

*На правах рукописи*

**Шаплыгина Юлия Николаевна**

**РОЛЬ ПРЭСНОВОДНЫХ МОЛЛЮСКОВ В САМООЧИЩЕНИИ ВОДЫ  
ДЕЛЬТЫ РЕКИ ВОЛГИ**

Специальность: 03.02.10 - Гидробиология

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

17 ОКТ 2013



Астрахань, 2013

Работа выполнена на кафедре ботаники, почвоведения и биологии экосистем  
ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный университет»

**Научный руководитель:**

доктор биологических наук, профессор  
**Курочкина Татьяна Федоровна**

**Официальные оппоненты:**

**Абдуллаев Хизри Тинамагомедович**  
кандидат биологических наук, доцент  
кафедры ихтиологии биологического  
факультета ФГБОУ ВПО «Дагестанский  
государственный университет»

**Крючков Виктор Николаевич**  
доктор биологических наук, профессор  
кафедры гидробиологии и общей экологии  
ФГБОУ ВПО «Астраханский  
государственный технический университет»

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное образовательное  
учреждение высшего профессионального  
образования «Московский государственный  
университет имени М.В.Ломоносова»

Защита состоится « 13 » ноября 2013 г. в «14.00» часов на заседании  
диссертационного совета Д.307.001.05 при Астраханском государственном техническом  
университете, по адресу: 414025, Астрахань, ул. Татищева, 16, главный учебный корпус,  
ауд. 313.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Астраханского государственного  
технического университета по адресу: 414025, Астрахань, ул. Татищева, 16.

Отзывы на автореферат диссертации просим направлять по адресу: 414025, г.  
Астрахань, ул. Татищева 16, ФГБОУ ВПО «АГТУ», диссертационный совет Д.307.001.05,  
тел./факс (8512) 54-91-03, e-mail: melyakina\_el@mail.ru

Автореферат разослан « 8 » октября 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук



Мелякина Эльвира Ивановна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Дельта р. Волги – уникальный водоем, являющийся внутренним наиболее продуктивным рыбопромысловым регионом РФ, с огромным запасом углеводородных ресурсов и биологических богатств, не имеющих аналогов в мире, сегодня испытывает значительное антропогенное воздействие. Экосистема дельты р. Волги подвергается интенсивной разнофакторной антропогенной нагрузке ввиду широкого концентрационного диапазона поллютантов, мигрирующих из одной подсистемы в другую, аккумулируясь и вызывая загрязнение. Регламентация загрязнения пресноводных экосистем тяжелыми металлами основана, прежде всего, на определении их содержания в воде, хотя значительная часть тяжелых металлов мигрирует в составе взвешенных веществ и оседает на дно. Для оценки уровня загрязнения водотоков ионами тяжелых металлов часто используются методы биоиндикации, в частности с участием пресноводных моллюсков [Безматерных, 2007]. Значительно реже исследуется воздействие антропогенных факторов на пресноводных двустворчатых моллюсков, являющихся важным компонентом комплекса организмов, принимающих участие в самоочищении водоемов, формировании качества воды и улучшения санитарно-гигиенического состояния водной экосистемы.

Особую актуальность с точки зрения реальных и возможных биологических последствий приобретает использование пресноводных моллюсков дельты р. Волги в мониторинге накопления тяжелых металлов в водной экосистеме. Пресноводные двустворчатые моллюски, принимающие участие в трансформации, деструкции органических веществ и миграции тяжелых металлов занимают особое место среди организмов, обитающих в контактной зоне вода–дно [Phillips, Zadory, 1977]. Они являются одним из функциональных звеньев экосистем, через которые проходят потоки микроэлементов с последующим их отложением в донные осадки [Курочкина, Калабеков, Седякин, 2001]. Однако, несмотря на то, что пресноводные двустворчатые моллюски способны аккумулировать в своем организме тяжелые металлы, содержание последних намного ниже ПДК для гидробионтов, поэтому возможно использование пресноводных двустворчатых моллюсков не только в качестве биоиндикаторов качества природных вод, но и в качестве биосорбента при самоочищении водных экосистем дельты р. Волги.

**Цель и задачи исследования.** Цель настоящих исследований состояла в изучении сорбционной способности пресноводных моллюсков, обитающих в дельте р. Волги, по отношению к тяжелым металлам, их роли в процессах самоочищения водоемов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучить таксономический состав, количественные показатели развития, соотношение и доминирование основных групп малакофауны по районам исследования;
- изучить уровень накопления тяжелых металлов в пресноводных двустворчатых моллюсках дельты р. Волги и среде их обитания в зависимости от времени года;
- оценить интегральную значимость малакофауны водоемов дельты р. Волги;
- изучить в экспериментальных условиях физиологические реакции моллюсков, вызванные действием тяжелых металлов;
- количественно оценить биофильтрационную роль моллюсков-фильтраторов на примере вида *Unio pictorum* в самоочищении вод дельты р. Волги;

**Научная новизна.** Обобщены сведения о современном состоянии малакофауны дельты р. Волги по районам исследования и определен состав видов пресноводных моллюсков как сообщество организмов, представляющих биоценологическую единицу, которую можно рассматривать в качестве модели для изучения закономерностей функционирования водных экосистем.

Впервые выявлена динамика накопления тяжелых металлов в организме пресноводных моллюсков водотоков дельты р. Волги при продвижении от г. Астрахани вниз по течению к култушной зоне, а также закономерность в ряду количественные показатели пресноводных моллюсков – индексы видового разнообразия - содержание тяжелых металлов в организме пресноводных моллюсков.

Проведенные исследования, направленные на изучение накопительной способности пресноводных моллюсков дельты р. Волги, позволили выявить количественное содержание тяжелых металлов в организме данных гидробионтов и научно обосновать возможность использования пресноводных двустворчатых моллюсков для очистки воды от тяжелых металлов.

Экспериментально доказана токсикологическая нагрузка со стороны действия тяжелых металлов на донные организмы на примере пресноводных двустворчатых моллюсков дельты р. Волги и выявлена их фильтрационная способность.

Определена роль малакофауны в самоочищении и восстановлении водных экосистем дельты р. Волги.

**Практическая значимость.** Результаты проведенных исследований по изучению аккумулятивных свойств пресноводных двустворчатых моллюсков подтвердили их роль в самоочищении и оздоровлении водоемов дельты р. Волги, что является основой для разработки биотехнологических методов очищения водоемов от загрязнений антропогенного происхождения.

Результаты работы могут использоваться в области восстановления водных экосистем, оздоровления водоемов (в том числе городских каналов), улучшения их санитарно-гигиенического состояния, а также для благоустройства водных объектов и биомониторинге природных вод.

Создана модель мониторинговых исследований с последующим формированием электронной Базы Данных (БД) для оперативной обработки, анализа и сравнения современных данных с предыдущими исследованиями.

Результаты исследований используются при чтении курсов «Водная токсикология», «Мониторинг загрязнения окружающей природной среды» для студентов и магистров биологических специальностей «Рациональное использование природохозяйственных комплексов» и «Охрана окружающей среды и рациональное использование природоохранных комплексов» по направлению «Экология и природопользование».

Кроме того, автор, во время написания данной работы, вел образовательную деятельность среди студентов среднего специального образовательного учреждения, подготовил с группой студентов ряд научно-исследовательских работ, которые стали лауреатами нескольких Всероссийских и Международных конкурсов (Диплом II степени Российского заочного конкурса «Юность, Наука, Культура», Лауреат Всероссийского заочного молодежного конкурса научно-исследовательских работ по проблемам культурного наследия, экологии и безопасности жизнедеятельности, Лауреат V открытой Международной научно-исследовательской конференции молодых исследователей «Образование. Наука. Профессия»).

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

- современное состояние малакофауны дельты р. Волги с учетом факторов среды;
- интегральная значимость малакофауны водоемов дельты р. Волги;
- пресноводные моллюски как индикаторы загрязнения водных объектов тяжелыми металлами;
- моделирование процесса интоксикации тяжелыми металлами пресноводных моллюсков на примере *Unio pictorum*;

– фильтрационная способность пресноводных моллюсков и их роль в самоочищении экосистемы исследуемых водоемов дельты р. Волги;

**Апробация работы.** Результаты исследований представлены на научных конференциях: Международной научно-практической конференции «Современные аспекты экологии и экологического образования», (Назрань, 2007); «Экология биосистем: проблемы изучения, индикации и прогнозирования» (Астрахань, 2009); VI Всероссийский конкурсный отбор инновационных проектов студентов, аспирантов и молодых ученых, проводимого ГОУ ВПО «Российский государственный университет инновационных технологий и предпринимательства» (Москва, 2010); Конкурс молодых ученых «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (У.М.Н.И.К.) (Астрахань, 2010); VIII Всероссийский молодежный форум по проблемам культурного наследия, экологии и безопасности жизнедеятельности «ЮНЭКО 2010»; V Открытой Международной научно-исследовательской конференции молодых исследователей (старшеклассников и студентов) «Образование. Наука. Профессия», (Отрадное Самарской области, 2011 г.); Российском заочном конкурсе «Юность, Наука, Культура», 2011г.; Всероссийском открытом заочном конкурсе достижений талантливой молодежи «Национальное Достояние России» 2011 г.; Международная молодежная научно-практическая конференция «Приоритеты и интересы современного общества» (Астрахань, 2011); Международной научной конференции «Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности АСТИНТЕХ - 2011» (Астрахань, 2011); VIII Международной научно-практической конференции «Найновите научни постижения - 2012» (София, Болгария); VIII Международной научно-практической конференции «Přední vědecké novinky – 2012» (Прага, Чехия).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 11 статей, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации материалов диссертации.

