных водах при низкой производственной мощности работы нефтеперерабатывающего предприятия

Концентрация хлорид-ионов в сточной воде, мг/дм ³	Объект для биотестирования			
	<i>Daphnia magna</i>		<i>Ceriodaphnia affinis</i>	
	смертность, %	плодовитость, экз./самку	смертность, %	плодовитость, экз./самку
0 (контроль), n=18	0	7,1±0,35	0	24,0±1,06
200, n=18	1	6,9±0,21	0	24,3±1,09
300, n=18	5	6,8±0,32	3	24,3±1,15
400, n=18	28	5,9±0,56***	3	23,4±1,06
500, n=18	46	3,6±0,19***	4	22,9±1,02

В I-ом технологическом режиме работы предприятия, при превышении концентрации хлорид-ионов в сточных водах, *Daphnia magna* является маркерным тест-объектом для биотестирования.

При высокой производственной мощности нефтеперерабатывающего предприятия в сточных водах наблюдается превышение ионов аммония (таблица 3).

Таблица 3 – Смертность и плодовитость дафний в зависимости от концентрации ионов аммония в сточных водах нефтеперерабатывающего предприятия, работающего при высокой производственной мощности

Концентрация аммонийный ионов в сточной воде, мг/дм ³	Объект для биотестирования			
	<i>Daphnia magna</i>		<i>Ceriodaphnia affinis</i>	
	смертность, %	плодовитость, экз./самку	смертность, %	плодовитость, экз./самку
0 (контроль)	0	7,2±0,80	0	20,4±1,12
0,50, n=18	0	6,9±0,34	0	18,8±1,03***
0,55, n=18	0	6,6±0,38	6	19,6±1,12***
3,50, n=18	2	7,0±0,51	65	10,2±0,95***
4,60, n=18	3	6,3±0,33	73	9,3±0,62***

В сточной воде, свойственной этому технологическому режиму, смертность вида *Daphnia magna* обладает более низкой чувствительностью по сравнению с *Ceriodaphnia affinis*. Для вида *Ceriodaphnia affinis* концентрация аммонийных ионов в сточных водах имеет определяющее значение. Исследования показали, что при концентрации 3,5 мг/дм³ и 4,6 мг/дм³ аммонийные ионы оказывают высокое токсичное действие на ракообразных двух изучаемых видов.

В пробе с концентрацией ПДК в пределах нормы смертность вида *Daphnia magna* не отличается от контрольной, тогда как у *Ceriodaphnia affinis* этот показатель увеличивается на 6 %. В целом, процент смертности цериодафний выше, чем у *Daphnia magna*, что указывает на высокую чувствительность к аммонийным ионам представителей первого вида по сравнению со вторым.

По сравнению с *Daphnia magna*, *Ceriodaphnia affinis* позволяет за более короткий срок (5 суток вместо 24) получить достоверную оценку хронической токсичности тестируемого образца воды. Тест с использованием вида *Ceriodaphnia affinis* проявил себя как экспрессный и информативный метод оценки токсичности сточных вод и их компонентов. На 5 сутки эксперимента, смертность *Ceriodaphnia affinis* составляет 20 %, *Daphnia magna* – 0 %, что указывает на отсутствие тест-реакции со стороны последней. На 10 сутки смертность рачков *Ceriodaphnia affinis* составляет 43 %, тогда как *Daphnia magna* показывает результат только на 24 сутки.

По результатам исследования выявлено, что маркерными загрязнителями в I-ом технологическом режиме являются хлорид-ионы, независимо от направления деятельности предприятий. Этот показатель является маркерным для жилищно-коммунального хозяйства, нефтеперерабатывающего, металлургического предприятий, комбинатов мясной и молочной промышленности, птицефабрик. Его концентрации превышают допустимые нормы до 4,5 ПДК. Та же тенденция наблюдается и по нефтепродуктам, по которым превышение нормы в этот период времени и составляет до 20 ПДК. Во II-ом технологическом режиме загрязнение определяется интенсивным повышением фосфат-ионов – на 2,5-27 ПДК, аммонийных ионов – на 5-35 ПДК.

При выборе тест-объектов для проведения биотестирования токсичности сточных вод, необходимо учитывать динамику концентрации загрязнителей при различных технологических режимах работы предприятий.

В сточной воде очистных сооружений птицефабрики, работающей во II-ом технологическом режиме, где концентрация аммонийных ионов превышает 35 ПДК, фосфат-ионов – 10 ПДК, показатель БПК₅ составляет 3,8 ПДК, *Ceriodaphnia affinis* проявляет себя, как высоко информативный тест-объект.

В сточных водах птицефабрики, работающей в I-ом технологическом режиме, показатель БПК₅ составляет 3,7 ПДК, фосфат-ионов 3,8 ПДК. *Daphnia magna* проявляет меньшую чувствительность к среде, чем *Ceriodaphnia affinis*. Смертность *Ceriodaphnia affinis* в пробе увеличивается в среднем на 13 %, плодовитость на 15 %. Тогда как у вида *Daphnia magna* смертность остается в пределах контроля и составила 0 %, плодовитость увеличивается незначительно – на 4 %.

Стоки мясокомбината на входе в очистные сооружения часто имеют превышения по БПК, ХПК, аммонийным ионам и фосфат-ионам.

В сточной воде мясоперерабатывающего комбината в I-ом технологическом режиме, следующие показатели: аммонийные ионы – 10 ПДК, БПК₅ – 490 ПДК, ХПК – 91 ПДК. Смертность *Ceriodaphnia affinis* в данной пробе увеличивается в среднем на 27 %, плодовитость – на 13 % по отношению к контролю. Тогда как *Daphnia magna* имеет низкую чувствительность к увеличению концентрации этих загрязнителей, смертность равна 0 %, плодовитость увеличивается на 10 %.

