

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(СПБГУ)  
Институт наук о Земле

Кафедра экологической безопасности и устойчивого развития регионов

Мотрук Максим Константинович

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ БИОЭЛЕКТРОННАЯ ДИАГНОСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
СОСТОЯНИЯ АКВАТОРИЙ НЕКОТОРЫХ ПРОТОКОВ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ**

Выпускная квалификационная работа  
Направление 05.04.06 «Экология и природопользование»  
Основная образовательная программа магистратуры  
ВМ.5531.2017 «Экологический менеджмент»

Научный руководитель:  
доктор технических наук,  
профессор Холодкевич С.В.

\_\_\_\_\_

« \_ » \_\_\_\_\_ 2019

Заведующий кафедрой:  
кандидат географических наук,  
доцент Фёдорова И.В.

\_\_\_\_\_

« \_ » \_\_\_\_\_ 2019

Санкт-Петербург

2019

## Оглавление

<b>Глоссарий</b> .....	3
Введение.....	4
Глава 1. Природные условия Астраханской области.....	8
1.1. Географическое положение, рельеф и ландшафты .....	8
1.2. Климат .....	11
1.3. Почвы .....	13
1.4. Гидрография и гидрология.....	15
1.5. Растительный и животный мир Астраханской области.....	17
<b>Глава 2. Биологические системы раннего предупреждения: виды и принципы работы</b> .....	20
2.1. Виды БИРП .....	20
2.2. БИРП с использованием водорослей в качестве тест-организмов .....	23
2.3. БИРП с использованием рыб в качестве тест-организмов .....	27
2.4. Основные биомаркеры исследуемых организмов в БИРП .....	30
2.5. Описание предмета исследования.....	33
<b>Глава 3. Результаты исследований протоков Астраханской области</b> .....	38
3.1. Рукав Городской.....	42
3.2. Проток Малый .....	47
3.3. Река Гандурино.....	52
<b>Заключение</b> .....	58
<b>Список использованной литературы</b> .....	59

## Глоссарий

*Anodonta* – Беззубка/Анодонта

БИРП – Биологические системы раннего предупреждения

БПК5 – Биохимическое потребление кислорода происходит вследствие окисления микроорганизмами органических веществ.

ПДК– Предельно допустимая концентрация

ХПК– Химическое потребления кислорода

ЧСС (HR) – Частота сердечных сокращений

КИср – Средняя величина кардиоинтервала

СКО – Среднеквадратическое отклонение

ВРС– Величина раскрытия створок

ЕВРД– Европейская водная рамочная директива

ЕQR–Ecological Quality Ratio

## Введение

Волга – самая протяженная река Европы (3530 км) она является объектом интенсивного водопользования и антропогенного загрязнения, так как судоходна почти на всем своем протяжении, протекает через многие субъекты РФ, многие крупные города расположены вдоль её берегов. Из-за чего повышается антропогенная нагрузка на водоём (рис.2). В 20 веке на Волге были построены 8 достаточно крупных, различных по масштабу производимой электроэнергии и действующих по настоящее время гидроэлектростанций. Такое интенсивное водопользование реки обуславливает высокое антропогенное воздействие, в связи с широким диапазоном поллютантов мигрирующих в водную подсистему, аккумулируясь, вызывая загрязнение.

Сильное антропогенное воздействие приводит к нарушению структурно-функциональной организации водоёма, снижению его рекреационного потенциала, рыбохозяйственного и водохозяйственных показателей. Как пример повышенной антропогенной нагрузки на рис.1 приведены данные за 2010–2017 годы по среднегодовому содержанию ряда загрязняющих веществ Волги в нижнем течении, в районе г. Астрахани. (О состоянии и об охране окружающей..., 2018). Вместе с тем Волга имеет большое разнообразие ихтиофауны (более 70 видов рыб, многие из которых имеют важное промышленное значение).