**Структура и объем диссертации.** Общий объем диссертации составляет 139 страниц в компьютерном варианте. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, заключения, списка литературы, включающего 223 библиографические ссылки, из них 47 иностранных источников. Работа содержит 42 рисунка, 19 таблиц и приложение.

## ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Дается подробный анализ исследований в области малакологии дельты р. Волги, начиная со второй половины 18-го века, включая работы П.С. Палласа, Э. Эйхвальда, А.С. Скорикова, А.А. Остроумова, Н.Д. Чугунова, А.Л. Бенинга и др.. Отражены направления работы В.С. Ивлева (1939), М.С. Идельсона (1946), Т.Н. Баклановской (1956). Обращают на себя внимание работы А.А. Косовой (1958, 1960) по бентосу западной части низовьев р. Волги, Ф.Д. Мордухай-Болтовского, обобщившего имеющиеся сведения по бентосу дельты Волги, Б.М. Насибулиной и данные о распределении видов, в частности по моллюскам. Особый интерес представляют труды сотрудников Астраханского государственного биосферного заповедника В.В. Пирогова (1970) и В.А. Фильчакова (1990), которые подробно описали и систематизировали видовое разнообразие и семейства моллюсков, дали зоогеографическую характеристику малакофауны дельты Волги и сезонную динамику их распространения.

Отражена история исследований накопительной способности организмов. Описаны свойства и формы распределения тяжелых металлов в воде и донных отложениях дельты р. Волги, цитотоксичность и способность тяжелых металлов образовывать прочные комплексы со многими органическими и неорганическими соединениями.

Анализируя проведенные исследования и учитывая перспективы развития Астраханского региона в будущем, считаем наиболее актуальным и необходимым в настоящее время определение возможной токсикологической нагрузки со стороны действия тяжелых металлов на донные организмы на примере пресноводных двусторчатых моллюсков и выявления наиболее чувствительных к загрязнению тяжелыми металлами зон дельты Волги.

## ГЛАВА II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом к настоящей работе послужили собственные сборы моллюсков в различных водоемах дельты Волги, проведенные в весенне-осенний период 2009-2011 г.г., а также литературные данные, имеющие отношение к данному району. Описаны виды биологического мониторинга пресноводных моллюсков водоемов дельты р. Волги в современных условиях. Дана характеристика структуры биоценозов по видовому разнообразию. За указанный период всего было собрано и обработано по 288 проб воды, биологического материала, собранных на 8 станциях, расположенных в дельте р. Волге (рисунок 1).

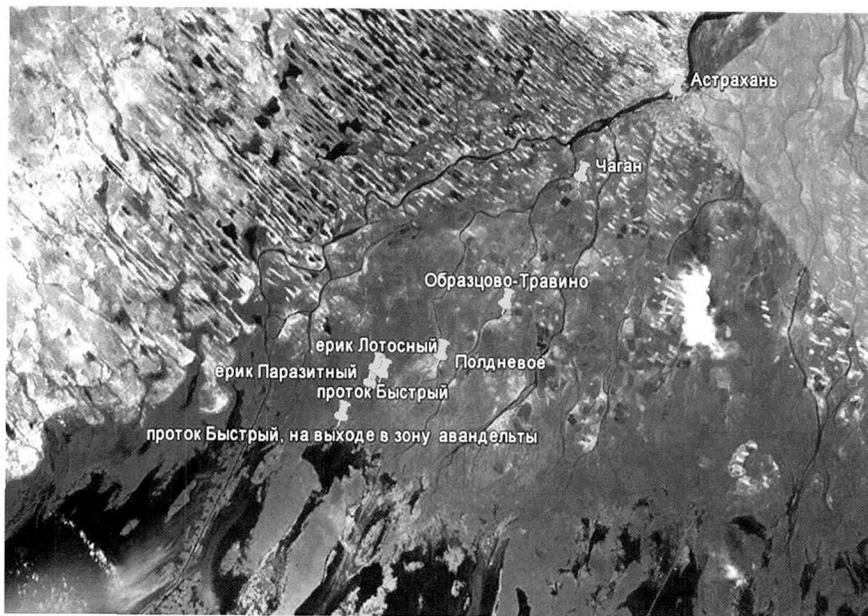


Рисунок 1. Станции отбора проб

Анализ количественной пробы моллюсков включал в себя 3 этапа: видовой анализ, определение численности и биомассы каждого вида.

Собранные моллюски определялись по определителю Жадина В.И. и каталогу моллюсков России и сопредельных стран [Кантор, Сысоев, 2005]. Численность организмов данного вида определяли прямым подсчетом особей в пробе, биомассу – взвешиванием на торсионных весах.

Для получения количественных характеристик видовой структуры пресноводных моллюсков использовались индексы Шеннона, Симпсона, Пилу, Маргалефа [Безматерных, 2007; Shannon, 1963].

Пробоподготовку моллюсков для анализа на наличие тяжелых металлов проводили по ГОСТ 26929-94 «Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов».

Определение концентрации свинца, цинка, меди и кадмия в отобранных пробах моллюсков проводили по ГОСТ 30178-96 «Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов».

Моллюсков вида *Unio pictorum*, предназначенных для лабораторных экспериментов, отлавливали из естественных водоемов, доставляли в лабораторию и выдерживали в течение семи суток для адаптации к условиям аквариума.

Подопытных моллюсков в количестве по 20 экземпляров помещали в аквариумы объемом 60 литров и содержали при температуре 20°C, естественном освещении и постоянной аэрации воды. Продолжительность эксперимента составила 14 суток. В аквариумах концентрации тяжелых металлов составляли по 10 мкг/л и 100 мкг/л  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  в пересчете на ион. Для возобновления исходных концентраций токсикантов воду в аквариумах периодически меняли. Контролем служили особи *Unio pictorum* в аналогичных емкостях без добавления токсикантов. Во время лабораторных экспериментов *Unio pictorum* периодически кормили путем добавления в аквариумы водорослей.

Фильтрационную активность пресноводных моллюсков на примере *Unio pictorum* определяли по методике, разработанной С.А. Остроумовым (2001а) с некоторыми изменениями. Эксперименты по изучению фильтрационной активности гидробионтов проводили с ионами тяжелых металлов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  в концентрации 10 мкг/л и 100 мкг/л. Скорость фильтрации определяли по снижению оптической плотности водной среды на спектрофотометре *Unico* при длине волны 550 нм. Среду создавали внесением дрожжей *Sacharomyces cerevisiae*. Объем среды инкубации составил 1,0 л, время инкубации гидробионтов – 60 минут. На этот объем помещали по 10 экземпляров *Unio pictorum* с длиной раковины 5,4 – 8,3 см. Контрольная группа моллюсков содержалась в таких же условиях, но без добавления токсикантов.

Процессы биологического самоочищения ериков Лотосный и Паразитный с помощью двусторчатых моллюсков *Unio pictorum* оценивались расчетным способом исходя из их биофильтрационной способности. Для расчетов использовались известные характеристики площади исследуемого участка по картографическим данным, скорости фильтрации *Unio pictorum* (Алимов, 1981), а также данные собственных измерений (глубина, ширина водоема, численность и биомасса малакофауны). Объем профильтрованной моллюсками воды, за период исследований июнь-июль-август (90 сут.), рассчитывался по формуле:

$$V_{\text{вдс}} = N_{\text{ср}} * V_{\text{фв}} * 90 \text{сут.} * S,$$

где:  $V_{\text{вдс}}$  – объем воды, фильтруемой *Unio pictorum* на участке определенной площади в течение периода исследований;  $N_{\text{ср}}$  – средняя численность *Unio pictorum*;  $V_{\text{фв}}$  – объем воды, фильтруемой *Unio pictorum*, л/сут.;  $S$  – площадь экспериментального участка;

Достоверность полученных экспериментальных данных определялась статистическими методами обработки информации с использованием методов описательной статистики, корреляционного анализа, с применением программного комплекса SPSS и использованием общепринятых методов биометрии (Доспехов, 1979, Лакин, 1980, Козак, 1995).

## ГЛАВА III. ОСОБЕННОСТИ ПРЕСНОВОДНЫХ МОЛЛЮСКОВ КАК ОБЪЕКТА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЕЛЬТЫ Р. ВОЛГИ

### 3.1 Качественные и количественные показатели пресноводных моллюсков дельты р. Волги

Мониторинговые исследования малакофауны дельты р. Волги проводились в 2009 - 2011 годах. Ведущую роль малакофауны во все сезоны исследуемых лет в дельте р. Волги играли классы *Gastropoda* и *Bivalvia*. Состав данных классов складывался из доминирования или отсутствия отдельных форм. Из рисунка 2 видно, что виды кл. *Gastropoda* доминировали по численности (71%), а виды кл. *Bivalvia* – по биомассе (88%).

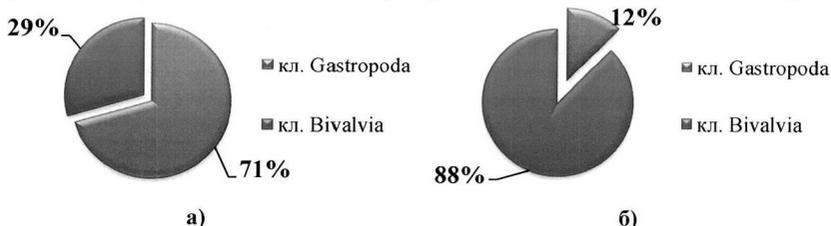


Рисунок 2. Количественные показатели ведущих классов малакофауны по численности (а) и биомассе (б) в исследуемых водотоках дельты р. Волги (2009-2011 г.г.)