В сточной воде мясокомбината во II-ом технологическом режиме работы, следующие концентрации загрязнителей и значений иных показателей, характеризующих токсичность стоков: фосфат-ионов – 27 ПДК, БПК₅ – 225 ПДК, ХПК – 52 ПДК. Тенденция смертности вида *Daphnia magna* остается неизменной и равна 0 %, плодовитость увеличивается на 12 %. Смертность вида *Ceriodaphnia affinis* увеличивается на 30 %, плодовитость – на 34 %.

Основные параметры загрязнения сточных вод молокозавода – это технические воды от продувки системы оборотного водоснабжения; бытовые сточные воды помещений персонала и администрации; поверхностные сточные воды с территории молокозавода; промышленные стоки от промывки и обеззараживания технологического оборудования и трубопроводов, сточные воды в результате мокрой уборки цеховых и вспомогательных помещений; аварийные спуски молочных продуктов и сыворотки. Среди значимых показателей сточных вод молочного предприятия необходимо указать БПК₅, рН, аммонийные ионы.

В сточных водах молокозавода, превышение массовой концентрации по БПК₅ составляет в I-ом технологическом режиме – 10 ПДК. В таком растворе, смертность *Ceriodaphnia affinis* увеличивается в среднем на 27 %, при этом у *Daphnia magna* равна 0. По плодовитости обнаружена следующая тенденция: численность вида *Ceriodaphnia affinis* снижается на 25 %, *Daphnia magna*, напротив, увеличивается на 12 % по отношению к контролю. В сточных водах молокозавода, при высокой производственной мощности работы предприятия, превышение показателя БПК₅ составляет 12 ПДК, аммонийных ионов – 15 ПДК, фосфат-ионов – 10 ПДК. Смертность у *Daphnia magna* не меняется и равна контролю, тогда как у *Ceriodaphnia affinis* в среднем снижается на 29 %. Плодовитость *Ceriodaphnia affinis* снижается на 30 %, *Daphnia magna* увеличивается на 31 % по отношению к контролю.

Сточные воды предприятий металлургии отличаются исключительно большим разнообразием загрязняющих веществ, состав и вид которых зависит от характера перерабатываемого сырья и применяемых технологических реагентов, а также от качества очистки (обезвреживания) сточных вод.

В сточных водах предприятий металлургии в I-ом технологическом режиме, где концентрация по хлорид-ионам превышает 2 ПДК, по нефтепродуктам 20 ПДК, вид *Daphnia magna* проявляет себя как информативный тест-объект. При этом смертность представителей вида *Daphnia magna* в пробе уве-

личивается на 14 %, плодовитость на 13 %. В отличие от *Daphnia magna* вид *Ceriodaphnia affinis* проявляет низкую степень чувствительности к загрязнителям. Смертность равна 0, плодовитость снижается на 3 %.

Во II-ом технологическом режиме у *Ceriodaphnia affinis* смертность увеличивается на 12 %, плодовитость на 18 %, потому что массовая концентрация в исследуемой пробе по сульфат-ионам превышает 57 ПДК, фосфат-ионам – 2,5 ПДК. *Daphnia magna* проявляют низкую чувствительность к загрязнителям, их численность увеличивается на 15 %, смертность равна 0.

В сточных водах металлургических предприятий присутствует значительная концентрация растворенных сульфат-ионов (568 мг/дм³) и фосфат-ионов (0,25 мг/дм³), на которые рачки *Ceriodaphnia affinis* проявляют высокую чувствительность, в отличие от *Daphnia magna*, у которых снижена восприимчивость к этим загрязнителям.

В сточных водах нефтеперерабатывающего предприятия в I-ом технологическом режиме, по нефтепродуктам превышение ПДК в 15 раз, по хлорид-ионам в 4 ПДК. В данной пробе смертность *Ceriodaphnia affinis* увеличивается на 40 %, плодовитость снижается на 28 %. При этом *Daphnia magna* имеет низкую чувствительность к экспериментальному раствору, смертность составляет 0, плодовитость увеличивается на 18 %.

В пробе сточных вод нефтеперерабатывающего завода, работающего во II-ом технологическом режиме, с концентрацией аммонийных ионов – 15 ПДК, *Ceriodaphnia affinis* проявляет низкую чувствительность: смертность в пробе увеличивается на 1 %, плодовитость остается на уровне контроля.

В сточных водах жилищно-коммунального хозяйства в I-ом технологическом режиме, где БПК₅ составляет 2,5 ПДК, хлорид-ионов – 4,5 ПДК, нефтепродуктов – 2 ПДК, смертность *Ceriodaphnia affinis* увеличивается в среднем на 27 % по сравнению с контролем, плодовитость снижается на 24 %. *Daphnia magna* также проявляют высокую чувствительность к действию сточных вод изучаемого состава, их смертность повышается на 28 %, плодовитость снижается на 16 %.

В сточных водах жилищно-коммунальных хозяйств во II-ом технологическом режиме, где массовая концентрация нитрат-ионов 5 ПДК, аммонийных ионов 25 ПДК, смертность вида *Ceriodaphnia affinis* увеличивается в среднем на 20 % по сравнению с контролем, и плодовитость снижается – на 20 %. *Daphnia magna* проявляют низкую чувствительность к действию сточных вод анализируемого состава, смертность остается равна контролю (0 %), плодовитость увеличивается всего на 8 %.

В заключение необходимо указать, для предприятий разного профиля выпускаемой продукции, при биотестировании необходимо использовать видовую специфичность маркерных стресс-реакций различных дафний.

