

*На правах рукописи*

**ОСИНКИНА ТАТЬЯНА ВЛАДИМИРОВНА**

**СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ, КАДМИЯ И СВИНЦА В ВОДЕ И ДОННЫХ  
ОТЛОЖЕНИЯХ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ УРАЛ И ИХ  
ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ *UNIO  
PICTORUM* (LINNAEUS, 1758) И *ANODONTA CYGNEA* (LINNAEUS, 1758)**

03.02.08 – экология (биология)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

**Тюмень – 2017**

Работа выполнена на кафедре биологии в ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

**Научный руководитель:** доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой биологии ФГБОУ ВО Оренбургский государственный медицинский университет **Соловых Галина Николаевна**

**Официальные оппоненты:** **Петухова Галина Александровна** доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры экологии и генетики ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»

**Саралов Александр Иванович** доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией водной микробиологии ФГБУН «Институт экологии и генетики микроорганизмов» УрО РАН

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»

Защита состоится «28» февраля 2018 г. в 10.00. на заседании диссертационного совета Д 999.114.02 при ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья по адресу: 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7

Телефон/факс: 8(3452) 29-01-52, e-mail: [dissgausz@mail.ru](mailto:dissgausz@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного аграрного университета Северного Зауралья и на сайте университета <http://www.tsaa.ru>

Автореферат разослан «13» декабря 2017 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
доктор с.-х. наук

Турсумбекова Галина Шалкарловна

## Общая характеристика работы

Выделена приоритетная группа экотоксикантов, поступающих в природные экосистемы, в которую входят кадмий, медь, мышьяк, никель, ртуть, свинец и хром, как опасные для здоровья человека и животных (Будников, 1998; Водяницкий, 2012; Белеванцев, 2015). К числу высокотоксичных для живых организмов веществ отнесены кадмий, свинец, ртуть и их соединения (Тёплая, 2013; Белеванцев, 2015). Кадмий ядовит для живых организмов даже в невысоких концентрациях, но опасность металла ещё и в том, что интоксикация может прогрессировать даже после прекращения контакта с кадмием (Муртазалиева, 2008; Титов, 2012; Соловьев, 2013). Свинец по токсичности стоит после таллия, ртути и кадмия (Явербаум, 2006). Ртуть и её соединения относятся к наиболее высокотоксичным для живых организмов веществам (Сухенко, 1995; Ferreira, 2004; Пономаренко, 2006; Geffard, 2007; Dietz, 2013; Томилина, 2016). Этот металл принадлежит к числу тиоловых ядов, приводящих к нарушению работы ферментных систем и значительным изменениям в метаболизме организмов (Линник, 2010; Пенькова, 2012; Кузьмина, 2015). В окружающую среду ртуть попадает из природных и техногенных источников (Богдановский, 1994; Будников, 1998; Дымникова, 2012; Аксентов, 2015). В Оренбургской области также существуют потенциально возможные источники соединений ртути: промышленные предприятия г. Новотроицка, г. Орска, г. Медногорска, г. Оренбурга (гос. доклад о сост. окруж. среды Оренбургской обл., 2009, 2010, 2011, 2013). Расположенные на территории Оренбургской области месторождение Барсучий Лог и в Башкортостане Учалинское, Западно-Озёрное, Юбилейное, Подольское (Титова, 2011; Волков, 2012) и особенно Сибайское (Пешков, 2014) следует отметить особо, так как в добываемой медно-цинковой руде примеси ртути фиксируются постоянно. Поскольку добыча руды на выше указанных месторождениях производится в основном комбинированным способом (Пешков, 2014), следует ожидать попадания поллютантов в водотоки и водоёмы Оренбургской области. Данный процесс происходит, как в результате выветривания извлечённых рудных масс и атмосферного переноса, так и по причине размывания дождевыми и паводковыми водами с последующим привнесением в основное русло рек. В водной среде при определённых условиях (значениях рН воды  $< 7,0$  и достаточной концентрации растворимых органических веществ) (Белеванцев, 2015), до 90% всего количества ртути, поступившей в водоем, подвергается процессам метилирования с участием микроорганизмов и биоамплификации (Овсепян, 2016). Это ведет к значительному возрастанию её биологической активности и токсичности для гидробионтов (Комов, 2015; Гремячих, 2015; Голованова, 2015; Томилина, 2016).

Изучение токсического влияния ртути на прикрепленных литоральных организмов-фильтраторов – двустворчатых моллюсков представляет особый научный интерес, так как для них характерен ряд адаптивных механизмов, среди которых следует выделить лизоцим – первый и главный бактериолитический фермент данных организмов. Факт обнаружения лизоцима у представителей

пресноводных моллюсков семейства *Unionidae* был подтверждён исследованиями Карнауховой (2000), Минаковой (2005). Однако в литературе отсутствуют сведения о влиянии ртути, кадмия и свинца на активность лизоцима и изменении его бактериолитических свойств в условиях усиливающегося антропогенного воздействия на природные водоёмы. Все сказанное свидетельствует об актуальности проведения данного исследования.

**Цель работы** – определить содержание ртути, кадмия и свинца в р. Урал, выявить приоритетный токсикант и оценить биологический эффект их воздействия на антибактериальный фактор моллюсков *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758) и *Anodonta cygnea* (Linnaeus, 1758) – лизоцим, с целью установления пределов толерантности видов к действию токсикантов.

**Для реализации цели были поставлены следующие задачи:**

1. Выявить доминантные, субдоминантные и второстепенные виды пресноводных двустворчатых моллюсков среднего течения р. Урал для последующего их использования в токсикологическом эксперименте;
2. Определить содержание ртути, кадмия, свинца в воде и ДО р. Урал; выделить приоритетный токсикант;
3. Оценить содержание ртути, аккумулированной в моллюсках *U. pictorum* и *A. Cygnea*, и её биодоступность; выделить факторы наиболее значимые для её аккумуляции в водоёме;
4. Определить лизоцимную активность тканей моллюсков *U. pictorum* и *A. cygnea* в р. Урал; в условиях эксперимента оценить биологический эффект действия кадмия, свинца и ртути на лизоцимную активность и бактериальную обсеменённость их жабр и выявить наиболее чувствительный к токсикантам вид;
5. Для повышения эффективности мониторинга содержания ртути в водных экосистемах разработать «Способ выявления загрязнения пресных природных водоёмов ртутью».

**Научная новизна.** Впервые определено присутствие ртути в р. Урал на территории Оренбургской области превышающее в донных отложениях (ДО) экологические нормативы, а в воде нормативы для вод рыбохозяйственных водоёмов (р.х.) и общероссийский фоновый показатель. Выявлено, что наибольшее влияние на процессы накопления ртути в реке оказывает содержание органических соединений, а наименьшее значение – рН воды. Обнаружен факт возрастания концентрации ртути к концу паводка, что свидетельствует о её поступлении в водоток с талыми водами.