Всего в исследованных районах дельты р. Волги обнаружено 23 вида моллюсков (таблица 1), среди которых наибольшее распространение получили представители кл. *Gastropoda* - *Viviparus viviparus* (отмечены на 7 станциях отбора проб из 8), кл. *Bivalvia* - *Dreissena polymorpha* (отмечены на 5 станциях отбора проб из 8) и представители рода *Unio* (отмечены на 5 станциях отбора проб из 8).

Таблица 1.

Количественные показатели основных групп малакофауны дельты р. Волги (2009-2011 г.г.)

Группы, виды	Численность (экз/м <sup>2</sup> )	Биомасса (г/м <sup>2</sup> )
<b>mun. Mollusca</b>	<b>15059,019</b>	<b>18455,747</b>
<b>кл. Gastropoda</b>	<b>10619,139</b>	<b>2430,316</b>
<i>Cincinna fluviatilis</i> (Colbeau, 1859)	60	0,96
<i>Bithinia producta</i> (Moquin-Tandon, 1855)	20	1,04
<i>Viviparus viviparus</i> (Linnaeus, 1758)	1009	2159,456
<i>Theodoxus astrachanicus</i> (Starobogatov in Starobogatov, Filchakov, Antonova et Pirogov, 1994)	535,33	166,165
<i>Lymnaea lagotis</i> (Schrank, 1803)	40	8,0
<i>Lithoglyphus naticoides</i> (C. Pfeiffer, 1828)	2294,809	74,535
<i>Lithoglyphus pyramidatus</i> (Mollendorff, 1873)	6660	20,16
<b>кл. Bivalvia</b>	<b>4439,88</b>	<b>16015,431</b>
<i>Musculium hungaricum</i> (Hazay, 1881)	30	2,8
<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	3155,33	666,958
<i>Hypanis colorata</i> (Eichwald, 1829)	150	10,89
<i>Sadaniciclas rivicola</i>	68	212,5
<i>Musculium hungaricum</i> (Hazay, 1881)	80	1,6
<i>Pisidium inflatum</i> (Megerle von Miihlfeld in Porro, 1838)	138,875	10,47

<i>Pisidium amnicum</i> (Müller, 1774)	20	20,02
<i>Unio pictorum</i> (Linnaeus, 1758)	227,8	6092,359
<i>Unio conus</i> (Spengler, 1793)	129,5	3260,644
<i>Unio tumidus</i> (Philipsson in Retzius, 1788)	140,375	1470,215
<i>Unio limosus</i> (Nilsson, 1822)	60	2209,8
<i>Unio rostratus</i> (Lamarck, 1819)	100	1297,665
<i>Colletopterum subcirculare subcirculare</i> (Clessin, 1873)	60	759,51
<i>Colletopterum piscinale piscinale</i> (Nilsson, 1822)	80	1284

В пробах, отобранных на восьми водотоках дельты р. Волги в последние годы (2009-2011) исследований, найдено разное число видов моллюсков, которое колебалось от 4 видов (в р. Волга у г. Астрахани, протоке Гандурино у села Образцово-Травино) до 13 видов в протоке Быстром у пос. Дамчик. При переходе от г. Астрахани вниз по течению к култушной зоне наблюдалось закономерное увеличение количества видов малакофауны.

В р. Волга у г. Астрахани обнаружено 6 видов пресноводных моллюсков, общая численность которых составила 4587 экз/м<sup>2</sup>, биомасса моллюсков – 1791,33 г/м<sup>2</sup>. Среди моллюсков кл. *Gastropoda* доминирующими были *Lithoglyphus piramidatus* и *Lithoglyphus naticoides* (75% и 24,33% соответственно), а по биомассе лидировали моллюски вида *Viviparus viviparus* (54,49%); среди моллюсков кл. *Bivalvia* по численности и биомассе лидировал вид *Unio pictorum* (50% и 80,42% соответственно).

При сравнении изменений количественных показателей малакофауны в р. Волга у г. Астрахани по годам отмечено колебание численности моллюсков кл. *Gastropoda* от 4896 экз/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 4167 экз/м<sup>2</sup> (2011 г.) и биомассы от 89,19 г/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 97,25 г/м<sup>2</sup> (2011 г.).

В р. Волга у села Чаган обнаружено 8 видов пресноводных моллюсков, общая численность которых составила 294 экз/м<sup>2</sup>, биомасса моллюсков – 3891,36 г/м<sup>2</sup>. Среди моллюсков кл. *Bivalvia* по численности доминировали *Dreissena polymorpha* (21,05%), *Unio pictorum* (21,05%), по биомассе лидировали моллюски видов *Unio pictorum* и *Unio conus* (46,36% и 25,93% соответственно).

При сравнении изменений количественных показателей малакофауны в р. Волге у с. Чаган по годам отмечено колебание численности моллюсков кл. *Gastropoda* от 94 экз/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 120 экз/м<sup>2</sup> (2010 г.) и биомассы от 457,78 г/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 584,4 г/м<sup>2</sup> (2010 г.), в 2011 г. наблюдалось уменьшение биомассы малакофауны до 477,26. Колебание численности моллюсков кл. *Bivalvia* находилось в пределах от 182 экз/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 202 экз/м<sup>2</sup> (2010 г.), биомассы от 3267,49 г/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 3579,9 г/м<sup>2</sup> (2010 г.), в 2011 г. наблюдалось уменьшение биомассы малакофауны кл. *Bivalvia* до 3310,18 г/м<sup>2</sup>.

В протоке Гандурино у села Образцово-Травино было обнаружено всего 4 вида пресноводных моллюсков среди которых доминирующими были *Viviparus viviparus* (53,75%), *Dreissena polymorpha* (97%). Общая численность моллюсков в протоке Гандурино вблизи села Образцово-Травино составила 2843 экз/м<sup>2</sup>, биомасса моллюсков – 672,1 г/м<sup>2</sup>. При сравнении изменений количественных показателей малакофауны в протоке Гандурино у села Образцово-Травино по годам отмечено колебание численности моллюсков кл. *Gastropoda* от 159 экз/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 182 экз/м<sup>2</sup> (2010 г.) и биомассы от 147,11 г/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 212,90 г/м<sup>2</sup> (2010 г.) с последующим спадом биомассы до 186,59 в 2011 г. Колебание численности моллюсков кл. *Bivalvia* находилось в пределах от 2471 экз/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 2858 экз/м<sup>2</sup> (2011 г.), биомассы от 779,63 г/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 918,56 г/м<sup>2</sup> (2011 г.).

В р. Волга в районе села Полднеевое было обнаружено 10 видов пресноводных моллюсков, общая численность которых составила 600 экз/м<sup>2</sup>, биомасса моллюсков –

4986,801 г/м<sup>2</sup>. Среди моллюсков кл. *Bivalvia* доминирующими по численности (25%) и биомассе (22,7% и 44,47% соответственно) были *Unio tumidus*, *Unio limosus*.

При сравнении изменений количественных показателей малакофауны в р. Волге возле села Полдневое по годам (рисунок 4) отмечено незначительное колебание численности моллюсков кл. *Gastropoda* от 327 экз/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 379 экз/м<sup>2</sup> (2011 г.) и биомассы от 18,27 г/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 20,96 г/м<sup>2</sup> (2011 г.). Колебание численности моллюсков кл. *Bivalvia* находилось в пределах от 217 экз/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 246 экз/м<sup>2</sup> (2011 г.), биомассы от 4414 г/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 5964,78 г/м<sup>2</sup> (2010 г.), в 2011 г. наблюдалось уменьшение биомассы малакофауны кл. *Bivalvia* до 4530,45 г/м<sup>2</sup>.

За период исследований (2009-2011 г.г.) в протоке Быстром у пос. Дамчик обнаружено 13 видов пресноводных моллюсков, общая численность которых составила 5388 экз/м<sup>2</sup>, биомасса моллюсков – 2841,696 г/м<sup>2</sup>. Среди моллюсков кл. *Gastropoda* в протоке Быстром у пос. Дамчик по численности доминировали *Lithoglyphus naticoides* и *Lithoglyphus pyramidatus* (25,10% и 68,79% соответственно), а по биомассе доминирующим видом оказался вид *Viviparus viviparus* (81,14%); среди моллюсков кл. *Bivalvia* по численности доминировали *Dreissena polymorpha*, *Hypanis colorata* (26,93 и 24,19% соответственно), а по биомассе преобладали моллюски видов *Unio pictorum*, *Unio conus* и *Unio rostratus* (22,25%, 25,29% и 22,01% соответственно).

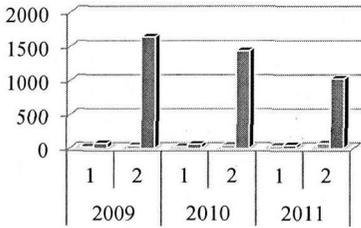
При сравнении изменений количественных показателей малакофауны в протоке Быстром по годам отмечено колебание численности моллюсков кл. *Gastropoda* от 4033 экз/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 5041 экз/м<sup>2</sup> (2011 г.) и биомассы от 363,34 г/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 583,89 г/м<sup>2</sup> (2010 г.). Колебание численности моллюсков кл. *Bivalvia* находилось в пределах от 570 экз/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 596 экз/м<sup>2</sup> (2010 г.), биомассы от 2051,58 г/м<sup>2</sup> (2010 г.) до 2391,19 г/м<sup>2</sup> (2009 г.).

В ерике Лотосном обнаружено 3 вида моллюсков - *Viviparus viviparus* (33,33%), *Dreissena polymorpha* (33,33%) и *Unio pictorum* (66,66%). Общая численность моллюсков составила 90 экз/м<sup>2</sup>, биомасса – 1424,6 г/м<sup>2</sup>.