Для сточных вод молокозаводов маркерным тест-объектом является *Ceriodaphnia affinis*, плодовитость которых составляет 17,89 экз./самку, смертность в среднем 25 % круглогодично; для сточных вод мясокомбинатов тест-объект *Ceriodaphnia affinis*, в среднем плодовитость составляет 17,32

экз./самку, смертность 28 % круглогодично; для сточных вод птицефабрик рекомендуем использовать *Ceriodaphnia affinis* плодовитость 16,97 экз./самку, смертность 26 % круглогодично. Для сточных вод металлургических предприятий необходимо использовать в I-ом технологическом режиме - *Daphnia magna* (плодовитость 4,31 экз./самку, смертность 14 %), во II-ом технологическом режиме – *Ceriodaphnia affinis* (плодовитость 20,31 экз./самку, смертность 11 %); для сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий в I-ом технологическом режиме – *Daphnia magna* (плодовитость 17,85 экз./самку, смертность 39 %), во II-ом технологическом режиме чувствительный вид – *Ceriodaphnia affinis* (плодовитость 4,89 экз./самку, смертность 26 %). Для сточных вод жилищно-коммунальных хозяйств в I-ом технологическом режиме рекомендуем использовать лишь *Ceriodaphnia affinis* (плодовитость 18,89 экз./самку, смертность 27 %), во II-ом технологическом режиме одинаково подходят и *Daphnia magna* (плодовитость 5,08 экз./самку, смертность 27 %), и *Ceriodaphnia affinis* (плодовитость 19,31 экз./самку, смертность 21 %). Выявленные показатели смертности и плодовитости дафний отражают динамику концентрации загрязнителей в сточных водах и, одновременно, биоиндикационно маркируют токсичность среды.

В подразделе 3.2. приведена сравнительная характеристика удовлетворительного (норма) и неудовлетворительного (период перед началом вспухания) состава биоценоза активного ила. Исследования показали, что при биоиндикации процесса биологической очистки, следует учитывать изменения количественного состава популяций макро- и микрофауны активного ила в зависимости от технологических режимов работы предприятий (на примере очистных сооружений ЗАО «Рязанская нефтеперерабатывающая компания»).

Согласно полученным данным, в аэротенках (активный ил в норме) при высокой производственной мощности работы предприятия численность популяции раковинных амёб на 31 % выше в сравнение с таковой при низкой мощности, в котором присутствует 127 тыс. экз./г (рисунок 1).



Рисунок 1 – Динамика численности популяции Амебы раковинной (*Testacea*) при разных мощностях работы нефтеперерабатывающего предприятия

Прикрепленные инфузории рода *Vorticella* являются информативными индикаторами, которые эффективно реагируют на повышение концентрации загрязняющих веществ, до начала вспухания активного ила (рисунок 2).

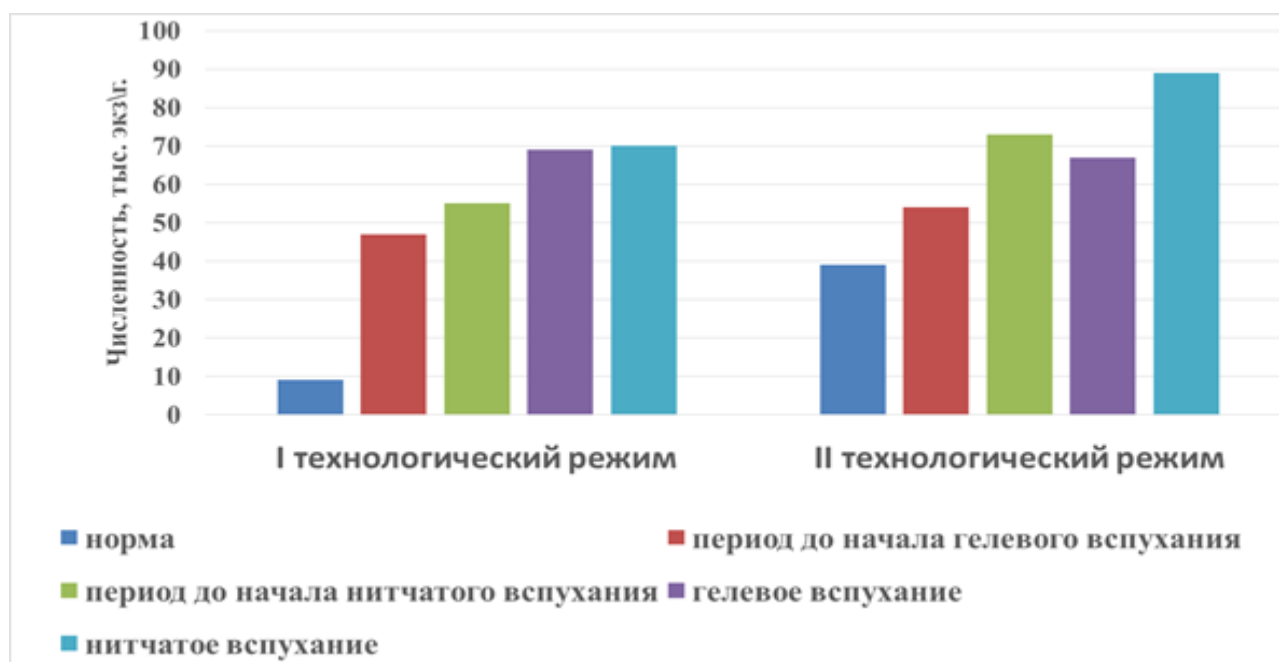


Рисунок 2 – Динамика численности прикрепленных инфузорий при разных мощностях работы нефтеперерабатывающего предприятия

Как показали наблюдения, численность инфузорий в биоценозе активного ила подвержена изменениям при различных технологических режимах.