Установлено, что ткани двустворчатых моллюсков обладают неодинаковой накопительной способностью в отношении ртути: наибольшая аккумуляция металла для *U. pictorum* определена для гепатопанкреаса, а наименьшая – для «ноги»; для *A. cygnea* зафиксирована одинаковая аккумуляция ртути в гепатопанкреасе и мантии, которые в 2,0 и 1,3 раза выше, чем в жабрах. Содержание ртути в тканях двустворчатых моллюсков коррелировало с их возрастом. Обоснована высокая биологическая доступность ртути для моллюсков в воде и низкая в ДО, что подтверждает высокая положительная

корреляционная зависимость между содержанием ртути в воде и тканях моллюсков ( $R_{\text{сп}}=0,69$ ) и низкая корреляционная связь между содержанием токсиканта в ДО и тканях гидробионтов ( $R_{\text{сп}}=0,16$ ).

Показано, что биологический эффект действия кадмия, свинца и ртути на моллюсков *U. pictorum* и *A. cygnea* проявляется в нарушении механизмов антибактериальной (литической) защиты моллюсков под действием данных токсикантов, что приводит к снижению уровня лизоцимной активности и повышению бактериального обсеменения их жабр. Воздействие разных концентраций металлов на лизоцимную активность не однозначно, так как зафиксирован эффект «парадоксальной» токсичности, проявляющийся в повышении эффекта действия при низкой и высоких концентрациях токсиканта и снижении – при средней концентрации металла. Выявлена различная экологическая толерантность моллюсков к ртути: наиболее чувствительным оказался вид *A. cygnea* для которого установлена летальная доза – ЛД<sub>50</sub>: концентрация ртути в 10ПДК, приводящая к гибели 50% особей из выборки.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Расширены знания о содержании ртути, кадмия и свинца в р. Урал; степени подвижности и биологической доступности для гидробионтов-фильтраторов наиболее опасного токсиканта ртути и факторах, определяющих её накопление в экосистеме. Выявлена видовая специфичность восприятия ртути моллюсками, установлен наиболее чувствительный к её низким концентрациям вид *A. cygnea*, который рекомендован к использованию в качестве природного биоиндикатора ртути, показана необходимость учета возраста двустворчатых моллюсков как одного из параметров в биомониторинге ртути пресноводных экосистем. На основании полученных данных предложен способ, позволяющий выявить содержание низких концентраций ртути в природном водоёме «Способ выявления загрязнения пресных природных водоёмов ртутью» (патент на изобретение №2593013, зарегистрированный в Государственном реестре изобретений от 6 июля 2016г.). Патент внедрен в работу «Научно-исследовательского и проектного института экологических проблем» (акт внедрения от 15.11.2016г.).

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Ртуть в донных отложениях и воде р. Урал обладает неодинаковой подвижностью и биологической доступностью для моллюсков, что определяет разную степень аккумуляции токсиканта фильтраторами;
2. Биологический эффект действия кадмия, свинца и ртути на моллюсков *U. pictorum* и *A. cygnea* проявляется в нарушении механизмов антибактериальной защиты моллюсков, характеризуется снижением уровня лизоцимной активности и повышением микробной обсеменённости их жабр, но эффект воздействия не однозначен - зафиксирована «парадоксальная» токсичность.

**Апробация работы.** Основные результаты и положения диссертации были доложены и обсуждены на следующих конференциях: IV Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 130-летию со дня рождения первого заведующего кафедрой географии ПГСГА, профессора К.В. Полякова «Эколого-

географические проблемы регионов России» (Самара, 2013); V Всероссийской конференции по водной экотоксикологии, посвящённой памяти Б.А. Флёрова: антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы (Борок, 2014); III Международной научно-практической конференции «Вопросы науки: Естественно-научные исследования и технический прогресс» (Воронеж, 2015); 5-й Международной конференции, посвящённой памяти выдающегося гидробиолога, члена-корреспондента АН СССР, профессора Г.Г. Винберга «Функционирование и динамика водных экосистем в условиях климатических изменений и антропогенных воздействий» (Санкт-Петербург, 2015).

**Личный вклад автора в работу.** Диссертационная работа – результат собственных 4-х летних (2011-2014 г.г.) полевых и экспериментальных исследований по сбору, идентификации и анализу видов макрозообентоса среднего течения р. Урал, определению лизоцимной активности (ЛА) и токсикологическим экспериментам. Результаты экспериментальных исследований получены и обработаны лично автором.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 13 работ: 1 статья в журнале Scopus, 6 публикаций в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК; 6 статей в рецензируемых журналах и сборниках международных и всероссийских конференций.

**Структура и объём работы.** Диссертация включает введение, 7 глав, выводы, список литературы (244 источника, из них 55 зарубежных). Работа изложена на 189 страницах машинописного текста, проиллюстрирована 19 таблицами и 44 рисунками.

Диссертационное исследование выполнено в соответствии с открытым планом научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО «ОрГМУ Минздрава России» (№ гос. регистрации 0120.0809344) и при поддержке «Областного ГРАНТа в сфере научной и научно-технической деятельности», (№ 27-г, 2013г.). Работа является лауреатом премии Губернатора Оренбургской области в сфере науки и техники за 2015 год (Указ Губернатора Оренбургской области от 14.12.2015 года №932-ук).

## **Глава 1. Характеристика кадмия, свинца, ртути и некоторых механизмов адаптации двустворчатых моллюсков в условиях антропогенного воздействия (литературный обзор)**

В главе приведён обзор исследований роли гидробионтов в гидробиоценозах, биохимических механизмов адаптации моллюсков к жизни в водоёмах. Рассмотрены структура, механизм действия лизоцима. Описаны свойства, трансформация в водоёме, распространение и физиологические действия кадмия, свинца и ртути на метаболизм живых организмов.

## **Глава 2. Объекты и методы исследования**

Объектами проводимых исследований являлись двустворчатые моллюски, ДО и вода среднего течения р. Урал (табл. 1). Исследованиями была охвачена

территория общей протяжённостью около 320 км, включающая участок р. Урал от Ириклинского водохранилища до с. Черноречье в течение 2011-2014 г.г. Отбор воды и грунта проводили по общепринятым методам (Бельдеева, 1999). Всего в период исследования было отобрано 156 проб воды и 156 проб донных отложений.