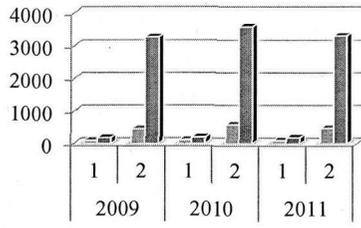
В ерике Паразитном – 5 видов пресноводных моллюсков - *Viviparus viviparus* (70%), *Pisidium inflatum* (14,81%), *Pisidium amnicum* (14,81%), *Musculium hungaricum* (59,28%), *Unio pictorum* (11%). Общая численность моллюсков составила 460 экз/м<sup>2</sup>, биомасса моллюсков – 622,34 г/м<sup>2</sup>.

В протоке Быстром, на выходе в зону аванделты обнаружено 10 видов пресноводных моллюсков, общая численность которых составила 856 экз/м<sup>2</sup>, биомасса – 2979,754 г/м<sup>2</sup>. Среди моллюсков кл. *Gastropoda* в протоке Быстром, на выходе в зону аванделты доминирующими по численности и биомассе оказались *Viviparus viviparus* (57,86% и 77% соответственно), среди моллюсков кл. *Bivalvia* по численности доминировали *Dreissena polymorpha* (51,6%), а по биомассе преобладали моллюски видов *Unio pictorum*, *Unio conus* и *Unio rostratus* (29,93%, 39,20% и 17,24% соответственно).

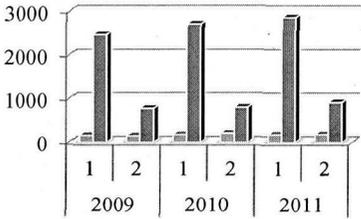
При сравнении изменений количественных показателей малакофауны в протоке Быстром на выходе в зону аванделты по годам (рисунок 3) отмечено колебание численности моллюсков кл. *Gastropoda* от 324 экз/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 376 экз/м<sup>2</sup> (2011 г.) и биомассы от 419,92 г/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 524,75 г/м<sup>2</sup> (2010 г.), в 2011 г. наблюдалось уменьшение биомассы малакофауны до 522,58. Колебание численности моллюсков кл. *Bivalvia* находилось в пределах от 482 экз/м<sup>2</sup> (2009 г.) до 525 экз/м<sup>2</sup> (2011 г.), биомассы от 2788,89 г/м<sup>2</sup> (2010 г.) до 3384,89 г/м<sup>2</sup> (2011 г.).



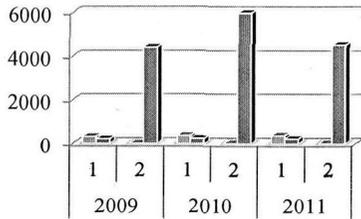
р. Волга у г. Астрахани



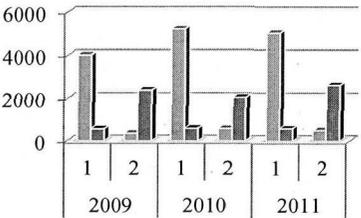
р. Волга у села Чаган



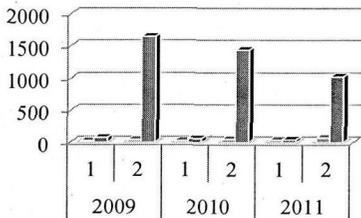
проток Гандурино у села Образцово-Травино



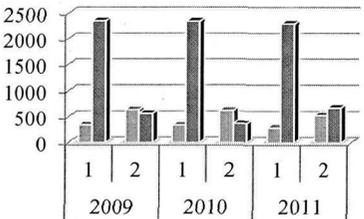
р. Волга у села Полднее



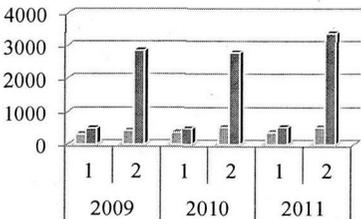
проток Быстрый у пос. Дамчик



Ерик Лотосный



Ерик Паразитный



проток Быстрый на выходе в зону авандельты

Примечание: 1 – численность, экз/м<sup>2</sup>, 2 – биомасса, г/м<sup>2</sup>  
 □ - кл. *Gastropoda*      ■ - кл. *Bivalvia*

Рисунок 3. Количественные показатели численности и биомассы малакофауны в водотоках дельты р. Волги (2009 -2011 г.г.)

Результаты исследований в сезонном аспекте позволили сформулировать концептуальную схему последовательного развития сообществ пресноводных моллюсков дельты р. Волги за период исследований 2009-2011 г.г. Сезонное развитие можно представить в виде периодов, каждому из которых соответствует комплекс видов пресноводных моллюсков, развивающихся в сходных экологических условиях.

Ранней весной (март-апрель) малакофауна состоит из двусторчатых моллюсков родов *Unio* и *Anadonta*. Для весеннего периода характерны низкая температура воды (14-16<sup>0</sup>С), высокие концентрации элементов минерального питания, благоприятные для развития таких видов как *Unio pictorum*, *Unio tumidus*.

Во второй половине мая-начале июня идет деградация весеннего комплекса, проявляющаяся в резком снижении численности биомассы. Массовые виды представлены наиболее мелкими формами, такими как *Lithoglyphus naticoides* и *Lithoglyphus pyramidatus*, *Viviparus viviparus*, *Dreissena polymorpha*. Количественные показатели малакофауны в пунктах наблюдений дельты р. Волги в это время варьировали в пределах 785 – 2423 экз/м<sup>2</sup>.

В летний период (июль-август), характеризующийся максимальными для всего сезона температурами воды(23-25<sup>0</sup>С), освещенностью и минимальными концентрациями элементов минерального питания численность малакофауны составила 1915-2109 экз/м<sup>2</sup>.

Наблюдения, проводимые осенью (сентябрь-октябрь) совпадают с интенсивным снижением температуры воды, повышением концентрации минеральных форм азота и фосфора. В этих условиях численность малакофауны составляет 2232 - 1093 экз/м<sup>2</sup>.

Таким образом, выявлено, что в водотоках дельты р. Волги прослеживается четыре подъема и спада численности пресноводных моллюсков (рисунок 4):

- незначительное увеличение численности моллюсков в марте-апреле;
- уменьшение численности, снижение плотности населения и биомассы в мае из-за рассредоточения в период половодья;
- максимальное значение численности пресноводных моллюсков в июне и незначительный спад в июле-августе;
- в сентябре наблюдается понижение численности пресноводных моллюсков;

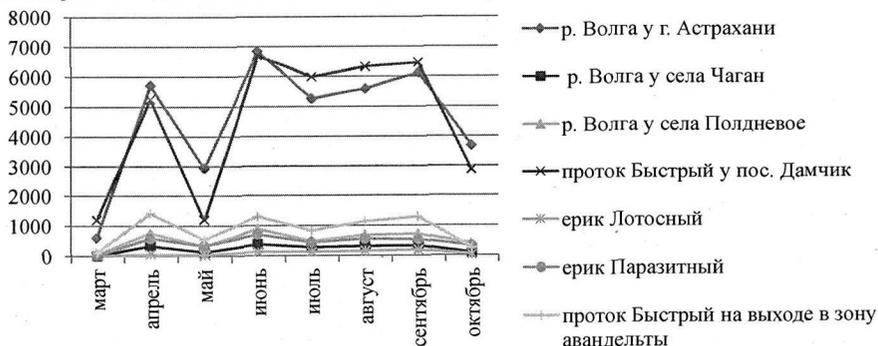


Рисунок 4. Сезонная динамика численности малакофауны в водотоках дельты р. Волги

Из всех проанализированных моллюсков дельты р. Волги особый интерес представляет вид *Unio pictorum*, который по количественным характеристикам занимает

второе место по численности (5,13%) и первое место по биомассе (35,19%). В среднем за все годы исследований численность *Unio pictorum* на исследуемых участках дельты р. Волги достигала 228 экз/м<sup>2</sup> и 6092,359 г/м<sup>2</sup> по значениям биомассы.

В динамике количественных показателей *Unio pictorum* в исследуемых водотоках дельты р. Волги по годам исследования (рисунок 5) наблюдается незначительное понижение численности с 8,48% (2009 г.) до 4,55 (2011 г.) и, как следствие этого, понижение биомассы с 41,62% (2009) до 32,23% (2011 г.).



Рисунок 5. Динамика количественных показателей *Unio pictorum* в исследуемых водотоках дельты р. Волги (2009 – 2011 г.г.)

В наших исследованиях влияние численности *Unio pictorum* на видовое разнообразие малакофауны подтверждается положительными значениями корреляции численности ( $r=0,908$ ,  $p < 0,05$ ) *Unio pictorum* с общей численностью организмов малакофауны.

### 3.2 Интегральная значимость малакофауны водоемов дельты р. Волги

Для интегральной оценки структуры сообщества малакофауны и оценки качества воды исследуемых водоемов в настоящей работе были применены показатели видового сходства и видового разнообразия видов пресноводных моллюсков. На основе данных, полученных по видовому и количественному составу малакофауны, были вычислены индексы видового разнообразия Шеннона (H), Маргалефа (d), индекс Симпсона (C), индекс выравнивания по Пиелу (e). В работе пресноводные моллюски использовались в качестве биогеохимического индикатора при оценке загрязнения экосистемы дельты р. Волги тяжелыми металлами. При выборе индикаторных видов водных организмов учитывались особенности вида, привлекательные для биогеохимического мониторинга – достаточная для химического анализа биомасса, широкий ареал распространенности, способность реагировать изменением элементного состава на изменение условий обитания в широком интервале значений.