В I-ом технологическом режиме, при удовлетворительной работе очистных сооружений, в аэротенках обитает 105 тыс. экз./г инфузорий рода *Vorticella*. В период до начала нитчатого и гелевого вспухания обнаруживается интенсивное снижение численности особей популяции – на 63 и 76 % соответственно. Во II-ом технологическом режиме численность инфузорий, при удовлетворительной работе аэротенков, снижается на 15 % по сравнению с I-м. В период перед началом гелевого вспухания численность инфузорий снижается на 63 %, нитчатого – на 76 %, что является индикаторным для проведения профилактических работ по предотвращению гибели активного ила с целью продления его жизнеспособности.

В аэротенках, при удовлетворительных условиях работы очистных сооружений, свободноплавающие инфузории составляют от 11 до 16 экз./см³ в зависимости от технологического режима (рисунок 3). Численность популяции свободноплавающих инфузорий активного ила в I-ом технологическом режиме интенсивно увеличивается в период перед началом гелевого вспухания на 56, нитчатого – на 48 % соответственно.

Такая динамика численности вызвана изменением среды стоков, повышенным содержанием тяжелых металлов, в частности, железо 5 ПДК). Во II-ом техноло-

гическом режиме, при удовлетворительной работе аэротенков, видовое разнообразие свободноплавающих инфузорий увеличивается. В период перед началом гелевого и нитчатого вспуханий наблюдается интенсивное увеличение численности их популяции на 60 %, что свидетельствует о токсичности сточных вод, вызванной повышением массовой концентрации аммонийных ионов (22 ПДК) и фосфат-ионов (3 ПДК).

В процессе вспухания активного ила наблюдается резкое снижение численности свободноплавающих инфузорий, что приводит к его гибели.

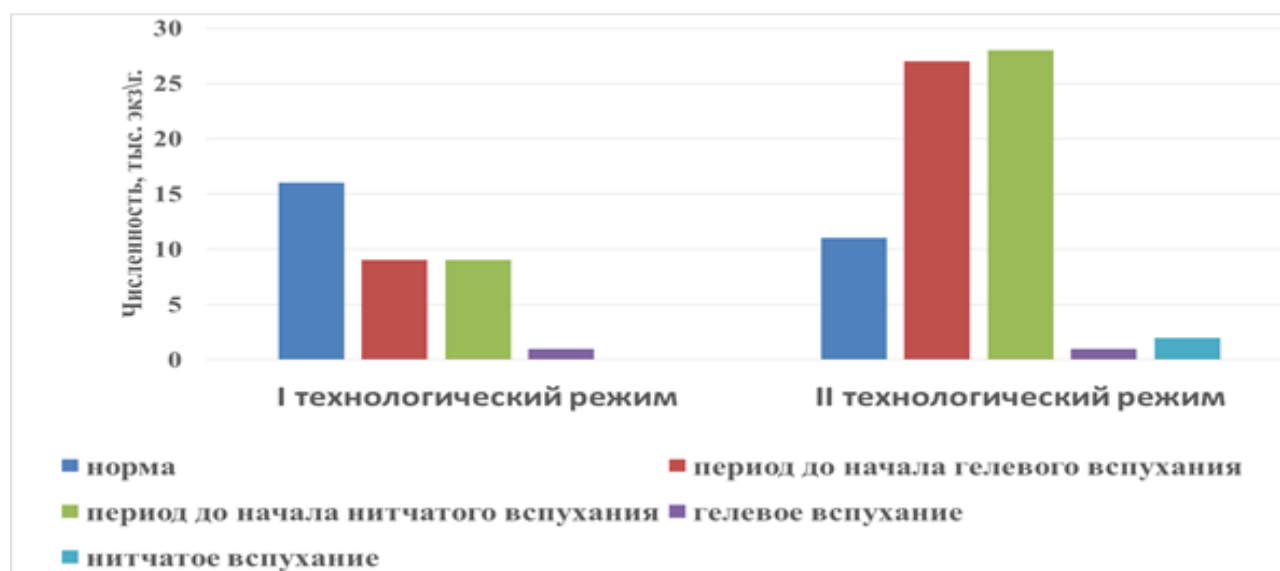


Рисунок 3 – Динамика численности популяции свободноплавающих инфузорий (отряд *Hymenostomatida*) при разных технологических режимах работы нефтеперерабатывающего предприятия

Состав популяции автотрофных эвгленовых в активном иле представлен видами, динамика численности которых зависит от технологических режимов работы предприятия (рисунок 4).

В I-ом технологическом режиме, в период перед началом гелевого вспухания, численность популяции жгутиковых снижается на 41 %, перед нитчатым – на 66 % по отношению к норме (при удовлетворительной работе аэротенков).

Снижение численности популяции мелких жгутиконосцев на 49 %, во II-ом технологическом режиме, в период перед началом гелевого вспухания, свидетельствует о нарушениях, вызванных неудовлетворительной работой очистных сооружений, что приводит к распаду хлопьев ила – дефлокуляции. Численность популяции жгутиковых также снижается перед началом нитчатого вспухания на 83 %. Вызвано это низким содержанием кислорода в иловой смеси, т.е. при БПК₅ приближенном к нулю. Коловратки являются перспективным индикаторным тест-объектом состояния активного ила, так как они остро реагируют на повышение концентрации загрязнителей в среде аэротенков. Численность популяции коловраток в аэротенках преобладает в I-ом технологическом

режиме и составляет в норме 17 тыс. экз./г. Во II-ом технологическом режиме они вытесняются другими видами биоты активного ила.