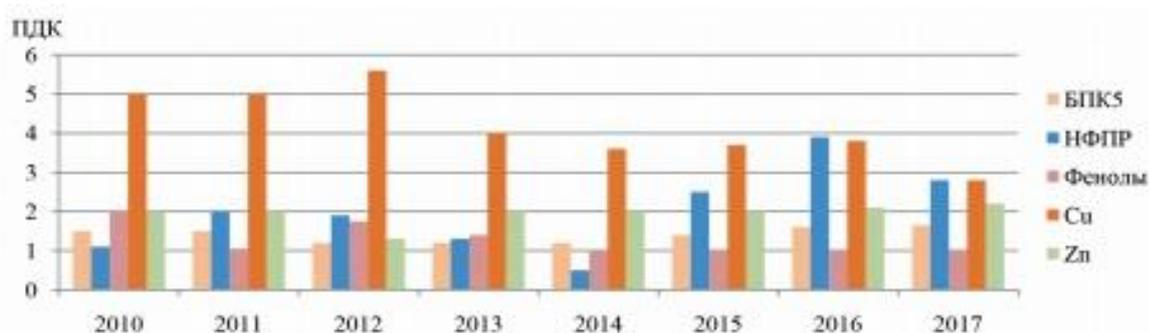


Рисунок 1.Динамика среднегодового содержания загрязняющих веществ в р.Волга (г.Астрахань).

В течение многолетнего периода исследования (2009–2017 гг.) вода участка р. Волга ниже и на территории г. Астрахань характеризуется как «грязная». Перечень наиболее характерных загрязняющих веществ на этом участке реки включает: органические вещества (по ХПК и БПК<sub>5</sub>), нитритный азот, нефтепродукты, соединения меди, железа, цинка, никеля и молибдена.



**Рисунок 2. Интенсивность рекреационного воздействия на территории АО**

В 2015–2017 гг. по сравнению с предыдущими годами возрос средний уровень загрязненности воды нефтепродуктами до 3–4 ПДК (рис. 1). Среднегодовые концентрации остальных характерных загрязняющих веществ в основном колеблются от 2 ПДК до значений незначительно выше 2 ПДК, соединений меди достигают 3 ПДК, максимальные концентрации большинства веществ не превышают 2–6 ПДК, за исключением соединений меди – 10 ПДК, никеля и цинка – 15 ПДК. Качество воды большинства притоков всех Волжских водохранилищ варьируется, как правило, от «загрязненных» до «грязных» (О состоянии и об охране окружающей..., 2018). Исследуемые протоки были

выбраны в связи с тем, что они имеют важное значение для региона, однако подвержены различным факторам, ухудшающими их состояние. Высокий уровень антропогенной нагрузки (рукав Городской) рисунок 2, воздействие судоремонтного завода (проток Малый), рефератная акватория (р. Гандурино).

**Объектами** исследований в настоящей работе служили 3 протока дельты Волги в Астраханской области.

**Предмет** исследования: функциональное состояние обитающих в протоках дельты Волги моллюсков рода *Anodonta* биоэлектронными методами.

**Цель** работы: провести сравнительную биоэлектронную диагностику экологического состояния исследуемых протоков дельты Волги с различной антропогенной нагрузкой, на основе оценок функционального состояния обитающих в них моллюсков.

Исходя из поставленной цели в работе решались следующие **задачи**:

- 1) Оценить степень загрязнения протоков дельты Волги на основе литературных данных.
- 2) Изучить принципы биомониторинга, проверить экспериментальным способом уже используемые методики биоиндикации при помощи биоэлектронных систем.
- 3) Выбрать оптимальную методику оценки функционального состояния моллюсков.
- 4) Провести натурные эксперименты по выбранной методике.
- 5) Провести сравнительные оценки экологического состояния исследованных протоков.

**Методы исследования:** В исследованиях использовался метод анализа и метод синтеза, методики экспериментального экологического мониторинга. А так же разработанная в НИЦЭБ РАН методика измерения и анализа в реальном

времени кардиоритма моллюсков. Тестирование состояния моллюсков с использованием метода функциональной нагрузки.