Сбор моллюсков осуществляли принятыми в малакологии методами (Шкорбатов, Старобогатов, 1990). Оценку численности осуществляли по Н.М. Радченко (2006). Ежегодно в период исследований отбирали не менее 100 особей моллюсков, 464 особи использованы как для таксономического определения, так и для эксперимента. Для проведения токсикологических экспериментов использовали моллюсков видов *U. pictorum* и *A. cygnea* возрастом 3-4 года, отобранных на участке «р. Урал – малый Водозабор» в районе г. Оренбурга. Эксперименты проводились в трёх повторностях. Экстракты тканей моллюсков готовили по методу, предложенному Остерман (1981). В экстрактах определяли литическую активность (ЛА) с использованием суспензии тест-культуры *M. lysodeikticus* (штамм № 2665 ГИСК им. Л.А. Тарасевича) (Thammasirirak S. et. al., 2001). ЛА выражали в условных единицах на мл (Еа/мл). Удельную ЛА выражали в условных единицах на мг белка (Е (уд.акт.), ед./мг белка) (Досон, 1991). Для экспериментов использованы соли ТМ в виде растворимых хлоридов, концентрации токсикантов соответствовали значениям ПДК, 10ПДК, 100ПДК, 500ПДК, 1000ПДК для вод открытых водоёмов (Мур, Рамамурти, 1987; Новиков, 1990). Эксперимент проводили в течение 37 суток, на 3-и, 7-ые, 14-ые, 21-ые, 28-ые, 36-ые сутки определяли уровни лизоцимной активности жаберной ткани и общее микробное число жабр моллюсков.

Определение общего микробного числа проводили по стандартной методике (Егоров, 1997; Теппер, 2004).

Содержание кадмия, свинца и ртути в воде и ДО определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии (МУ М.ЦИНАО, 1992 (для ДО), ГОСТ Р 51212-98 (для воды), ртути в тканях моллюсков по МУК 4.1.1472-03 и методике атомно-абсорбционного анализа, 2000 г. Определение водородного показателя (рН), температуры воды, концентрации сульфат- и хлорид-ионов проводили на анализаторе жидкости Эксперт-001 (Документ на поверку КТЖГ.414318.001 РЭ от 14.10.2013 г.) по стандартной методике (Руководство по эксплуатации и методики поверки, 2013 г). Определение перманганатной окисляемости воды (ХПК) проводили по методу Кубеля (Муравьев, 2004), гранулометрического состава ДО по методу М.М. Филатова (Прияткин, 2004), ионно-сорбционной поглотительной способности ДО по методу Каппена-Гильковица (Коньк, 2013).

Статистическую обработку результатов проводили с использованием компьютерных программ Excel 2007, Statistica for Windows v.6.0. Экспериментальные данные обрабатывали с привлечением методов непараметрической статистики (<http://www.medstatistic.ru/theory/wilcoxon/htm>; <http://www.pubhealth.spb.ru/htm>).

## Глава 3 Эколого-гидробиологическая характеристика некоторых компонентов биоценозов среднего течения р. Урал

### 3.1 Краткая характеристика некоторых гидрохимических особенностей р. Урал

В среднем течении р. Урал значения рН воды во время паводка составляли 6,5 – 7,0, а в июне-августе были в пределах 6,21 – 7,38. Перманганатная окисляемость воды (ХПК) в летнее время варьировала от 0,48 до 3,44 мл О/л. Средние концентрации хлорид- и сульфат-ионов были 346,5 и 1,827 мг/л, соответственно. Таким образом, вода в р. Урал была отнесена к классу хлоридно-натриевой.

### 3.2 Малакофауна двустворчатых моллюсков (*Bivalvia*) среднего течения р. Урал

В период исследований 2011-2014 гг. в среднем течении р. Урал на 19 участках водотока, расположенных выше и ниже г. Оренбурга и в районе города, из класса двустворчатых моллюсков (*Bivalvia*) выявлены представители семейства *Unionidae*, родов *Unio* и *Anodonta*. Род *Unio* представлен тремя видами: *Unio pictorum* (Перловица обыкновенная), *Unio crassus* (Philipsson in Retzius, 1788) (Перловица толстая) и *Unio tumidus* (Philipsson in Retzius, 1788) (Перловица клиновидная). Доминантным на 99% участков явился вид *U. pictorum*, вид *U. crassus* доминировал лишь на 28% станций; *U. tumidus* и *A. cygnea* отнесены к субдоминантным и второстепенным видам соответственно. Выявлено снижение численности доминантного вида по сравнению с 2000-2005 г.г., что свидетельствует об усилении антропогенной нагрузки на р. Урал в период нашего исследования. Это и обусловило необходимость более глубокого изучения некоторых показателей состояния двустворчатых моллюсков и среды их обитания (воды и ДО) как факторов, отражающих состояние гидробиоценоза в целом.

## Глава 4 Исследование содержания кадмия и свинца в воде и донных отложениях среднего течения р. Урал

В период исследований 2013 года на участках р. Урал в воде установлено присутствие кадмия и свинца. На некоторых участках реки зафиксированы превышения ПДК хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования для кадмия в среднем в 2,5 раза, что в 10 раз выше данных 1971г.. Превышений фоновых общероссийских показателей (0,0002 мг/л, Израэль, 2011) не обнаружено. В водной вытяжке донных отложений всех точек отбора р. Урал в 2013 году не зафиксированы превышения экологического норматива по кадмию. Сравнение полученных данных с результатами Голинской Л.В. (2011 г.) показало, что в период наших исследований, металл поступал в водоём и аккумулировался в ДО большинства исследованных участков (0,05 – 0,06 мг/л). На отдельных станциях содержание кадмия в ДО возросло в 4 раза (р.



Урал – выше г. Орска, выше г. Новотроицка, с. Алабайтал, т/б Прогресс, «Карьер», Чернореченский мост). Содержание свинца в 2013 г. на исследуемой территории превышало общероссийский фоновый показатель в 3,5 раза. В аккумуляции свинца в ДО р. Урал прослежена сходная динамика: металл фиксировался во всех исследованных участках реки, но превышений экологического норматива отмечено не было, а его концентрация в 2013 г. снизилась в 1,5 – 2,5 раза, по сравнению с данными 2011 г.

Наиболее токсичным из группы приоритетных ТМ является ртуть. Она обладает рядом специфических свойств: большой летучестью, повышенным сродством к биомембранам клеток живых организмов и микробиологической трансформации в ДО водоёмов при определённых условиях (Сухенко, 1995; Петросян, 2007; Лавриненко, 2010; Арефьева, 2010). Указанные особенности ртути и выявленные превышения экологических нормативов в её содержании в водоёмах и водотоках Оренбургской области в 2011 году в среднем в 150 – 200 раз (Голинская, 2011; Соловых, 2011) определили необходимость изучения в 2013 г. содержания ртути не только в воде и ДО, но и в тканях гидробионтов.