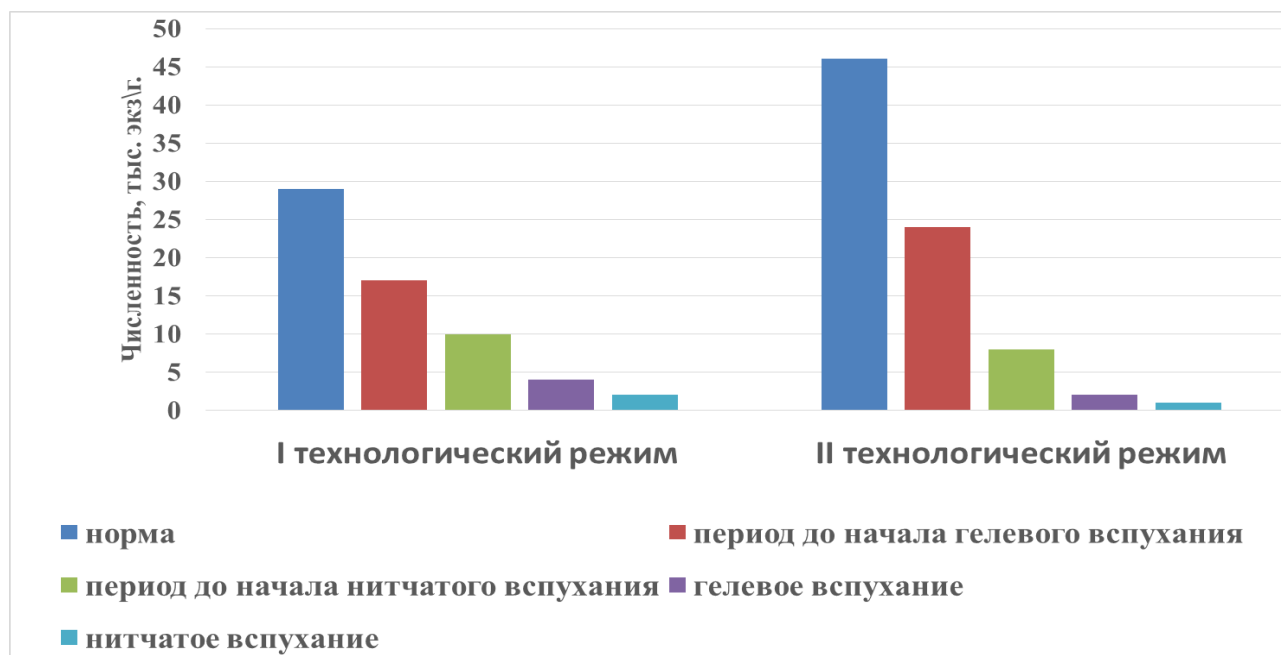


Рисунок 4 – Динамика численности популяции жгутиковых (*Mastigofora*) при разных технологических режимах работы нефтеперерабатывающего предприятия

В случае если численность коловраток составляет менее 5 тыс. экз./г пробы (в норме), в активном иле наступает критическое состояние для поддержания трофической цепи. Коловратки чувствительны к загрязнению сточных вод. При превышении ПДК таких загрязнителей, которые вызывают вспухание: аммонийные ионы, фосфат-ионы, нитрит-ионы, нитрат-ионы, сульфат-ионы, численность коловраток снижается до минимума или равна 0.

При удовлетворительной работе аэротенков в активном иле имеется небольшое количество нитчатых бактерий (род *Sphaerotilus*), однако много *Protozoa* (инфузории, амебы, жгутиковые), коловратки (рисунок 5).

При нарушении удовлетворительных условий работы аэротенков в активном иле начинают развиваться нитчатые бактерии и снижается численность популяции *Protozoa*.

В I-ом технологическом режиме в период перед началом нитчатого вспухания отмечается бурное развитие бактерий, увеличение численности их популяции на 93 %. Тогда как перед началом гелевого вспухания численность популяции равна 0, что является важным индикаторным показателем. Во II-ом технологическом режиме в период перед началом гелевого вспухания, прослеживается та же динамика, что и в I-ом. Численность нитчатых бактерий интенсивно растет до 94 % по отношению к норме, перед гелевым вспуханием снижается до 0. Нитчатые бактерии эффективно реагируют на изменения окружающей

среды, поэтому являются маркерным тест-объектом начала процесса нитчатого вспухания ила.



Рисунок 5 – Динамика численности нитчатых бактерий (род *Sphaerotilus*) при разных технологических режимах работы нефтеперерабатывающего предприятия

Сокращение видового разнообразия фауны активного ила при размножении бактерий рода *Zoogloea* позволяет констатировать период перед началом гелевого вспухания. При удовлетворительном составе активного ила численность вида *Zoogloea ramigera* в I-ом технологическом режиме составляет 10 тыс. экз./г, во II-ом технологическом режиме – 19 тыс. экз./г (рисунок 6).