**Актуальность:** Волга имеет важное хозяйственное и рыбохозяйственное значение, является транспортным узлом, и испытывает значительное антропогенное воздействие. Важной задачей экологии в системе государства является внедрение эффективных методов контроля качества вод, являющихся информационным обеспечением принятия управленческих решений – экологического менеджмента.

## **Глава 1. Природные условия Астраханской области**

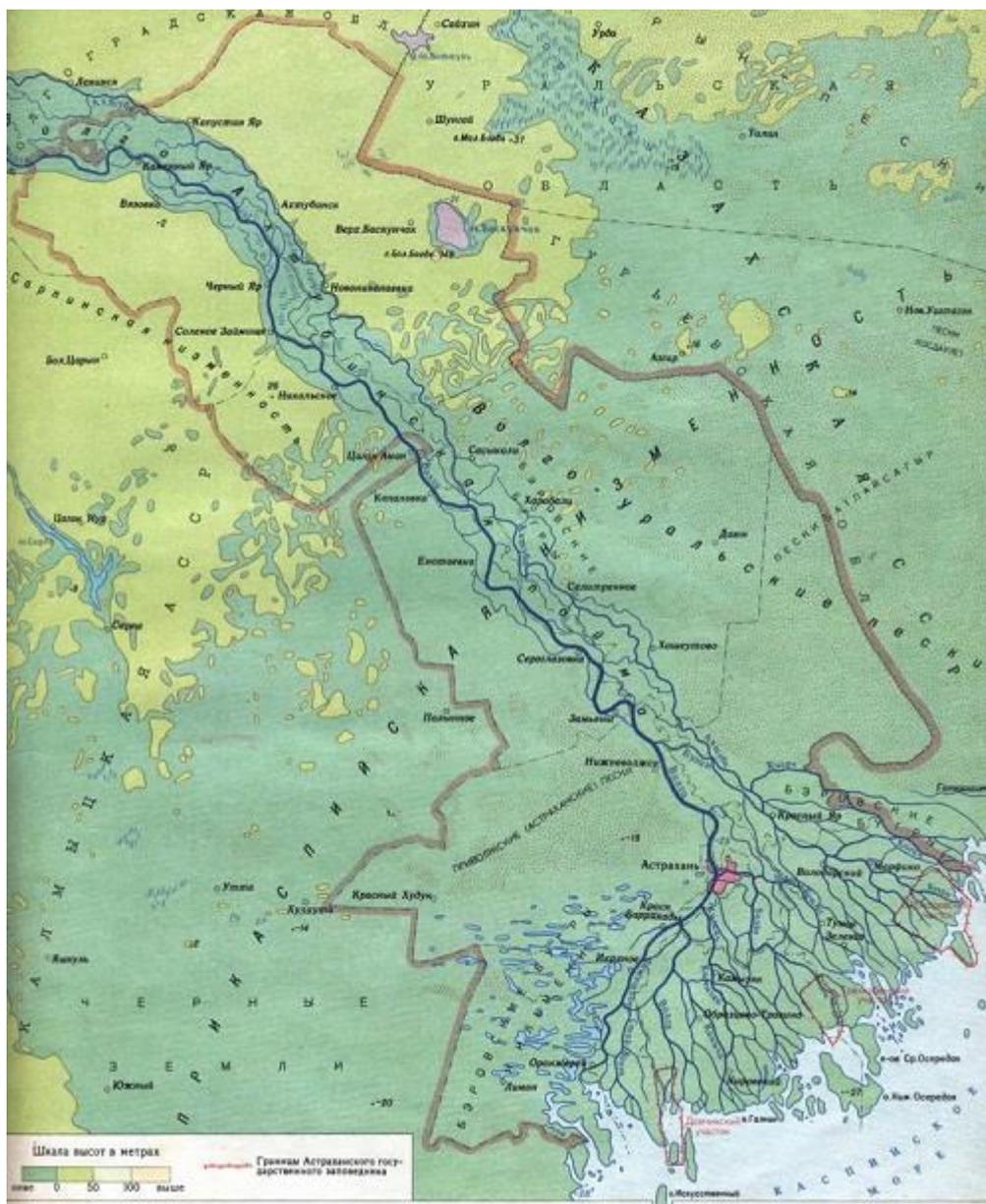
### **1.1. Географическое положение, рельеф и ландшафты**