По измененным коэффициентам наиболее однородным по составу видов следует считать весенний сезон. Значения индексов подтверждают, что в этот период действительно происходит развитие видов малакофауны по всем исследуемым районам дельты. Летний и осенний сезоны характеризовались более разнообразным составом пресноводных моллюсков, при этом значения становятся меньше.

Результаты значений индексов видового разнообразия Шеннона показали, что они находятся в прямой зависимости от числа видов. Так, индекс Шеннона в загрязненных водах менее 1, в чистых – 2–3. Согласно значениям индекса Шеннона воды р. Волга у села Чаган (H=1,87), р. Волга у с. Полднеевое (H=1,38), в протоке Быстром у пос. Дамчик

( $H=1,27$ ), в ерике Лотосном ( $H=1,060$ ), в протоке Быстром, на выходе в зону авандельты ( $H=1,89$ ) можно отнести к умеренно загрязненным, а р. Волга у г. Астрахани ( $H=0,688$ ), в протоке Гандурино у села Образцово-Травино ( $H=0,503$ ), в ерике Паразитном ( $H=0,549$ ) – к загрязненным.

Вместе с тем, из анализа значений индекса Шеннона следует, что его изменение связано с сезонными изменениями в структуре сообщества малакофауны. Наименьшие значения индекса характерны для весеннего и осеннего сезонов (в апреле-мае  $H=1,37-0,93$ , в сентябре-октябре  $1,4-0,78$ ). В эти сезоны наблюдалось распространение практически одинаковых видов, поэтому структура сообщества упрощается. В летний сезон отмечались более высокие значения индексов видового разнообразия ( $H=1,63$  в июне,  $1,44$  в августе), что говорит об усложнении структуры сообщества (рисунок 6).

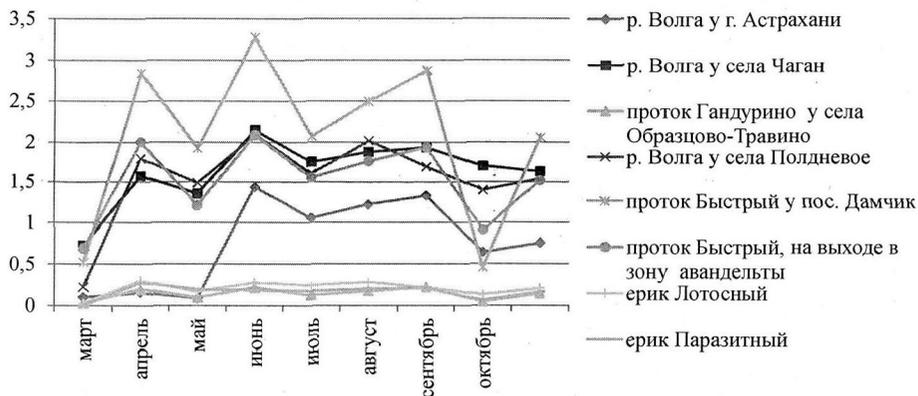


Рисунок 6. Сезонное изменение индекса Шеннона по численности исследуемых участков дельты р. Волги

Помимо сезонного изменения значений индексов видового разнообразия были проанализированы и средние многолетние значения данных показателей за период исследований 2009-11 г.г.

Результаты значений индекса Симпсона в протоке Быстром ( $C=0,36$ ), в протоке Быстром, на выходе в зону авандельты ( $C=0,285$ ), в р. Волга у села Чаган ( $C=0,28$ ), что указывает на отсутствие ярко выраженных доминантов и на то, что информация о качественных и количественных показателях распределена среди всех видов достаточно равномерно; в р. Волга у г. Астрахани ( $C=0,998$ ), в протоке Гандурино у села Образцово-Травино ( $C=0,8325$ ), в ерике Лотосном ( $C=0,42$ ), в ерике Паразитном ( $C=0,665$ ), что указывает на наличие ярко выраженных доминантов, таких как *Viviparus viviparus*, *Dreissena polymorpha*, *Unio pictorum*, *Colletopterum piscinale piscinale*.

Значения индекса Пиелу, показывающего распределение обилия между членами сообщества и дополняющего индекс Симпсона, составили по численности и по биомассе соответственно  $0,901$  и  $0,789$  в р. Волга у села Чаган,  $0,66$  и  $0,739$  в р. Волга у села Полдневое,  $0,498$  и  $0,807$  в протоке Быстром,  $0,821$  и  $0,666$  в протоке Быстром, на выходе в зону авандельты, что указывает на неравномерное распределение видов в указанных водоемах и подтверждает загрязнение данных районов дельты р. Волги.

Значения индексов Пиелу и Симпсона в таких водоемах дельты р. Волги как р. Волга у г. Астрахани ( $0,38$  и  $0,42$  соответственно), проток Гандурино у села Образцово-

Травино (0,36 и 0,097 соответственно), ерик Паразитный (0,396 и 0,118 соответственно) что указывает на наличие субдоминантов.

Значение индекса Маргалефа по станциям 5,6 увеличивается (1,3 – 1,389) с увеличением видового разнообразия, а на остальных станциях с увеличением уровня загрязнения водоема видовое богатство, как правило, падает, и, соответственно, значение индекса Маргалефа уменьшается (0,37-0,68), что подтверждает снижение видового разнообразия пресноводных моллюсков дельты р. Волги от Астрахани вниз по течению к культурной зоне (таблица 2).

Таблица 2.

Индексы видового разнообразия исследуемых участков дельты р. Волги

Индекс видового разнообразия	год	Исследуемые участки дельты р. Волги							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Шеннона	2009	0,64	1,88	0,38	1,59	1,31	1,91	1,039	0,9
	2010	0,68	1,83	0,34	1,53	1,26	1,84	1,051	0,87
	2011	0,74	1,89	0,39	1,52	1,24	1,89	1,028	1,03
Симпсона	2009	0,606	0,115	0,831	0,314	0,42	0,18	0,375	0,558
	2010	0,64	0,203	0,844	0,332	0,38	0,203	0,365	0,542
	2011	0,61	0,18	0,836	0,361	0,44	0,19	0,377	0,48
Пнелу	2009	0,83	2,08	0,55	1,74	1,17	1,91	2,17	1,29
	2010	0,87	2,03	0,54	1,7	1,13	1,84	2,20	1,25
	2011	0,96	2,09	0,56	1,69	1,11	1,89	2,15	1,47
Маргалефа	2009	0,587	1,26	0,507	1,11	1,42	1,36	0,43	0,64
	2010	0,61	1,21	0,49	1,05	1,384	1,32	0,46	0,67
	2011	0,63	1,24	0,37	1,09	1,389	1,3	0,48	0,68

Примечание: Исследуемые участки дельты р. Волги: 1 - р. Волга у г. Астрахани; 2 - р. Волга у села Чаган; 3 - проток Гандурино у села Образцово-Травино; 4 - р. Волга у села Полднеево; 5 - проток Быстрый у пос. Дамчик; 6 - проток Быстрый на выходе в зону авандельты; 7 - ерик Лотосный; 8 - ерик Паразитный

Таким образом, используя выше указанные интегральные показатели, можно количественно охарактеризовать сезонную и пространственную структуру малакофауны, а также выделить участки с упрощенной структурой данного сообщества, являющихся показателями антропогенного воздействия на водные экосистемы.

Анализ совокупности индексов видового разнообразия показал, что такие водоемы дельты р. Волги, как проток Быстрый у пос. Дамчик, проток Быстром, на выходе в зону авандельты, р. Волга у села Полднеево характеризуются как умеренно-загрязненные, этот же факт подтверждается равномерным распределением видов малакофауны и отсутствие доминирующих организмов.

Анализ совокупности индексов видового разнообразия р. Волги у г. Астрахани протока Гандурино у села Образцово-Травино, ерика Паразитного, показал неравномерное распределение донной малакофауны в водоемах и наличие доминирующих организмов, таких как *Viviparus viviparus*, *Dreissena polymorpha*, что свидетельствует о загрязненности водоемов.

### 3.3 Пресноводные моллюски в формировании экологического состояния дельты р. Волги

Изменение годового содержания тяжелых металлов в организме моллюсков на примере *Unio pictorum* выявило незначительные колебания данных элементов.

Минимальные и максимальные уровни содержания тяжелых металлов в организме *Unio pictorum* отмечались – по  $Zn^{2+}$  от 0,42 мг/кг (2011 г.) в образцах моллюсков р. Волги у села Полдневое до 2,1 мг/кг (2010 г.) в р. Волга у г. Астрахани; по  $Cd^{2+}$  от 0,05 мг/кг (2009 г.) в образцах моллюсков протока Гандурино до 0,45 мг/кг в организме моллюсков р. Волги у г. Астрахани; по  $Cu^{2+}$  от 0,22 мг/кг в 2011 г. в организме моллюсков в р. Волга у села Полдневое до 1,48 мг/кг в 2011 в протоке Быстром, на выходе в зону авандельты; по  $Pb^{2+}$  - 0,076 в образцах моллюсков протока Быстрый у пос. Дамчик в 2009 г. до 1,05 в 2011 в образцах моллюсков ерика Паразитный (таблицы 3,4).

Таблица 3.

Содержание тяжелых металлов  $Zn^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  и в организме *Unio pictorum* в 2009-2011 гг.