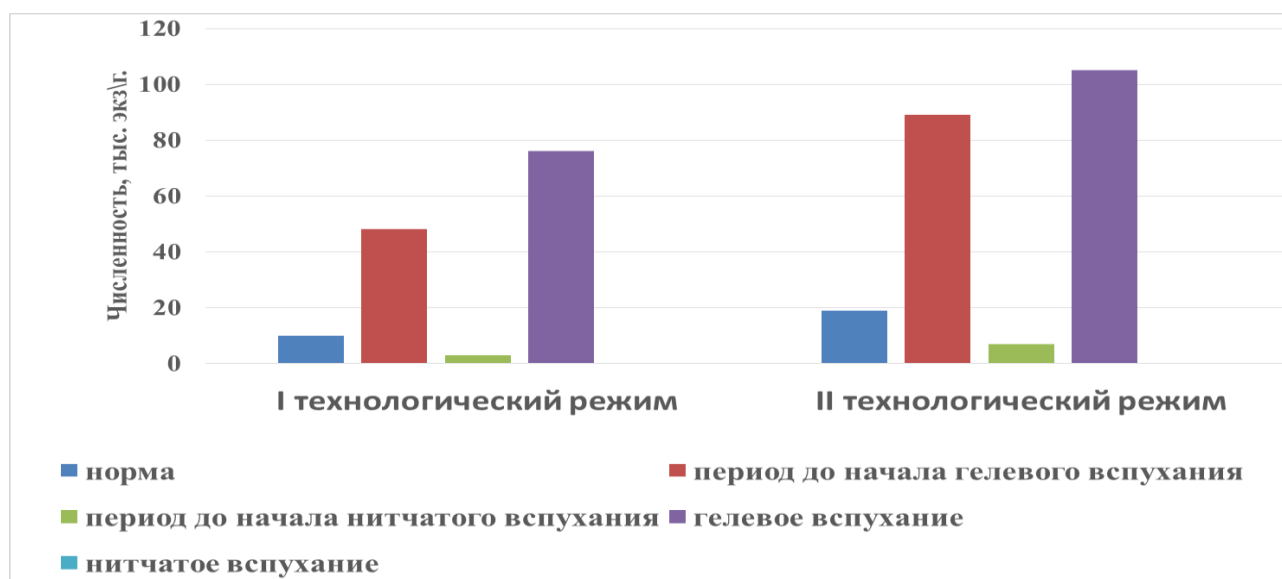


Рисунок 6 – Динамика численности вида *Zoogloea ramigera* при разных технологических режимах работы нефтеперерабатывающего предприятия

Так как бактерии вида *Zoogloea ramigera* остро реагируют на превышения концентрации нефтепродуктов в сточной воде (до 2,28 мг/дм³), в период перед началом гелевого вспухания численность колоний бактерий увеличивается на 79 % независимо от технологического режима. В период перед началом нитчатого вспухания численность вида *Zoogloea ramigera* снижается по отношению к норме в I-ом технологическом режиме на 70 %, во II-ом на 63 %.

Таким образом, в период перед началом гелевого вспухания индикаторным тест-объектом является вид *Zoogloea ramigera*, как в I-ом, так и во II-ом технологических режимах работы нефтеперерабатывающего предприятия.

В подразделе 3.3. приведены эколого-морфологические показатели этологии инфузорий (инцистирование, хемотаксис, втягивание перистомы, отрыв зооида от стебелька) при разных технологических режимах работы нефтеперерабатывающего предприятия. При исследовании очистки промышленных стоков, в активном иле аэротенков, были обнаружены следующие виды инфузорий отряда *Peritrichia*: *Dendrosoma radians*, *Epistylis chrysemydis*, *Epistylis plicatilis*, *Epistylis thienemanni*, *Vorticella alba*, *Vorticella convallaria*, *Vorticella submicrostoma*, *Carchesium batorligetiense*.

Исследования показали, что в аэротенках инфузории видов *Vorticella convallaria*, *Vorticella alba*, *Vorticella submicrostoma*, при удовлетворительном состоянии активного ила, независимо от технологического режима работы предприятия, имеют постоянную численность. Однако при изменении технологического режима работы предприятия возникает усиление антропогенного давления на биоту активного ила очистных сооружений, что периодически вызывает его гибель (вспухание).

В биоценозе активного ила при нормальном функционировании аэротенков, независимо от технологического режима работы предприятия, обнаружено, что виды *Vorticella convallaria* (20-22 тыс. экз./г), *Vorticella alba* (14 тыс. экз./г) и *Vorticella submicrostoma* (16-17 тыс. экз./г) имеют стабильную численность, что не является информативным для биоиндикации при определении типа вспухания. В I-ом режиме прослеживается следующая динамика численности вида *Vorticella convallaria*: число зооидов, перед началом гелевого вспухания, снижается на 85 %, нитчатым – 55 %. У видов *Vorticella alba* в первом случае снижается на 57 %, во втором – на 43 %, *Vorticella submicrostoma* – на 56 и 50 % соответственно. Данная динамика численности является маркерным признаком, определяющим начало периода перед гибелью ила и требующего профилактического вмешательства для его спасения. Во II-ом технологическом режиме прослеживается та же тенденция: снижение численности одноклеточных вида *Vorticella convallaria*, *Vorticella alba*, *Vorticella submicrostoma* перед началом гелевого вспухания, на 91, 71, 76 %, нитчатого – на 82, 50, 71 %. У остальных видов инфузорий активного ила нет системной зависимости численности от условий среды.

Изменение размеров тела зооидов разных видов рода *Vorticella* индикаторно отражает условия среды в аэротенках перед началом вспухания активного ила. Длина тела зооидов вида *Vorticella convallaria* при удовлетворительной

работе аэротенков составляет в среднем 305-317 мкм, при этом в течение всего года, при высокой жизнеспособности ила, показатель стабилен, что является индикатором для определения типа вспухания.