Астраханская область расположена в умеренных широтах, в зоне пустынь и полупустынь, на юго–востоке Восточно–Европейской равнины в пределах Прикаспийской низменности. Она растянулась полосой по обеим сторонам Волго–Ахтубинской поймы на протяжении 400 км (рис. 3). Площадь АО 44,1 тыс. км<sup>2</sup>. Вода занимает 16,1% территории области (7,1 тыс. км<sup>2</sup>), а во время половодья вода заливают до 40% всей территории.

Равнинная поверхность области сформирована под влиянием эндогенных процессов и осложнена формами рельефа, образовавшихся под влиянием природных факторов: ветер, течение вод и др.

На территории Астраханской области выделяют два типа равнин: аккумулятивная и денудационная. Значительная часть территории занята аккумулятивными равнинами. Денудационная равнина характерна в большей степени для северо–восточной части области, в районе озера Баскунчак. В состав аккумулятивной равнины входит морская равнина. Для морской равнины характерно наличие бугров. Эти бугры впервые были описаны академиком К. М. Бэрром в 1856 году, в связи с чем, стали известны как бэрровские бугры. Их протяженность составляет 0,8–5 км, а ширина 100–500 м. (Бармин, Бесчетнова, Вознесенская. 2007)

Пойменно–дельтовая равнина, входящая в состав аккумулятивной равнины, расположена в пределах Волго–Ахтубинской поймы и дельты Волги. Она находится между Волгой и Ахтубой и во время паводков заливается водами. Она тянется шириной 22–30 км, а местами 40–45 км. Правый берег Волги крутой, а левый пологий. По мере передвижения на юг пойма переходит в дельту. Рельеф пойменно–дельтовой равнины часто меняется: одни речушки отмирают в результате отмеления, а другие появляются. Возникают новые отмели, осередки и острова, меняются очертания островов и берегов.



**Рисунок 3. Физическая карта Астраханской области<sup>1</sup>**

В состав аккумулятивной равнины входят и эоловые равнины, характеризующими участками активного развеивания барханного типа, лишенные растительности. Барханы имеют серповидную форму и ассиметричное строение. Высота барханов может достигать 10–15 м.

Денудационный тип равнины располагается в северо–восточной части области, в районе озера Баскунчак. Наиболее высокая точка этой равнины – гора Большое Богдо (149,6 м).

<sup>1</sup> Пятин В.А. Атлас Астраханской области. Роскартография, М.2017, 48 с.

Близко к поверхности на этой территории лежит гипс, который подвергается выщелачиванию. Выходит гипс на участке к северо-западу от озера Баскунчак, в результате чего образуются пещеры и карстовые воронки. Глубина воронок составляет 15–20 м, а диаметр от 1– 40 м. (Вознесенская, Бесчетнова. 2009).

В пределах Астраханской области выделяются восемь физико-географических районов (ландшафтов). Интразональным (внутризональным) зонам относятся дельта р. Волги и Волго-Ахтубинская пойма. В пустынной зоне сформировались Волжско-Приергенинский, Волжско-Уральский, Западный и восточный ильменно-бугровой ландшафты. Полупустынная зона представлена Баскунчакским и Волго-Сарпинским ландшафтами. Для каждого ландшафта характерно подразделение на подрайоны (местности) с определенным количеством природных комплексов более низкого ранга (урочищ). (Цымбал. 2014).