## Глава 5 Исследование содержания ртути в воде, донных отложениях и двустворчатых моллюсках среднего течения р. Урал

### 5.1 Содержание ртути в воде и донных отложениях среднего течения р. Урал

Установлено присутствие и различия в содержании ртути в воде разных участков р. Урал в 2013 г., (табл. 1) которое в некоторых точках отбора проб в 12,5 раз превышало данные полученные Голинской Л.В. в 2011 г.

Таблица 1 - Содержание ртути в воде (мг/л) и донных отложениях (мг/кг) среднего течения реки Урал (2013 г.)

значения участок реки	р. Урал выше Ириклинского вдхр.	р. Урал – Ириклинское вдхр.	р. Урал выше г. Орска	р. Урал в черте г. орска	р. Урал выше Новотроицка	р. Урал ниже Новотроицка	р. Урал с. Никольское	р. Урал – с. Алабайтал	р. Урал – с. Красногор	р. Урал – т/б Прогресс	р. Урал – Карьер	р. Урал – л. Дубки	р. Урал – Водозабор	р. Урал – Автомарожный мост	р. Урал – Железнодорож. мост	р. Урал – Очист. сооруж.	р. Урал – л. Чайка	р. Урал – Чернореч. мост
Ртуть в воде, мг/л	0,0001±0,00005	0,00013±0,00007	0,00012±0,00006	0,00011±0,00006	0,00009±0,00006	0,0001±0,00005	0,00014±0,00007	0,00008±0,00005	0,0002±0,0001	0,00006±0,00004	0,00008±0,00005	0,00007±0,00005	0,00011±0,00006	0,00005±0,00003	0,00007±0,00005	0,00005±0,00003	0,00009±0,00006	0,00006±0,00004
Ртуть в ДО, мг/кг	0,047±0,014	0,069±0,021	0,072±0,022	0,051±0,015	0,054±0,016	0,062±0,019	0,057±0,017	0,062±0,019	0,053±0,016	0,056±0,017	0,156±0,047	0,051±0,015	0,058±0,017	0,060±0,018	0,060±0,018	0,072±0,022	0,069±0,021	0,068±0,020

Выявлены превышения ПДК р.х. в среднем в 9,5 раз, а общероссийский фоновый показатель по ртути (0,00195 мг/л, Израэль, 2011) оказался превышен в

38,9 раза. Полученные данные свидетельствуют либо о наличии источника соединений ртути в самом водотоке, либо о поступлении токсиканта в реку из окружающей среды.

В водной вытяжке донных отложений в 2011 году всех участков р. Урал в районе г. Оренбурга зафиксированы превышения экологического норматива по ртути в среднем в 220 – 300 раз. Наибольшие показатели были отмечены на «р. Урал - Железнодорожный мост», где превышения составили в 1020 и на «р. Урал – Очистные сооружения» в 1180 раз. В 2013 году в ДО всех участков среднего течения р. Урал также регистрировалось присутствие ртути, превышающее экологические нормативы более чем в 1000 раз, а для места отбора проб «р. Урал – Карьер» - в 3120 раз (табл. 1). Высокое содержание ртути на данном участке реки вызвано замедлением скорости течения реки, увеличением глубины по сравнению с выше и ниже расположенными районами. Это создаёт благоприятные условия для образования «природных ловушек» токсиканта, которые функционируют как накопитель антропогенной ртути, принесённой рекой с верховьев и служат источником вторичного загрязнения реки, в случае повышения среднесуточных температур воды и концентраций органических соединений (особенно серосодержащих) (Линник, 2006; Белеванцев, 2015).

Выявленное значительное увеличение содержания ртути, как в воде, так и в ДО р. Урал в 2011-2013 г.г. по сравнению с кадмием и свинцом, следует объяснить несколькими факторами: активацией природных источников соединений ртути в результате повышения температуры воды, обмеления участка реки, и, как следствие, запуск процессов перехода неактивных сульфидных соединений ртути в более активные и их выход в водную фазу (Ульрих, 2001; Сi, 2015). Очаг активной диффузии ионных форм поллютанта мог возникнуть и по причине гниения вегетативной части и корней макрофитов, которые, как известно, аккумулируют токсиканты из экосистемы (Соловых, Шустова, 2016), и наконец, существования антропогенных источников данного металла и его поступления в водоток с водосборной площади реки. Установление фактов превышения экологического норматива и образования природных «ловушек» ртути, определило необходимость изучения факторов, влияющих на накопление металла в р. Урал.

## **5.2 Оценка вклада рН воды, температуры воды, содержания хлорид- и сульфат-ионов в воде, гранулометрического состава и ионно-сорбционной емкости донных отложений в накопление ртути в водотоках**

Показано, что среди изученных факторов, наибольшее влияние оказывала окисляемость ( $R_{сп}=0,65$ ), т.е. содержание органических соединений, которые активно связывали ртуть. Следовательно, с возрастанием их концентрации в водоёме содержание ртути также увеличивалось, а наименьшее влияние оказывало значение рН ( $R_{сп}= - 0,63$ ): при зафиксированных значениях рН (6,5 – 7,0) кислотного выщелачивания ртути не происходит и, как следствие, нет выхода ртути из ДО в воду. На накопление и распределение ртути в водоёме также могут влиять и другие физико-химические факторы, но вклад каждого из

них не равноценен. В р-не г. Оренбурга («р. Урал - «Карьер»» - «р. Урал - Чернореченский мост») большее влияние на накопление металла оказывала температура воды ( $R_{\text{сп}}=0,70$ ), повышение которой активировало диффузию ионных форм ртути из глубоких слоёв ДО и приводило к увеличению её содержания в реке. Повышение содержания хлорид-ионов ( $R_{\text{сп}}=0,70$ ), которые активно связывают ионную форму ртути, способствует её накоплению в водоёме (Ульрих, 2001). В экотопах восточной части реки («р. Урал - т/б «Прогресс»» - «р. Урал - выше Ириклинского водохранилища») накоплению ртути способствовали сульфат-ионы ( $R_{\text{сп}}=0,62$ ), гранулометрический состав ДО (увеличение процента глинистых частиц в ДО) ( $R_{\text{сп}}=0,60$ ) и ионно-сорбционная ёмкость ( $R_{\text{сп}}=0,90$ ). Прямые корреляционные зависимости между указанными показателями и содержанием ртути в водоёме могут иметь следующее объяснение: с увеличением содержания сульфат-ионов в воде и процента глинистых частиц существенно возрастает поглотительная способность ДО. В результате они значительно обогащаются активными центрами, содержащими анионные группы гуминовых кислот, которые способны присоединять и удерживать катионы ртути, что и приводит к возрастанию её содержания в водоёме. Установлено, что фактором, влияющим на поступление ртути в экосистему р. Урал, являются и талые воды, так как к концу паводка содержание ртути в реке возрастало в 1,5 – 2 раза и превысило ПДК р.х. в 19,5 раз.