Основные эколого-морфологические параметры поведения рода *Vorticella* при неблагоприятном режиме работы аэротенков представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Эколого-морфологические показатели этологии инфузорий активного ила в зависимости от токсичности среды при разных технологических режимах работы предприятия

Показатели эколого-морфологической этологии	Технологический режим работы предприятий					
	I-й			II-ой		
	норма	состояние перед вспуханием		норма	состояние перед вспуханием	
		гелевым	нитчатым		гелевым	нитчатым
<i>вид Vorticella convallaria</i>						
инцистирование	-	+	+	-	+	+
хемотаксис	-	+	-	-	+	+
втягивание перистома	-	+	+	-	+	+
отрыв зооидов от стельков	-	+	-	-	+	+
<i>вид Vorticella alba</i>						
инцистирование	-	-	-	-	-	-
хемотаксис	-	+	-	-	+	-
втягивание перистома	-	+	-	-	+	-
отрыв зооидов от стельков	-	+	-	-	+	-
<i>вид Vorticella submicrostoma</i>						
инцистирование	-	+	+	-	+	+
хемотаксис	-	-	+	-	-	+
втягивание перистома	-	-	+	-	-	+
отрыв зооидов от стельков	-	-	+	-	-	+

«+» - данный показатель характерен поведению инфузории, «-» - данный показатель поведения инфузории отсутствует

В I-ом технологическом режиме работы предприятия в активном иле у вида *Vorticella convallaria* в период перед началом гелевого вспухания наблюдается образование цист. В аэротенках увеличивается количество зооглейных скоплений, у инфузории происходит втягивание перистома, отрыв тела от стебелька, передвижение зооида-бродяжки в благоприятную среду. Перед началом нитчатого вспухания у представителей вида *Vorticella convallaria* фиксируется втягивание перистома, а также происходит цистирование. Данные изменения в поведении являются показательными для биоиндикации, так как отражают период перед началом гелевого вспухания. Во II-ом технологическом режиме работы предприятий, анализ химического состава сточных вод свидетельствует об увеличении концентрации аммонийных ионов и фосфат-ионов. При исследовании активного ила, полученного в этом технологическом режиме, перед началом его вспухания (как нитчатого, так и гелевого) фиксировалось увеличение инцистирования инфузории вида *Vorticella convallaria*, втягивание особями перистома в цитоплазму клетки и его закрытие, учащается скручивание стебелька, что, в последствие, сказывается на отрыве зооида с дальнейшим хемотаксисом.

Вид инфузорий *Vorticella alba*, при I-ом технологическом режиме работы предприятия, индикаторно реагирует на загрязнение сточных вод. В период перед началом гелевого вспухания фиксируется втягивание перистома у зооидов. У части экземпляров происходит отрыв зооидов от стебелька, что вызывает хемотаксис. Во II-ом технологическом режиме маркерным является поведение этих инфузорий в период перед гелевым вспуханием активного ила.

Представители вида *Vorticella submicrostoma* индикаторно реагируют перед началом нитчатого вспухания. Поведение их зооидов обусловлено увеличением нитчатых бактерий, что нарушает биоценоз активного ила в целом, и, как следствие, изменяет трофическую схему питания.

Таким образом, эколого-морфологические показатели этологии инфузорий (инцистирование, хемотаксис, втягивание перистомы, отрыв зооида от стебелька) видов *Vorticella convallaria*, *Vorticella submicrostoma*, *Vorticella alba* являются индикаторными реакциями на изменение среды, происходящими перед гелевым и нитчатым вспуханием активного ила. Эти показатели необходимо использовать при биоиндикации активного ила в аэротенках, для проведения экспресс-контроля жизнеспособности активного ила.

В разделе заключение приведены аргументы по эффективности использования результатов исследований, перечислены показатели различных тест-объектов для биоиндикации жизнеспособности активного ила в аэротенках, акцентировано внимание на необходимости учета технологического режима работы предприятия при выборе тест-объектов для биотестирования сточных вод в лабораториях гидрохимического анализа.

ВЫВОДЫ

1. При проведении биотестирования токсичности сточных вод для молокозаводов, мясокомбинатов и птицефабрик эффективными тест-объектами являются *Ceriodaphnia affinis* круглогодично; для металлургического и нефтеперерабатывающего предприятий – при низкой производственной мощности работы предприятия *Daphnia magna*, при высокой – *Ceriodaphnia affinis*; для жилищно-коммунального хозяйства – в первом случае *Ceriodaphnia affinis*, во втором – эффективны оба тест-объекта.
2. Увеличение численности популяции нитчатых бактерий в активном иле свыше 1745 тыс. экз./г индикаторно отражает период перед началом его нитчатого вспухания при высокой производительной мощности работы предприятия; при низкой – свыше 1469 тыс. экз./г. Индикаторная динамика численности популяции бактерии вида *Zooglea ramigera*, перед началом гелевого вспухания, следующая: при высокой производительной мощности наблюдается увеличение численности свыше 89 тыс. экз./г, низкой – свыше 48 тыс. экз./г.
3. Динамика эколого-морфологических показателей этологии инфузорий активного ила (инцистирование, хемотаксис, втягивание перистомы, отрыв зооида от стебелька) является индикаторным показателем изменения среды в аэротенках. Эффективными тест-объектами, при низкой производственной мощности работы нефтеперерабатывающего предприятия, перед началом гелевого вспухания, являются виды *Vorticella convallaria*, *Vorticella alba*, нитчатого – *Vorticella submicrostoma*; при высокой мощности – *Vorticella convallaria*, *Vorticella alba* и *Vorticella submicrostoma*, *Vorticella convallaria* соответственно.

Список опубликованных статей в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Мониторинг качества молока и йогуртов в зависимости от экологической чистоты воды и кормов, используемых для коров / Е. А. Шашурина, Л. Б. Зутова, С. А. Нефедова, А. А. Коровушкин // Аграрная Россия. – 2012. – № 9. – С. 15-18.
2. Эффективность очистки сточных вод, используемых для водопоя сельскохозяйственных животных, во взаимосвязи с биоиндикационными реакциями биоты водоёмов / С. А. Нефедова, А. А. Коровушкин, Л. Б. Зутова, И. А. Ипатов // Вестник Рязанского Государственного Агротехнологического университета. – 2014. – № 1 (21). – С. 64-69.
3. К вопросу выбора тест-чувствительных гидробионтов для биотестирования воды в лабораторных, производственных и естественных условиях / С. А. Нефедова, А. А. Коровушкин, Д. Г. Минин, И. А. Ипатов, Л. Б. Зутова // Теоретическая и прикладная экология. – № 3. – 2014. – С. 14-20.
4. Зутова, Л.Б. Адаптивные реакции дафний к гидрохимическому составу сточных вод в различные сезоны года / Л. Б. Зутова, С. А. Нефедова // Проблемы региональной экологии. – 2014. – № 4. – С. 29-32.