## 1.2.Климат

Астраханская область – это район пустынно–степного типа, для которого характерны небольшое количество атмосферных осадков, сухость воздуха, высокое испарение и господство сухих восточных ветров. Климат умеренный, резко–континентальный. Для области характерны высокая температура летом и низкая зимой, с большими годовыми и летними суточными амплитудами температуры воздуха. Индекс континентальности на данной территории равен 88–91%, что говорит о преобладающем влиянии суши на температуру воздуха. На территории европейской части России, Астраханская область – это самый засушливый район. Соотношение осадков к испаряемости 3,01–5,49 .

Самый теплый месяц–июль, со средней температурой 29,1°. Самым холодным месяцем является февраль, средняя температура которого составляет –18,6°. Среднегодовая сумма осадков составляет 180–200 мм на юге и 280–290 мм на севере (табл. 1). Осадки зимой выпадают в виде снега или дождя. Около 70–75% осадков выпадают в теплый сезон года (Кочуров, Воронин, Гольчикова. 2004).

Для АО свойственны восточные ветра, которые определяют сухость воздуха и его запыленность (Рис.4).

Таблица 1–Среднее количество осадков (мм.) в АО с отклонениями от нормы

Период	Пункт									
	Астрахань		В. Баскунчак		Харабали		Лиман		Зеленга	
	сред.	откл.	сред.	откл.	сред.	откл.	сред.	откл.	сред.	откл.
1922-1930	199	-1	–	–	–	–	–	–	–	–
1931-1940	180	-20	–	–	–	–	–	–	–	–
1941-1950	164	-36	202	-57	191	-42	183	-24	143	-21
1951-1960	196	-4	255	-4	210	-23	150	-57	173	9
1961-1970	197	-3	260	1	238	5	191	-16	177	13
1971-1980	187	-13	257	-2	241	8	226	19	158	-6
1981-1990	235	35	294	35	241	8	213	6	168	4
1990-2004	254,5	54,5	304,8	104,8	267	67	255,4	55,4	157,5	-43,5
В среднем	201	-	262	-	231	-	204	-	163	-

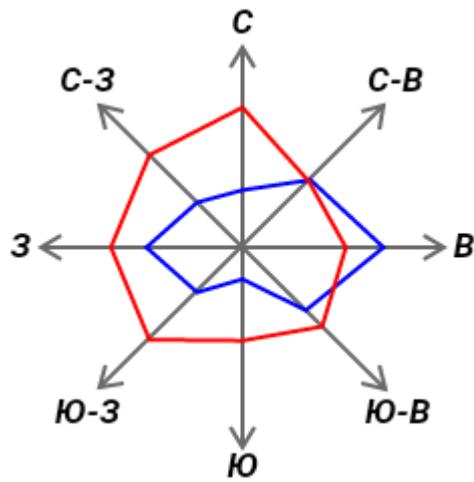


Рисунок 4. Роза ветров. Астрахань. Январь. Июль<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Роза ветров [Электронный ресурс]- URL: [http://stroydocs.com/info/e\\_veter](http://stroydocs.com/info/e_veter) (Дата обращения 10.03.2019)

### 1.3. Почвы

Астраханская область относится к Прикаспийской провинции светло-каштановых и бурых полупустынных почв, песчаных массивов, солончаковых комплексов и пятен солончаков. Главными почвообразующими факторами являются: подстилающая поверхность, рельеф, климатические условия и антропогенные факторы.

В северной части Астраханской области преобладают зональные светло-каштановые почвы, в южной – бурые полупустынные, в Волго–Ахтубинской пойме, подстепных ильменях и дельте – пойменные. Интразональные (солончаки и солонцы) встречаются повсеместно среди представленных выше типов почв.

Светло-каштановые почвы распространены в северной части Астраханской области, на территории лево- и правобережья Волго–Ахтубинской долины. Они занимают повышенные и дренированные участки и располагаются прерывистыми полосами и пятнами. Мощность гумусовых горизонтов составляет 30–40 см.