### 5.3 Содержание ртути в тканях двустворчатых моллюсков

#### *U. pictorum* и *A. cygnea* среднего течения р. Урал

Моллюски – важнейшие компоненты биоты любой природной водной экосистемы. Являясь прикрепленными литоральными организмами-фильтраторами, они контактируют с двумя средами экосистемы (водой и ДО), а следовательно испытывают двойной прессинг находящихся в воде и ДО металлов, что и определило следующую задачу исследования: оценить содержание ртути аккумулированной в *U. pictorum* и *A. cygnea* и ее биодоступность.

Установлена неодинаковая концентрация ртути в органах и тканях *U. pictorum* и *A. cygnea* с одного участка, так и в моллюсках с разных участков реки (табл. 2).

Таблица 2 - Содержание ртути (мг/кг) в некоторых органах и тканях двустворчатых моллюсков *U. pictorum*

участки реки ткани	р. Урал - Дубки	р. Урал - Водозабор	р. Урал – Автомобильный мост	р. Урал – Железнодорожный мост
жабры	0,0093±0,0002	0,0043±0,0002	0,0037±0,0003	0,09±0,003
мантия	0,014±0,003	0,0027±0,0004	0,0073±0,0002	0,08±0,004
гепатопанкреас	0,014±0,003	0,0053±0,0002	0,0077±0,0005	0,1±0,05
тело «нога»	0,0237±0,0004	0,0027±0,0003	0,007±0,0025	0,05±0,002

Содержание ртути в мантии, жабрах и в гепатопанкреасе *U. pictorum* было выше в 1,24, 1,3 и 1,5 раза, чем в «теле» гидробионтов; а для *A. cygnea* в гепатопанкреасе и мантии выше в 2,0 и 1,3 раза, чем в жабрах и «ноге», в целом

для *A. cygnea* значения были ниже. Выявленные различия в накоплении ртути в органах и тканях моллюсков, следует объяснить отличиями в уровне метаболической активности и фильтрующей способности их тканей, которая не одинакова на протяжении жизни моллюсков, что и отражается на процессах аккумуляции токсикантов. Выявлена значительная положительная корреляционная связь ( $R_{\text{сп}}=0,77$ ) между возрастом и содержанием ртути в теле *U. pictorum* разного возраста: количество ртути в моллюске возрастом 7 лет было в 1,4 раза выше, чем в возрасте пяти лет и в 5,88 раз выше, чем в теле моллюска 3-х лет. Сказанное полностью согласуется с физиологическими особенностями фильтратора: активный метаболизм и наиболее высокая скорость фильтрации в молодом возрасте (3 – 5 лет) позволяет им активнее удалять токсиканты из клеток (Бурдин, 2009), но эта способность резко снижается с возрастом (Зенкевич, 1989). Однако, накопление ртути в тканях и органах моллюсков, по-видимому, определяется не только фильтрационной активностью и уровнем их метаболизма, но и степенью биологической доступности ионов ртути на данном участке реки. О биологической доступности можно судить по коэффициентам биологического накопления ртути в тканях моллюска по отношению к воде –  $Kd_{\text{(вода)}}$  и по отношению к ДО  $Kd_{\text{(ДО)}}$  (Минакова, 2005; Хажеева, 2005). Установлена неодинаковая накопительная способность различных тканей *U. pictorum* и *A. cygnea*. Наибольшее значение  $Kd_{\text{(вода)}}$  во всех исследуемых участках реки отмечено для гепатопанкреаса, а наименьшее для «ноги» гидробионтов:

- *U. pictorum*:  $Kd_{\text{(г-п)}}457,5 > Kd_{\text{(ж)}}382,7 > Kd_{\text{(м)}}378,4 > Kd_{\text{(«нога»)}}304,1$

- *A. cygnea*:  $Kd_{\text{(г-п)}}228,6 = Kd_{\text{(м)}}228,6 > Kd_{\text{(ж)}}171 > Kd_{\text{(«нога»)}}114,3$

Выявлена высокая биологическая доступность ртути для гидробионтов и большая её подвижность в воде р. Урал, в результате чего моллюски в воде выступают в качестве макроконцентраторов ( $Kd_{\text{(вода)}}>2$ ). Однако, являясь донными фильтраторами, они аккумулируют ТМ не только из водной фазы, но и из ДО: по уровню накопления ТМ в водоёме моллюски могут выступать как деконцентраторы, если коэффициент накопления ( $Kd<1$ ), как микроконцентраторы, если ( $1<Kd<2$ ) и как макроконцентраторы, если ( $Kd>2$ ) (Хажеева, 2005; Линник, 2006; Лукашев, 2009). Установлено, что *U. pictorum* в местах отбора «р. Урал – Дубки, Водозабор, Автодорожный мост» не аккумулировал ртуть из ДО и выступал как деконцентратор ( $Kd_{\text{(до)}}<1$ ) ( $Kd_{\text{(до)}}=0,57$ ). Это говорит о присутствии в ДО данных участков реки неподвижных сульфидных форм ртути, затрудняющих её аккумуляцию, а в точке отбора «р. Урал – Железнодорожный мост» фильтраторы выступали микроконцентраторами ( $1<Kd_{\text{(до)}}<2$ ) ( $Kd_{\text{(до)}}=1,33$ ) из-за присутствия в ДО более подвижных ионных форм ртути.

Факт накопления ртути в тканях моллюсков и превышения нормативов в её содержании в р. Урал определил необходимость оценки экологических последствий воздействия наиболее высокотоксичных ТМ (ртути, кадмия и свинца) на основной защитный фактор моллюсков – лизоцим, определяющий их антибактериальную активность и, как следствие, санитарно-экологический режим водоёма.

## Глава 6 Влияние ртути, кадмия и свинца на лизоцимную активность моллюсков *U. pictorum* и *A. cygnea*

### 6.1 Уровень лизоцимной активности в некоторых тканях двустворчатых моллюсков *U. pictorum* и *A. cygnea*

Установлено, что уровень ЛА у *U. pictorum* (0,7401 ед/мг белка) и *A. cygnea* (0,3857 ед/мг белка) в разных участках р. Урал и разных тканях моллюсков был неодинаков: повышенный уровень ЛА зафиксирован в жабрах (1,1247 ед/мг белка) и гепатопанкреасе (1,329 ед/мг белка). В сравнении с 2005 годом исследования активность фермента в жабрах *U. pictorum* возросла в 15,4 раза и в гепатопанкреасе в 2,17 раза, а в мантии и «ноге» *U. pictorum* активность фермента была в 4,75 раза ниже данных 2005 года. Для *A. cygnea* уровень ЛА в жабрах снизился в 4,8, в гепатопанкреасе в 1,3, в мантии в 1,4 раза.