Статьи, опубликованные в других изданиях:

5. Экологический мониторинг состава биоценоза активного ила при эффективной очистке сточных вод нефтеперерабатывающего предприятия / Л. Б.

Зутова, Е. Л. Каплинская, А. А. Коровушкин, С. А. Нефедова // Материалы Международной заочной научно-практической конференции «Актуальные проблемы естественных наук», Новосибирск. – 2011. – С. 16-19.

6. **Зутова, Л. Б.** Эффективность методики формирования активного ила очистных сооружений / **Л. Б. Зутова, С. А. Нефедова, М. Ю. Афанасьев** // Материалы 63-ей научно-практической конференции «Инновационные направления и методы реализации научных исследований в АПК. – 2012. – С. 232-235.

7. Нефедова, С. А. Об эффективности биоиндикационных исследований при анализе антропогенного загрязнения водоёмов / С. А. Нефедова, А. А. Коровушкин, И. А. Ипатов, **Л. Б. Зутова** // Вестник мичуринского филиала российского университета кооперации. – 2013. – № 3. – С. 146-148.

8. Кариотипические исследования лимфоцитов животных при биоиндикационном исследовании на экологически неблагоприятных территориях / А. А. Коровушкин, С. А. Нефедова, Н. Н. Коченов, М. Ю. Афанасьева, **Л. Б. Зутова** // Материалы V конференции «Цитоморфометрия в медицине и биологии: фундаментальные и прикладные аспекты» при МОНКИ им. М.Ф. Владимирского, Москва. – 2012. – С. 61-62.

9. Биоиндикация при загрязнении окружающей среды нефтепродуктами и отходами кожевенного производства / С. А. Нефедова, **Л. Б. Зутова, И. Ю. Корнеева, А. А. Коровушкин, Е. С. Иванов, Ю. В. Доронкин** // Вестник Мичуринского филиала Российского университета кооперации. – 2013. – № 3. – С. 130-134.

10. **Зутова, Л. Б.** Бактериальный состав активного ила в зависимости от нагруженности аэротенков / **Л. Б. Зутова, С. А. Нефедова** // Материалы Международной заочной научно-практической конференции «Интеграция науки и бизнеса в агропромышленном комплексе», Курган. – 2014. – Том 3. – 2014. – С. 207-210.

11. **Зутова, Л. Б.** Влияние химического состава сточных вод на активный ил / **Л. Б. Зутова, С. А. Нефедова** // Материалы XII международной студенческой научной конференции «знания молодых – Будущее России», Киров. – 2014. – С. 112-114.

12. **Зутова, Л. Б.** Биоценоз активного ила при эффективной очистке сточных вод в зависимости от сезона года / **Л. Б. Зутова, С. А. Нефедова** // Материалы межвузовской научно-практической конференции РГАТУ, Рязань. – 2014. – С. 41-44.

13. **Зутова, Л. Б.** Эффективность биоиндикации и биотестирования при оценке токсичности сточных вод / **Л. Б. Зутова** // Вестник совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева, Рязань. – 2016. – № 1(2). – С. 35-41.

Зутова Любовь Борисовна (Россия)

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ ДЛЯ
БИОИНДИКАЦИИ И БИОТЕСТИРОВАНИЯ ТОКСИЧНОСТИ СТОЧНЫХ
ВОД**

Выявленная эффективность смены тест-объектов – дафний (*Ceriodaphnia affinis* и *Daphnia magna*), позволяет повысить точность лабораторных исследований по определению токсичности сточных вод. Доказано, что маркерными индикаторами жизнеспособности гидробионтов активного ила, отражающими его состояние перед вспуханием, является динамика численности популяции нитчатых бактерий и вида *Zoogloea ramigera*. Эти данные позволят вовремя принять меры и предотвратить его вспухание, тем самым продлить жизнедеятельность ила, минимизировать выпадение нежелательного осадка на дно аэротенков. Эколого-морфологические показатели этологии инфузорий активного ила (инцистирование, хемотаксис, втягивание перистомы, отрыв зооида от стебля) также являются индикаторными ответами на изменение среды, происходящими перед вспуханием активного ила.

Zutova Lubov Borisovna (Russia)

**THE EFFICIENCY OF THE USE OF AQUATIC ORGANISMS FOR
BIOINDICATION AND BIOTESTING WASTEWATER TOXICITY**

Revealed the efficiency change of the test objects daphnia (*Ceriodaphnia affinis*, and *Daphnia magna*), allows to increase the accuracy of laboratory researches on determination of toxicity of wastewater. It is proved that a marker indicators of the viability of aquatic organisms of active sludge, reflecting its status before spokane is a dynamics in the population of filamentous bacteria and *Zoogloea ramigera* view. These data will allow time to take action and prevent it from spokane, thereby extend the life of sludge, to minimize the unwanted deposition of sediment on the bottom of the aeration tanks. Ecologo-morphological indicators ethology of ciliates of activated sludge (insistiranje, chemotaxis, drawing peristome, the separation of the zooid from the stalk) are also indicator responses to the changing environment occurring before spokane activated sludge.