Бурые почвы отличаются засушливым климатом и небольшой продуктивностью растительности. Они распространены неравномерно, располагаются пятнами.

На пойме формируются аллювиальные дерновые почвы. Гумусовый горизонт этих почв составляет 5–7 см. На глубине 5–10 см. и ниже образуется рыхлый светло-желтый песок иногда с суглинистыми прослойками различной мощности. Для этих почв свойственно малое содержание питательных веществ и легкий механический состав. Также на территории пойм распространен подтип аллювиальных луговых насыщенных темноцветных почв (Бармин, Бесчетнова, Вознесенская. 2007).

Из-за постоянного затопления и близости грунтовых вод, на территории дельты были сформированы болотные почвы, которым свойственны сильная увлажненность и неясно выраженная структура.

На Западной ильменно-бугровой равнине имеется большое разнообразие почв. На упомянутой выше территории между бэровскими буграми распространены ильменно-болотные и ильменно-луговые почвы. Они формируются при частом затоплении ильменей в половодье. Из-за недостаточного поступления воды в ильмени, днища обсыхают и образуются солончаки. (Панкова, Конюшкова, Мухортов. 2018).

#### 1.4. Гидрография и гидрология

Поверхностные воды Астраханской области представлены крупнейшим озером на нашей планете – Каспийским морем, рекой Волгой, самой длинной рекой в Европе, ее рукавами, многочисленными протоками, ериками, солеными и пресными озерами (около 1000 единиц). От Волги у Волгограда отделяется река Ахтуба, образуя Волго–Ахтубинскую пойму. Протяженность реки Волги составляет 3530 км., а в пределах Астраханской области составляет 400 км. В дельте Волги выделяют пять основных направлений стока, соответствующих основным водотокам дельты: Бахтемир, Болда, Бузан, Волга, Камызяк. Они формируют системы более мелких водотоков (Табл.2). При впадении в Каспийское море насчитывают около 800 устьев.

Питание Волги осуществляется за счет таяния снегов, грунтовое и дождевое питание незначительно. Для Волги характерно весенне-летнее половодье. Создание плотины в районе города Волжский (Волгоградской области), а также ряда каскада водохранилищ привело к полному регулированию стока Волги. (Иванов. 2000).

**Таблица. 2–Количество и протяженность водотоков на территории АО<sup>3</sup>**

Градация водотоков	Длина, км	Число единиц	Процент от общего числа	Суммарная длина, км	Процент от общей протяженности
мельчайшие	<10	435	46,53	2845	21,35
самые малые	10-25	410	43,85	6150	46,15
малые	26-100	85	9,1	2975	22,32
средние	101-500	4	0,42	837	6,28
большие	>500	1	0,1	520	3,9
Всего	–	935	100	13327	100

<sup>3</sup> Кочуров Б.И., Воронин Н.И., Гольчикова Н.Н. и др. Геоэкологическая характеристика Астраханской области / Под ред. Н.И Воронина и Н. Н. Гольчиковой. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2004. – 91 с

Весенне– летнее половодье начинается во второй половине апреля, пик на конец мая – начало июня. Уровень воды повышается на 2–4 м, и пойменные воды заливают большие площади. Вода в них прогревается и полои служат нерестилищами многих видов рыб (воблы, лещ, сазана и др.). Также в зимнее время (конец января и начало февраля) для области характерно зимнее половодье в результате осуществления сброса воды Волжской ГЭС.

## 1.5. Растительный и животный мир Астраханской области

Растительный покров Астраханской области достаточно беден. На данной территории насчитывают около 700 видов высших растений. Деревьев и кустарников мало, большинство из них – травянистые растения. (Афанасьев, Лактионов. 2010).