Выявлены и межвидовые различия в уровне ЛА моллюсков: уровень ЛА жабр *A. cygnea* был в 2,8 раза ниже, чем у *U. pictorum*, а для гепатопанкреаса - в 1,8 раза. Причиной неодинаковых величин активности исследуемого фермента могут быть видовые отличия интенсивности протекания обмена веществ у *A. cygnea*, как организма, относящегося к реофильным (чувствительным к недостатку кислорода) видам (Кулько, 2012; Купина, 2015).

### 6.2 Влияние ртути, кадмия и свинца на лизоцимную активность *U. pictorum* и *A. cygnea* и бактериальную обсеменённость жабр в модельном эксперименте

В условиях эксперимента установлено сходное действие кадмия и свинца на лизоцимную активность и бактериальную обсеменённость жабр моллюсков *U. pictorum* и *A. cygnea*. (Рис.1)

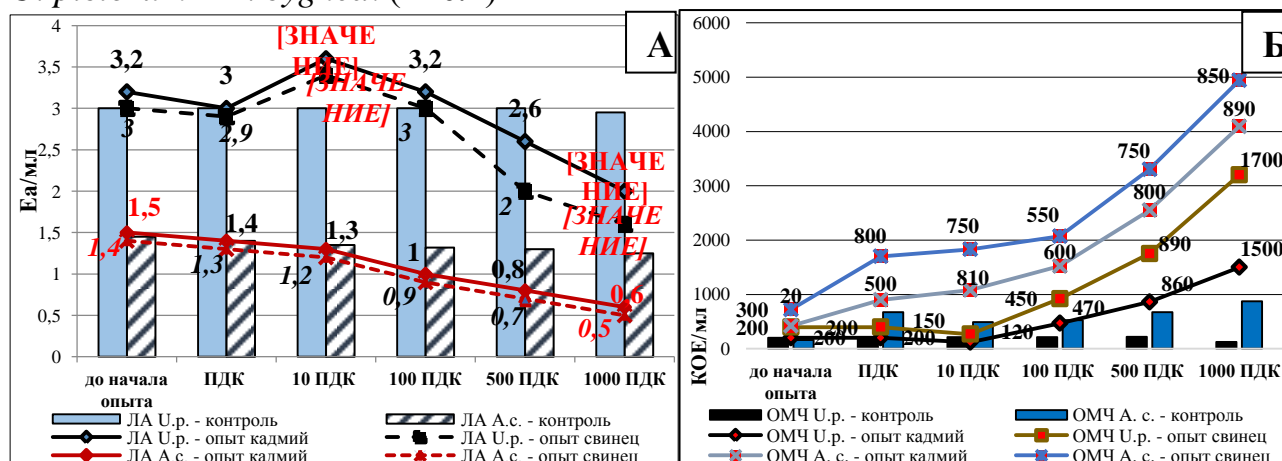
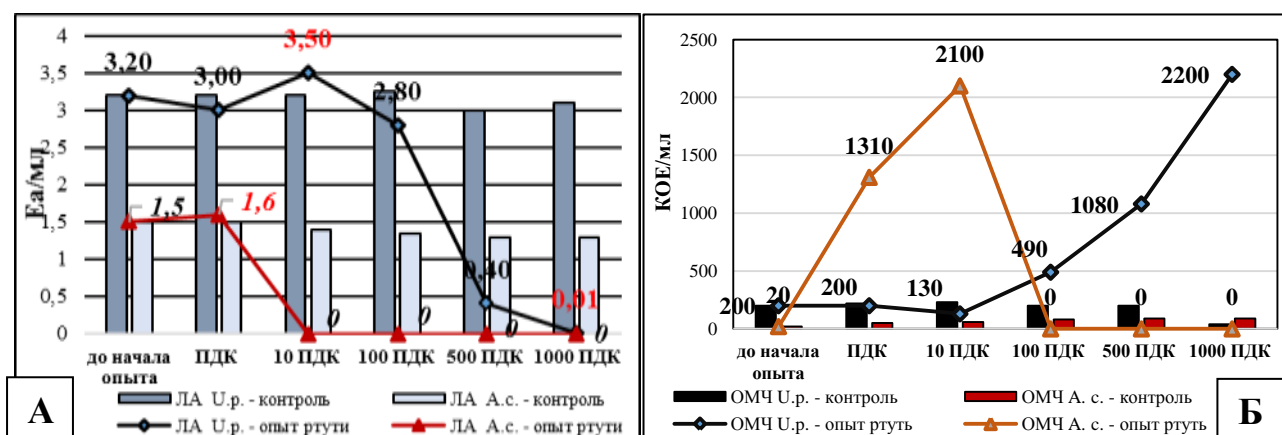


Рис. 1 - Изменение лизоцимной активности (А) и общего микробного числа (Б) жабр *U. pictorum* и *A. cygnea* под действием кадмия и свинца

Токсическое действие кадмия и свинца проявлялось в снижении ЛА жабр до 3,0-2,9 Ед/мл при ПДК и высоких концентрациях металла (2-1,6 Ед/мл), но резком возрастании при 10 ПДК (3,6-3,4 Ед/мл) - эффект парадоксальной токсичности.

Токсический эффект действия разных концентраций данных ТМ на *A. cygnea* проявлялся в более спокойной динамике, так как не регистрировался «парадоксальный» биологический эффект при 10 ПДК, но исходная активность лизоцима была в 2,1 раза ниже, чем у *U. pictorum* и в конце эксперимента, при 1000 ПДК, ЛА не превышала 0,6-0,5 Еа/мл (75 % от контроля), что в 3,3-3,2 раза ниже уровня ЛА *U. pictorum* при этой концентрации (рис. 1 (А)). Известно, что лизоцим, как литический фермент, обладает антибактериальным действием, вызывая лизис бактерий, поэтому логично было предположить, что в ответ на выявленное падение ЛА моллюсков под воздействием кадмия и свинца должна снижаться и антибактериальная активность жабр, как основного барьерного органа фильтраторов, а следовательно, и возрастать их бактериальная обсеменённость. Анализ результатов оценки степени бактериальной обсеменённости жабр (общее микробное число (ОМЧ)) моллюсков при воздействии разных концентраций металлов выявил рост ОМЧ жабр моллюсков под действием разных концентраций кадмия и свинца. Для *U. pictorum* рост численности бактерий носил плавный динамический характер при разных концентрациях, достигая максимума обсеменённости при 1000ПДК (1500 КОЕ/мл). Для *A. cygnea* рост ОМЧ жабр был ниже и имел скачкообразную динамику: при ПДК - рост, при 100ПДК - снижение численности бактерий, а затем рост до максимума при 1000 ПДК (1700 КОЕ/мл). Следовательно, под действием разных концентраций кадмия и свинца, на фоне снижения ЛА жабр моллюсков наблюдался рост их микробной обсеменённости. Это указывает на снижение бактериолитического эффекта действия лизоцима моллюсков под действием данных металлов (рис. 1 (Б)).