Место отбора проб	Содержание тяжелых металлов в организме моллюсков, мг/кг					
	$Zn^{2+}$			$Cd^{2+}$		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011
1	1,24±0,22	2,1±0,375	1,36±0,24	0,19±0,016	0,38±0,068	0,45±0,08
2	0,63±0,11	0,908±0,162	1,014±0,181	0,094±0,0168	0,37±0,066	0,322±0,057
3	1,16±0,207	1,56±0,279	1,3±0,23	0,05±0,008	0,25±0,044	0,45±0,08
4	0,54±0,096	0,756±0,135	0,42±0,075	0,16±0,028	0,132±0,023	0,245±0,043
5	0,46±0,082	0,896±0,16	0,765±0,136	0,289±0,051	0,176±0,031	0,142±0,025
6	0,96±0,171	1,41±0,25	2,01±0,35	0,18±0,032	0,301±0,053	0,321±0,057
7	0,81±0,144	1,04±0,186	0,56±0,1	0,098±0,017	0,125±0,022	0,345±0,0617
8	0,62±0,11	1,12±0,2	0,69±0,123	0,056±0,01	0,12±0,021	0,289±0,0517

Примечание: Исследуемые участки дельты р.Волги: 1 - р. Волга у г. Астрахани; 2 - р. Волга у села Чаган; 3 - проток Гандурино у села Образцово-Травино; 4 - р. Волга у села Полдневое; 5 - проток Быстрый у пос. Дамчик; 6 - проток Быстрый на выходе в зону авандельты; 7 - ерик Лотосный; 8 - ерик Паразитный

Таблица 4.

Содержание тяжелых металлов  $Cu^{2+}$  и  $Pb^{2+}$  и в организме *Unio pictorum* в 2009-2011 гг.

Место отбора проб	Содержание тяжелых металлов в организме моллюсков, мг/кг					
	$Cu^{2+}$			$Pb^{2+}$		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011
1	1,26±0,22	1,38±0,24	1,42±0,25	0,72±0,127	0,59±0,127	0,85±0,15
2	0,197±0,034	0,26±0,026	0,217±0,038	0,076±0,013	0,105±0,018	0,11±0,019
3	1,02±0,18	1,25±0,22	1,86±0,33	0,14±0,024	0,35±0,11	1,05±0,186
4	1,45±0,257	0,41±0,07	0,22±0,039	0,093±0,0165	0,1±0,017	0,102±0,018
5	0,71±0,125	0,96±0,17	1,02±0,18	0,097±0,017	0,112±0,019	0,136±0,024
6	1,25±0,221	1,31±0,232	1,48±0,26	0,32±0,056	0,678±0,12	0,864±0,15
7	0,96±0,17	1,18±0,08	1,32±0,234	0,18±0,031	0,48±0,085	1,06±0,188
8	0,84±0,149	1,29±0,228	1,43±0,25	0,201±0,035	0,34±0,06	0,65±0,115

Примечание: Исследуемые участки дельты р.Волги: 1 - р. Волга у г. Астрахани; 2 - р. Волга у села Чаган; 3 - проток Гандурино у села Образцово-Травино; 4 - р. Волга у села Полдневое; 5 - проток Быстрый у пос. Дамчик; 6 - проток Быстрый на выходе в зону авандельты; 7 - ерик Лотосный; 8 - ерик Паразитный

Результаты исследований показали, что моллюски *Unio pictorum*, обитающие в определенных условиях водной среды, способны накапливать микроэлементы (Cd, Pb, Cu, Zn) до концентраций в 10 раз превышающих их содержание в среде обитания, т.е. от поглощающей способности *Unio pictorum* зависит формирование качества воды в придонных слоях, изменение растворимости и биодоступности отдельных токсичных элементов. При этом они отражают как пространственные, так и временные изменения концентрации поллютантов в водной среде. Проведенные нами исследования показали,

что пресноводные двустворчатые моллюски, такие как *Unio pictorum* оказались в различной степени устойчивыми к загрязнению местообитаний тяжелыми металлами.

При продвижении от г. Астрахани вниз по течению к култушной зоне дельты р. Волги наблюдалось закономерное изменение концентрации тяжелых металлов в организме *Unio pictorum* - содержание  $Zn^{2+}$  уменьшалось с 1,56 мг/кг (р. Волга у г. Астрахани) до 0,78 мг/кг (проток Быстрый у пос. Дамчик); содержание  $Cd^{2+}$  уменьшалось с 0,33 мг/кг (р. Волга у г. Астрахани) до 0,2 мг/кг (проток Быстрый у пос. Дамчик); содержание  $Cu^{2+}$  уменьшалось с 1,34 мг/кг (р. Волга у г. Астрахани) до 0,81 мг/кг (проток Быстрый у пос. Дамчик); содержание  $Pb^{2+}$  уменьшалось с 0,77 мг/кг (р. Волга у г. Астрахани) до 0,11 мг/кг (проток Быстрый у пос. Дамчик).

В протоке Быстром на выходе в зону авандельты наблюдалось резкое повышение всех элементов в организме *Unio pictorum* - содержание  $Zn^{2+}$  составило 1,42 мг/кг,  $Cd^{2+}$  - 0,26 мг/кг,  $Cu^{2+}$  - 1,34 мг/кг,  $Pb^{2+}$  - 0,62 мг/кг.

Анализ динамики содержания тяжелых металлов в организме *Unio pictorum* водоемов дельты р. Волги показал значительные сезонные колебания. Немного сниженные значения были характерны для проб моллюсков, собранных в апреле и октябре. В мае-июне, в период паводка, происходило незначительное повышение концентрации тяжелых металлов в организме моллюсков, а затем наблюдалось монотонное снижение и стабилизация в осенний период (рисунок 7).

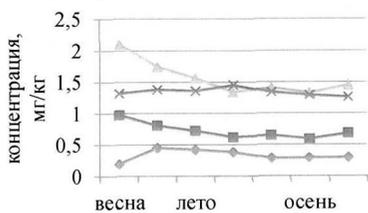
В организме *Unio pictorum* собранных в р. Волга у г. Астрахани содержание  $Cd^{2+}$  весной повышалось с 0,19 до 0,45 мг/кг, а затем немного снижалось в первой половине лета с 0,42 до 0,28 мг/кг и стабилизировалось в осенний период 0,29 мг/кг; содержание  $Zn^{2+}$  в весенний период немного понижалось с 2,1 до 1,74, а в летне-осенний период оставалось стабильным на уровне 1,56-1,45 мг/кг; содержание  $Cu^{2+}$  в весенний период повышалось с 1,32 до 1,38, а затем, немного понизившись до 1,36 в начале лета, оставалось на уровне 1,26-1,29 мг/кг; содержание  $Pb^{2+}$  в весенний период понижалось до 0,8 мг/кг и в летне-осенний период оставалось стабильным на уровне 0,59-0,68 мг/кг.

В организме *Unio pictorum* собранных в р. Волга у села Чаган содержание  $Cd^{2+}$  весной составило 0,37 мг/кг, затем наблюдалось понижение до 0,288 мг/кг в летний период и 0,088 мг/кг в осенний период; содержание  $Zn^{2+}$  в весенний период составило 0,86-1,04 мг/кг, затем наблюдалось незначительное уменьшение до 0,8 мг/кг в летне-осенний период; содержание  $Cu^{2+}$  в организме в весенний - осенний период оставалось стабильным и находилось в пределах 0,2 мг/кг; содержание  $Pb^{2+}$  в весенний период составило 0,11 мг/кг, в летний период наблюдалось незначительное уменьшение концентрации до 0,09 мг/кг и стабилизация в осенний период.

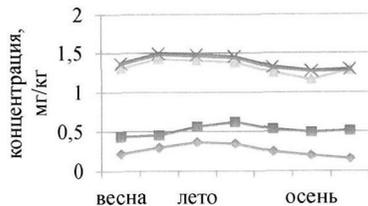
В организме *Unio pictorum* собранных в протоке Гандурино у села Образцово-Травино в весенне-летний период наблюдалось увеличение концентрации  $Cd^{2+}$  с 0,21 до 0,34 мг/кг, затем понижение до 0,19 мг/кг в осенний период; содержание  $Zn^{2+}$  также возрастало в весенне-летний период с 1,3 до 1,39 мг/кг, затем наблюдалось незначительное уменьшение до 1,25 мг/кг в летне-осенний период; содержание  $Cu^{2+}$  и  $Pb^{2+}$  в организме в весенний - осенний период оставалось стабильным и находилось в пределах 1,32 и 0,45 мг/кг соответственно с незначительным повышением  $Cu^{2+}$  до 1,42 в летний период.

В организме *Unio pictorum* собранных в р. Волга у села Полднеево, протока Быстрый у пос. Дамчик, протока Быстрый на выходе в зону авандельты наблюдались такие же закономерности - содержание концентрации  $Cd^{2+}$  в весенний период составило 0,16-0,19 мг/кг, затем в первой половине лета (в июне) наблюдалось незначительное повышение до 0,24 мг/кг и незначительное понижение в осенний период до 0,20 мг/кг; содержание  $Zn^{2+}$  концентрации также возрастало в весенне-летний период с 0,56 до 0,59 мг/кг; содержание

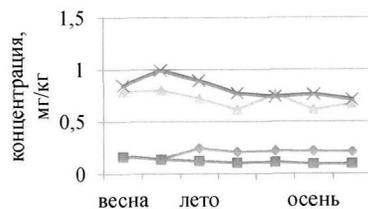
$\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$  в организме в весенний - осенний период оставалось стабильным и находилось в пределах 0,7 и 0,16 мг/кг соответственно.