В пойме и дельте Волги формируются луга различного уровня: от остепненных на возвышенных участках до болотных в поймах. На возвышенных участках дельты злаково–осоково–разнотравная, свинойно–пырейная и солодковая группировка растительности Солодка голая (*Glycyrrhiza glabra*), Свинойно пыльчатый (*Cynodon dactylon*), Подмаренник настоящий (*Galium verum*) и др. (Лактионов, Афанасьев. 2007).

Древесно–кустарниковая растительность в пойме представлена ивовыми, ильмовыми, осокоревыми, тополевыми и реже дубовыми лесами и искусственными посадками. Чаще всего леса произрастают полосой у береговых валов и в прибрежных зонах.

Животный мир относительно небогат и насчитывает свыше 9000 видов. Здесь обитают наземные и водные организмы, обитатели пустынных, полупустынных и степных ландшафтов. Этому способствовали физико–географическое положение области и климатические условия. Простейших насчитывают около 1200 видов.

Бассейн Каспийского моря служит местом для обитания 5 видов кишечнополостных. В водоемах водятся рыбы, пиявки и улитковые. В почвах обитают различные виды червей, большинство из них ведут паразитический образ жизни (ленточные, круглые черви, сосальщики и др.). В дельте Волги насчитывается около 80 видов моллюсков. В класс брюхоногие моллюски входят прудовники, речные живородки, затворки, катушки, лужанки, физы. В общей сложности по всей территории обитают 116 видов моллюсков. Здесь обитают около 4500 видов членистоногих. По всей территории области насчитано около 700 видов раков и рачков, насекомых около 1500. В частности, этому способствуют особенности климата и рельефа.

Основными представителями являются отряд жуков, бабочек, перепончатокрылых, равнокрылых, двукрылых и клопов. На поверхностном слое почвы обитают паукообразные (900 видов).

В Астраханской области обитают большое количество рыб. Их насчитывают около 100 видов и подвидов. Из земноводных в Астраханской области обитают всего 4 вида из отряда бесхвостых амфибии, которые представлены в основном озерной лягушкой (*Rana ridibunda*), чесночницей обыкновенной (*Pelobates fuscus*) и жабой зеленой (*Bufo viridis*).

На территории области обитают 18 видов пресмыкающихся. Отряд змей считается наиболее многочисленной. Он представлен 10 видами. Из отряда ящериц выделяют 7 видов и отряд черепах представлен лишь болотной черепахой (*Emys orbicularis*).

Птиц в Астраханской области насчитывают около 260 видов. Встречаются оседлые и перелетные птицы, поэтому количество видов может изменяться и зависит от сезонов года. (Чуйков, Калиев. 2011).

На территории области имеются около 60 видов млекопитающих, которые обитают в воде и на суше (рис.5). Астраханская область благоприятна для разведения домашнего скота, в частности, верблюдов. На территории разводят двугорбых верблюдов калмыцкой породы.