Из приоритетной группы металлов ртуть и её соединения относят к I классу опасности, так как металл оказывает на живые организмы стойкий токсический эффект даже в минимальной концентрации. Полученные результаты подтвердили её высокую токсичность для лизоцима моллюсков, так как происходило резкое падение ЛА жабр моллюсков (в 320 раз) в конце эксперимента. Однако биологический эффект действия токсиканта неоднозначен: ответ *U. pictorum* проявлялся снижением литической активности жабр при ПДК и высоких концентрациях токсиканта (100ПДК, 500ПДК), но при 10 ПДК ртути происходил рост ЛА (рис. 2 (А)). Наибольший биологический эффект токсикант вызывал у *A. cygnea*, так как литическая активность жабр в присутствии ртути проявлялась лишь на уровне ПДК (1,6 Еа/мл), а дальнейшее увеличение концентрации токсиканта вызывало падение ЛА жабр до нуля (рис. 2 (А)).



**Рис. 2 - Изменения лизоцимной активности (А) и общего микробного числа (Б) жабр *U. pictorum* и *A. cygnea* под действием ртути**

Выявленные значительные динамические изменения литической активности лизоцима *U. pictorum* и *A. cygnea* под воздействием даже низких концентраций ртути позволяют предположить глубокие нарушения в механизмах бактериальной санации водной среды моллюсками-фильтраторами в присутствии ртути. Подтверждением этого являются изменения обсеменённости жабр моллюсков при действии металла. Под влиянием ртути в жабрах *U. pictorum* отмечался динамический рост микробной обсеменённости с 200 КОЕ/мл до 2200 КОЕ/мл на конец эксперимента, подтверждающий снижение ЛА (рис. 2 (Б)).

Токсический эффект ртути для *A. cygnea* был выше, так как обсеменённость жабр резко возрастала уже на уровне ПДК ртути, что в 6,5 раз превышало аналогичный показатель для *U. pictorum* (рис. 2 (Б)). О высокой токсичности ртути для *A. cygnea* свидетельствует факт гибели более 50% моллюсков уже при 10 ПДК (летальная доза ( $LD_{50}$ )), что свидетельствует о высокой чувствительности вида к данному металлу. Таким образом, результаты исследований воздействий разных концентраций кадмия, свинца и ртути на моллюсков показали, что ответный биологический эффект проявлялся в форме «парадоксальной» токсичности, поскольку регистрировалось повышенное воздействие металла на ЛА при ПДК и высоких уровнях ПДК (100, 500 и 1000ПДК) металлов, но снижение их воздействия при средней концентрации токсиканта (10ПДК) на вид *U. pictorum*. Установлены межвидовые различия чувствительности моллюсков к изученным металлам, уровню ЛА, антибактериальной защите и бактериальной обсеменённости жабр фильтраторов. Наименьшая экологическая толерантность к данным токсикантам выявлена для *A. cygnea*, который рекомендован как природный биоиндикатор ртути, так как для данного вида установлена наименьшая его концентрация, приводящая к гибели 50% особей из выборки ( $LD_{50}=0,005\text{мг/кг}$ ).

## Выводы

1. Двустворчатые моллюски среднего течения р. Урал представлены видами – *Unio pictorum*, *Unio crassus*, *Unio tumidus* и *Anodonta cygnea* в возрасте от 3-х до 5-6 лет, с преобладанием 3-4 летних особей; доминантным является *U. pictorum*, а *U. tumidus* и *A. cygnea* отнесены к субдоминантным и второстепенным видам соответственно.
2. В 2013 г. в воде р. Урал выявлены превышения ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: По кадмию в 2,5 раза на 33 % станций, по свинцу в 1,8 на 16,7% станций, а ПДК р.х. по свинцу в 2,9 раза на 16,7%, по ртути ПДК р.х. водоёмов в 9,5 раз на всех исследованных участках реки. В донных отложениях всех районов исследования зафиксировано превышение экологических нормативов по ртути более чем в 1000 раз. У г. Оренбурга содержание ртути оказалось в 3,5 раза больше, чем на участках реки восточной части Оренбургской области.
3. Наименьшее влияние на накопление ртути в воде и ДО оказывали значения рН ( $R_{\text{сп}}=-0,63$ ), а наибольшее – содержание органических веществ (окисляемость) ( $R_{\text{сп}}=0,65$ ). Рост содержания ртути в воде к концу паводка в 19,5 раз свидетельствует о поступлении ртути в водоток с паводковыми водами.
4. Установлена разная накопительная способность ртути тканями у разных видов моллюсков: наибольшая зафиксирована для *U. pictorum* в гепатопанкреасе ( $K_d=457,5$ ), наименьшая - в «ноге» ( $K_d=304,1$ ), для *A. cygnea* показатель был ниже и составил  $K_d=228,6$  и  $K_d=114,3$ , что обусловлено разным уровнем метаболической активности тканей фильтраторов.
5. Ионная форма ртути, содержащаяся в воде и донных отложениях на всех исследованных участках реки, обладала разной подвижностью и биологической доступностью для моллюсков. Высокой подвижностью ионная форма ртути обладала в воде, что подтверждает сильная корреляционная связь между содержанием ртути в воде и тканях моллюсков ( $R_{\text{сп}}=0,69$ ) и низкой в донных отложениях, где она присутствовала в связанной форме в виде комплексных соединений и сульфидов, малодоступных для гидробионтов. Это подтверждает слабая корреляция между содержанием метилированной формы ртути в тканях моллюсков и специфически сорбированной формой ртути в донных отложениях ( $R_{\text{сп}}=0,16$ );
6. Зафиксирован повышенный уровень лизоцимной активности в жабрах и гепатопанкреасе *U. pictorum* и *A. cygnea*, что свидетельствует о их высокой бактериолитической роли в процессах адаптации моллюсков к существованию в водоёмах. Биологический эффект действия свинца, кадмия и ртути на моллюсков проявлялся в снижении уровня лизоцимной активности и повышении общего микробного числа жабр. Это свидетельствует о снижении бактериолитической активности моллюсков в процессах санации водотока под воздействием токсикантов;
7. Биологический эффект от токсического действия свинца, кадмия и ртути на моллюсков (лизоцимная активность и бактериолитическое действие) неоднозначен: для *U. pictorum* действие свинца, кадмия наиболее выражено при



500 и 1000 ПДК, для *A. cygnea* при 100 ПДК. Эффект действия ртути был выше, поскольку для *U. pictorum* он регистрировался при 100 ПДК, для *A. cygnea* при ПДК, а 10 ПДК оказалось летальным для 50% особей, что говорит о низкой толерантности вида *A. cygnea*. Для *U. pictorum* зафиксирована «парадоксальная» токсичность, заключающаяся в повышенном эффекте воздействия кадмия, свинца и ртути при низких и высоких значениях концентраций металлов и снижении воздействия при средней концентрации токсикантов (10ПДК).