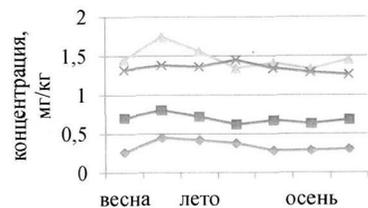
р. Волга у г. Астрахани



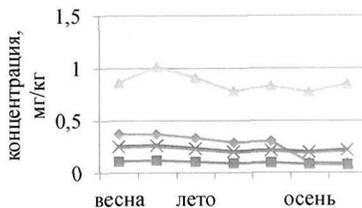
проток Гандурино у села Образцово-Травино



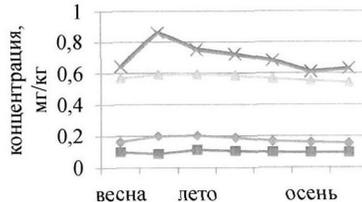
проток Быстрый у пос. Дамчик



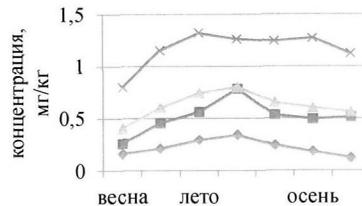
Ерик Паразитный



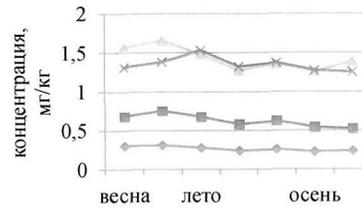
р. Волга у села Чаган



р. Волга у села Полдневое



Ерик Лотосный



проток Быстрый на выходе в зону авандельты

Примечание:

◆ Cd ■ Pb ▲ Zn × Cu

Рисунок 7. Сезонная динамика накопления тяжелых металлов *Unio pictorum* в водотоках дельты р. Волги (мг/кг)

Кроме того, сопоставление уровней тяжелых металлов в воде и организме *Unio pictorum* показало отсутствие тесной связи между содержанием тяжелых металлов в воде

и накоплением их организмом моллюсков. Коэффициент корреляции Пирсона составил для Cd +0,22 ( $p < 0,05$ ) для Zn + 0,085 ( $p < 0,05$ ), для Pb + 0,15, для Cu + 0,050 ( $p < 0,05$ ).

Данный факт подтверждается и многочисленными исследованиями, в которых наблюдается несоответствие величины концентрации тяжелых металлов в тканях моллюсков с их содержанием в воде [Boening, 1999; Leung, Morgan, Wu et al., 2001]. Слабая корреляционная зависимость между содержанием тяжелых металлов в тканях *Unio pictorum* и химическим составом воды объясняется тем, что моллюски способны поглощать из воды только биологически доступные формы общего количества элементов в воде [Ravera, Beone, Trincerini, Riccardi, 2007].

Таким образом, материалы проведенных исследований свидетельствуют, что пресноводные двустворчатые моллюски, в частности *Unio pictorum* являются накопителями тяжелых металлов и могут быть использованы в качестве пространственно-временных индикаторов загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами.

#### 3.4 Моделирование процесса штоксикации тяжелыми металлами пресноводных моллюсков на примере *Unio pictorum*

Известно, что высокой способностью к концентрации микроэлементов характеризуются именно пресноводные моллюски, которые могут накапливать тяжелые металлы в сотни (железо), тысячи (ртуть, кадмий, медь, кобальт) и сотни тысяч раз (марганец, цинк) превышающих их концентрацию в водной среде [Бойко, Каниева, Гханнам Хала, 2011]. Удалось установить, что при относительно низких концентрациях тяжелых металлов в водной среде могут возникать благоприятные условия в телах гидробионтов для их значительного накопления до токсических доз [Канбетов, 2004].

Согласно экспериментальным данным (таблица 5), после предварительного выдерживания в течение 14 дней в воде с ионами тяжелых металлов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  концентрацией 10 и 100 мкг/л выявлено, что в концентрации 10 мкг/л в организме *Unio pictorum* отмечается достоверное ( $p < 0,01$ ) возрастание концентрации ионов  $\text{Cu}^{2+}$  на 49,2% по сравнению с контролем и на 1056% после предварительного выдерживания в воде с ионами меди в концентрации 100 мкг/л. Вместе с тем, учитывая тот факт, что медь входит в состав органического вещества дыхательного пигмента моллюсков, ее накопление может являться отражением физиологических процессов в организме гидробионтов. После предварительного выдерживания в воде с ионами  $\text{Cd}^{2+}$  наблюдалось возрастание концентрации поллютанта на 65,68% по сравнению с контролем и на 1236% после предварительного выдерживания в воде с кадмием в концентрации 100 мкг/л; ионов  $\text{Zn}^{2+}$  на 71,54% по сравнению с контролем и на 926% после предварительного выдерживания в воде с  $\text{Zn}^{2+}$  в концентрации 100 мкг/л; ионов  $\text{Pb}^{2+}$  на 87,6% по сравнению с контролем и на 942% после предварительного выдерживания в воде с  $\text{Pb}^{2+}$  в концентрации 100 мкг/л.

Таблица 5.

Содержание тяжелых металлов в организме моллюсков *Unio pictorum* (мг/кг)

	$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Cd}^{2+}$	$\text{Zn}^{2+}$	$\text{Pb}^{2+}$
Моллюски из аквариума без токсикантов	0,76	0,245	0,88	0,259
Моллюски в воде ТМ (10 мкг/л)	1,44	0,373	1,123	0,2956
Моллюски в воде с ТМ (100 мкг/л)	6,9	3,0347	9,5	2,44

Результаты экспериментов по изучению количества воды, пропускаемой *Unio pictorum* через жаберный аппарат с различными концентрациями тяжелых металлов, показали существенное изменение фильтрационной способности (таблица 6).

Через 60 минут после инкубации оптическая плотность среды (мера непрозрачности слоя вещества для световых лучей) с контрольными моллюсками уменьшилась на 31,01%, что свидетельствует об активном изъятии моллюсками из воды дрожжей *Sacharomyces cerevisiae*. Предварительные инкубации гидробионтов с ионами тяжелых металлов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  в концентрации 10 мкг/л стимулировали фильтрацию -  $\text{Cu}^{2+}$  повышала ее на 12,83%,  $\text{Cd}^{2+}$  – на 14,56%,  $\text{Zn}^{2+}$  – 21,72%,  $\text{Pb}^{2+}$  – 14,21% по сравнению с контролем. Результаты показали, что при увеличении концентрации токсикантов в водной среде до 100 мкг/мл интенсивность фильтрационной активности снижалась до 8,63% в пробе с  $\text{Cu}^{2+}$ , до 7,91% в пробе с  $\text{Cd}^{2+}$ , до 14,28% в пробе с  $\text{Zn}^{2+}$ , до 8,51% в пробе с  $\text{Pb}^{2+}$ . Цифры сопоставимы с данными контрольной группы. Эти результаты подтверждаются данными Канбетова А.Ш., Гханнам Хала наблюдавшими существенное снижение фильтрационной способности моллюсков, при увеличении концентрации токсикантов в растворе до 1000 ПДК.

Таблица 6.

Изменение фильтрационной способности *Unio pictorum* после воздействия на их организм тяжелых металлов

Исследуемые пробы	Концентрация тяжелых металлов, мкг/л	Оптическая плотность среды инкубации ( $\lambda=550$ нм)
Контроль (вода без моллюсков)	0	0,8541
Моллюски из аквариума без токсикантов	0	0,5892
Моллюски после предварительного выдерживания в воде с $\text{Cu}^{2+}$	10	0,4824
	100	0,5183
Моллюски после предварительного выдерживания в воде с $\text{Cd}^{2+}$	10	0,4739
	100	0,5245
Моллюски после предварительного выдерживания в воде с $\text{Zn}^{2+}$	10	0,6685
	100	0,4395
Моллюски после предварительного выдерживания в воде с $\text{Pb}^{2+}$	10	0,4678
	100	0,5165

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что абсорбция минеральных веществ непосредственно из воды имеет существенное значение в жизни гидробионтов и занимает ведущее место в общем балансе. Моллюски всех экспериментальных групп оставались живыми на протяжении всего периода эксперимента и активно реагировали на изменение химических параметров водной среды.

### 3.5 Роль моллюсков *Unio pictorum* в самоочищении экосистемы дельты р. Волги на примере ериков Лотосный и Паразитный

Природный водоем представляет собой сбалансированную экосистему, в которой действуют механизмы самоочищения, а двустворчатые моллюски в водоемах выступают как природные биофильтры, очищающие воду от находящихся в ней во взвешенном состоянии веществ как органического, так и антропогенного происхождения в процессе фильтрационной деятельности, в результате чего создается биогенная циркуляция воды, способствующая перемешиванию водных масс.

Вместе с тем, роль пресноводных моллюсков в самоочищении водоемов во многом определяется способом питания. Моллюски – фильтраторы, такие как *Unio pictorum* способствуют осветлению воды, удаляя из нее взвесь, включая водоросли, бактерии.

Для количественной оценки роли *Unio pictorum* в очищении воды водоемов дельты р. Волги от взвешенных веществ использовались установленные зависимости скорости фильтрации от численности.

Исходя из количественных показателей моллюсков вида *Unio pictorum* численность составила 40 и 15 экз/м<sup>2</sup> в ериках Лотосный и Паразитный соответственно. Средний вес одного моллюска составил 35 г. Моллюск *Unio pictorum* фильтрует 85,5 мл/ч \*г. [Алимов, 1981]. Тогда, в сутки 1 моллюск *Unio pictorum* отфильтровывает 35,910 л/сут, при фильтрационной активности 12 ч/сут. Следовательно, все моллюски на 1 м<sup>2</sup> в ерике Лотосном за сутки отфильтруют 1436,4 л воды, а в Паразитном – 538,65 л. Вся популяция моллюсков *Unio pictorum* на предполагаемом экспериментальном участке при глубине 3,0 м, ширине 10,0 м и длине 10,0 м, площадью 100 м<sup>2</sup> отфильтрует за сутки 143640 л воды ерика Лотосного и 53865 л воды ерика Паразитного. По нашим расчетам, фильтрационная активность *Unio pictorum* по значениям численности в сутки составляет 0,48 объемов профильтрованной воды исследуемых участка ерика Лотосного и 0,18 объемов ерика Паразитного, что соответствует 48% объема воды ерика Лотосного и 18% объема воды ерика Паразитного в сутки. За летний период (90 сут.) моллюски *Unio pictorum*, согласно нашим расчетам, способны профильтровать 4,3 объема воды экспериментального участка ерика Лотосного и 1,61 объема воды экспериментального участка ерика Паразитного.

Данные объемов воды ( $V_{sun}$ ), профильтрованных *Unio pictorum* на экспериментальных участках ериков Лотосный и Паразитный в течение летнего сезона (60 сут.) отражены в таблице 7.

Таблица 7.

Количественные показатели фильтрационной активности моллюсков *Unio pictorum*

Участок	Численность, экз/м <sup>2</sup>	Вводы участка, т	Фильтрационная активность/сут, %	$V_{sun}$
Ерик Лотосный	40	300	48	1292,76
Ерик Паразитный	15	300	18	484,785

Приведенные расчеты наглядно демонстрируют, что в период наивысшей активности моллюски *Unio pictorum* способны прокачать огромное количество воды, способствуя тем самым самоочищению водоема дельты р. Волги. Являясь одной из важнейших частей системы самоочищения водоема, *Unio pictorum* ускоряют процессы осаждения, накопления и разложения веществ и транзита их из воды в грунт.

Пресноводные моллюски являются одним из важнейших регуляторов в процессах оздоровления и очищения водоемов. Благодаря своей поглощательной способности они очищают воду от тяжелых металлов, аккумулируют их и снижают содержание в воде. Таким образом, роль пресноводных моллюсков в формировании качества воды значительна.

#### ВЫВОДЫ:

1. В результате мониторинговых исследований водотоков дельты р. Волги было обнаружено 23 вида моллюсков общей численностью 15059,019 экз/м<sup>2</sup> и биомассой 18455,747 г/м<sup>2</sup>. Виды кл. *Gastropoda* доминировали по численности (71%), а виды кл. *Bivalvia* – по биомассе (88%). Наибольшее распространение получили виды кл. *Gastropoda* – *Viviparus viviparus*, *Theodoxus astrachanicus* и виды кл. *Bivalvia* – *Dreissena polymorpha* и представители рода *Unio*.
2. При продвижении от г. Астрахани вниз по течению к култужной зоне дельты р. Волги наблюдалось закономерное изменение концентрации тяжелых металлов в организме *Unio pictorum* - содержание  $Zn^{2+}$  уменьшалось с 1,56 мг/кг (р. Волга у г. Астрахани) до 0,78 мг/кг

(проток Быстрый у пос. Дамчик); содержание  $Cd^{2+}$  уменьшалось с 0,33 мг/кг (р. Волга у г. Астрахани) до 0,2 мг/кг (проток Быстрый у пос. Дамчик); содержание  $Cu^{2+}$  уменьшалось с 1,34 мг/кг (р. Волга у г. Астрахани) до 0,81 мг/кг (проток Быстрый у пос. Дамчик); содержание  $Pb^{2+}$  уменьшалось с 0,77 мг/кг (р. Волга у г. Астрахани) до 0,11 мг/кг (проток Быстрый у пос. Дамчик).

3. Применение полученных значений интегральной значимости малакофауны водоемов дельты р. Волги, определяющейся индексами видового сходства и видового разнообразия пресноводных моллюсков, позволило выделить участки с упрощенной структурой данного сообщества, что важно при изучении антропогенного воздействия на водные экосистемы.
4. При экспериментальной интоксикации выявлено существенное накопление ионов тяжелых металлов  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  в организме моллюска *Unio pictorum*. При концентрации 10 и 100 мкг/л в организме *Unio pictorum* отмечается достоверное ( $p < 0,01$ ) возрастание концентрации  $Cu^{2+}$  по сравнению с контролем на 52,4% и 1101%, рост уровня  $Cd^{2+}$  составил 65,68% и 1236%, рост уровня  $Zn^{2+}$  составил 71,54% и 926%, рост уровня  $Pb^{2+}$  составил 87,6% и 942% соответственно.
5. Инкубация с тяжелыми металлами влияет на физиологические показатели моллюсков *Unio pictorum*, что выявило стимулирование фильтрационной способности моллюсков: по  $Cu^{2+}$  – на 12,83%,  $Cd^{2+}$  – на 14,56%,  $Zn^{2+}$  – 21,72%,  $Pb^{2+}$  – 14,21% по сравнению с контролем. При действии этих же металлов в концентрации 100 мкг/л наблюдалось снижение интенсивности фильтрационной активности до 8,63% в пробе с  $Cu^{2+}$ , до 7,91% в пробе с  $Cd^{2+}$ , до 14,28% в пробе с  $Zn^{2+}$ , до 8,51% в пробе с  $Pb^{2+}$ .
6. На основании результатов анализа количественных показателей моллюсков вида *Unio pictorum* на экспериментальных участках ериков Лотосный и Паразитный выявлено, что биофильтрация водных масс с их помощью достигает в сезон 484-1292 объемов воды соответственно, что доказывает их активное участие в процессах самоочищения и способствует оздоровлению водных экосистем дельты р. Волги в условиях антропогенного загрязнения.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

### Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Шаплыгина, Ю.Н. Водные биоценозы в условиях антропогенного загрязнения / Ю.Н. Шаплыгина, Т.Ф. Курочкина // «Экологические системы и приборы». – 2007. – № 10. – С. 40-41.
2. Шаплыгина, Ю.Н. Использование донных организмов в качестве природных индикаторов качества воды в экосистеме дельты и авандельты реки Волги / Ю.Н. Шаплыгина, Т.Ф. Курочкина // Естественные науки. – Астрахань. – 2011. – №3. – С. 59-64.
3. Шаплыгина, Ю.Н. Оценка запасов планктонных и донных ценозов как ценных кормовых ресурсов в водоемах дельты Волги / Ю.Н. Шаплыгина, Б.М. Насибулина, Т.Ф. Курочкина // Естественные науки. – Астрахань. – 2012. – №2 (39). – С. 56-61.
4. Шаплыгина, Ю.Н. Особенности воздействия тяжелых металлов на донные организмы дельты реки Волги / Ю.Н. Шаплыгина, Б.М. Насибулина, Т.Ф. Курочкина // Естественные науки. – Астрахань. – 2013. – №3 (44). – С. 51-60.

### Публикации в других изданиях и материалах конференций:

5. Шаплыгина, Ю.Н. Воздействие дноуглубительных работ на кормовые организмы Волго-Каспийского канала / Ю.Н. Шаплыгина, Т.Ф. Курочкина // «Современные

- аспекты экологии и экологического образования». Материалы международной научно-практической конференции. – Назрань. – 2007. – С. 238-246.
6. Шаплыгина, Ю.Н. Влияние углеводов на водные биоценозы / Ю.Н. Шаплыгина, Т.Ф. Курочкина // Экология биосистем: проблемы изучения индикации и прогнозирования: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Астраханского государственного университета. 20-25 августа 2007 г/ сост.: В.Н. Пилипенко, С.Р. Кособокова, Л.В. Яковлева. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет». – 2007. Ч.1.– С.42-45.
  7. Шаплыгина, Ю.Н. Изучение процессов самоочищения воды в аквариумах на основе сорбционной способности моллюсков / Ю.Н. Шаплыгина // Фундаментальные и прикладные исследования университетов, интеграция в региональный инновационный комплекс: доклады молодых ученых в рамках программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса», «У.М.Н.И.К» / Астрах. гос. техн. ун-т. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2010. – Т.2. С. 146-148.
  8. Шаплыгина, Ю.Н. Накопление тяжелых металлов Zn, Cu, Cd и Pb в донных организмах, обитающих в дельте р. Волги / Ю.Н.Шаплыгина, Е.Б. Жирякова // VIII Всероссийский молодежный форум по проблемам культурного наследия, экологии и безопасности жизнедеятельности «ЮНЭКО 2010». Сборник тезисов докладов участников VIII Всероссийского молодежного форума по проблемам культурного наследия, экологии и безопасности жизнедеятельности «ЮНЭКО 2010» . – С. 229-230.
  9. Шаплыгина, Ю.Н. Исследование сорбционной способности пресноводных моллюсков видов *Anadonta* и *Unio* по отношению к тяжелым металлам –ионам свинца, кадмия / Ю.Н. Шаплыгина, Т.Ф. Курочкина // Материалы за 8-а международна научна практична конференция, «Найновите научни постижения», - 2012. Том 28. Биология. Химия и химически технологии. София.«Бял ГРАД-БГ» ООД – С. 45-51.
  10. Шаплыгина, Ю.Н. Основные биотопы экотонного сообщества / Ю.Н. Шаплыгина, Т.Ф. Курочкина // Материалы за 8-а международна научна практична конференция, «Найновите научни постижения», - 2012.Том 29. Экология. География и геология. София. «Бял ГРАД-БГ» ООД – С. 3-7.
  11. Шаплыгина, Ю.Н. Тяжелые металлы как источник загрязнения и их цитотоксичность / Ю.Н. Шаплыгина // Молодая мысль: наука, технологии, инновации: Сборник материалов I международной научно-практической конференции, 16 мая 2013 г., Астрахань. – Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич. 2013 г. – С. 47-55.

Подписано в печать 07.10.2013 г. Формат 60×90/16  
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 1,5  
Тираж 100 экз.

Отпечатано в Астраханской цифровой типографии  
(ИП Сорокин Роман Васильевич)  
414040, Астрахань, пл. К. Маркса, 33, 5-й этаж  
Тел./факс (8512) 54-00-11, e-mail: [RomanSorokin@list.ru](mailto:RomanSorokin@list.ru)