**Список основных работ, опубликованных по теме диссертации**  
**Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных**  
**ВАК:**

1. Соловых, Г.Н. Содержание ртути в ДО и у двустворчатых моллюсков *Unio pictorum* реки Урал / Г.Н. Соловых, **Т.В. Осинкина**, Н.Н. Верещагин, В.Г. Беломестнова, О.В. Водяницкая, И.В. Карнаухова, Е.А. Кануникова, В.В. Минакова // Гигиена и санитария. – Т. 94. - №5. – Москва, 2015. – С. 53–56.
2. **Осинкина, Т.В.** Пресноводные двустворчатые моллюски семейства *UNIONIDAE* как тест-объект в токсикологическом мониторинге состояния природных водоёмов / **Т.В. Осинкина** // Здоровье населения и среда обитания. – №6 (243). - 2013. – С. 23-24.
3. Соловых, Г.Н. Исследование суммарного содержания ртути в ДО и некоторых органах двустворчатых моллюсков *Unio pictorum* среднего течения реки Урал в черте города Оренбурга / Г.Н. Соловых, **Т.В. Осинкина**, Н.Н. Верещагин, В.Г. Беломестнова, О.В. Водяницкая, И.В. Карнаухова, В.В. Минакова, Г.М. Тихомирова, В.В. Минакова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 15. - №3(6). – 2013. – С. 1894 – 1897.
4. Соловых, Г.Н. Анализ динамики содержания ртути в воде среднего течения реки Урал в период весеннего паводка / Г.Н. Соловых, **Т.В. Осинкина**, И.В. Карнаухова, В.В. Минакова, Л.Г. Фабарисова // Здоровье населения и среда обитания. - №9(258). – 2014. – С. 24 – 26.
5. **Осинкина, Т.В.** Исследование некоторых показателей антиоксидантного статуса пресноводных двустворчатых моллюсков семейства *Unionidae* среднего течения реки Урал / **Т.В. Осинкина**, И.В. Карнаухова, Г.Н. Соловых, В.В. Минакова // «Проблемы региональной экологии» - № 5. – 2014. – С. 161-165.
6. **Осинкина, Т.В.** Влияние ионов ртути на лизоцимную активность и микробную обсеменённость жабр двустворчатых моллюсков *Unio pictorum* / **Т.В. Осинкина**, Г.Н. Соловых, Г.М. Тихомирова // Известия Оренбургского аграрного университета. - №1(51). – 2015. – С. 152 – 154.
7. **Осинкина, Т.В.** Исследование гранулометрического состава и физико-химической ёмкости ДО среднего течения реки Урал как факторов, влияющих на накопление соединений ртути в исследуемых экотопах / **Т.В. Осинкина**, Г.Н. Соловых, Е.А. Кануникова, Г.М. Тихомирова, Л.Г. Фабарисова // Современные проблемы науки и образования. - №2 (часть 2). – 2015. – Режим доступа: URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21830>

**Публикации в рецензируемых журналах и материалах международных и всероссийских конференций:**

8. **Осинкина, Т.В.** Оценка степени доминирования и изменения удельного содержания  $\beta$ -каротина в некоторых тканях представителей пресноводных двустворчатых моллюсков семейства *Unionidae* среднего течения реки Урал / **Т.В. Осинкина**, Г.Н. Соловых, И.В. Карнаухова, В.В. Минакова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – №9 (часть 2). – Академия естествознания, 2013. – С. 97 – 100.
9. Соловых, Г.Н. Исследование изменения численности двустворчатых моллюсков отряда *UNIONIDAE* в условиях антропогенной нагрузки / Г.Н. Соловых, И.В. Карнаухова, Г.М. Тихомирова, **Т.В. Осинкина** // Эколого-географические проблемы регионов России: материалы IV всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 130-летию со дня рождения первого зав. кафедрой географии ПГСГА, проф. К.В. Полякова (Самара, 15 января 2013г.). – Самара: ПГСГА, 2013. – С. 232 – 235.
10. **Осинкина, Т.В.** Исследование динамики численности и видового состава пресноводных двустворчатых моллюсков как показателей, характеризующих состояние водной экосистемы / **Т.В. Осинкина**, Г.Н. Соловых, Е.С. Аверьянова // Вопросы науки: по материалам III Международной научно-практической конференции (Воронеж, 26 февраля 2015). – Воронеж, 2015. – т. 2. – С. 28 – 31.
11. **Осинкина, Т.В.** Исследование динамики накопления ртути в теле пресноводных двустворчатых моллюсков *Unio pictorum* разных возрастов / **Т.В. Осинкина**, Г.Н. Соловых, И.В. Карнаухова // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: материалы V Всероссийской конференции по водной экотоксикологии, посвящённой памяти Б.А. Флёрова (Борок, 12-15 октября 2014г.). – ИБВВ им. Папанина РАН, 2014. – т.1. – С. 31 – 33.
12. **Осинкина, Т.В.** Исследование концентраций неорганических соединений ртути в воде среднего течения реки Урал в период весеннего паводка 2013 года / **Т.В. Осинкина**, Г.Н. Соловых, Г.М. Тихомирова // Итоги и перспективы научных исследований. – Краснодар, 2015. – вып. №2 – С. 172 - 177.
13. **Осинкина, Т.В.** Пресноводные двустворчатые моллюски *Unio pictorum* как эффективные тест-объекты в токсикологическом мониторинге состояния водоёмов и водотоков / **Т.В. Осинкина**, Г.Н. Соловых // Функционирование и динамика водных экосистем в условиях климатических изменений и антропогенных воздействий: материалы 5-й Международной конференции, посвящённой памяти выдающегося гидробиолога, члена-корреспондента АН СССР, проф. Г.Г. Винберга (г. Санкт-Петербург, 12-17 октября 2015г.). – СПб.: Изд-во «Лема», - 2015г. – 356 с.