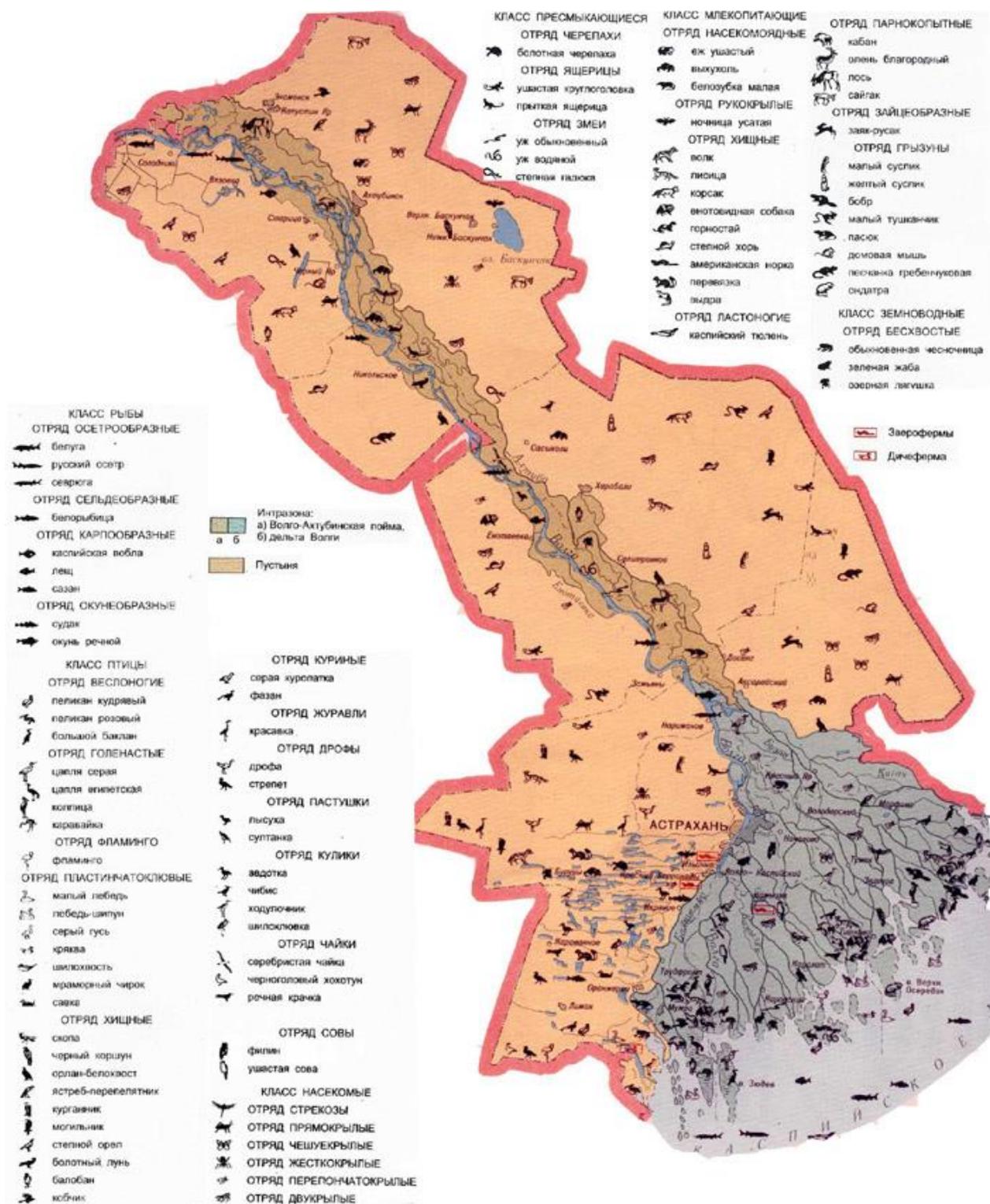


Рисунок 5. Животный мир Астраханской области<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Там же 3

## **Глава 2. Биологические системы раннего предупреждения: виды и принцип работы**

### **2.1. Виды БИРП**

Проблема возрастающего антропогенного воздействия на водные экосистемы является глобальной, в связи с этим возникла необходимость объединения усилий всех государств на определение четкой генеральной политики в области стратегии оценки состояния морей и океанов и стратегии морских исследований. В ряде документов отмечается необходимость развития новых методологических приемов и инструментальных подходов для выработки критериев оценки состояния здоровья экосистем, основанных на применении биологических методов.(Directive 2008/56/EC).

Большинство экотоксикологических тестов или биотестов осуществляются партиями и занимают от часов до дней для проверки на острую токсичность и многих дней для проверки на хроническую токсичность.

Они покрывают большинство групп водных организмов таких, как рыбы, дафнии и водоросли (OECD 1998, 2004 и 2006, соответственно).

Использование физико-химических методов контроля качества вод не всегда отображает реальный показатель качества вод, а так же воздействия загрязнителей на обитателей в естественных условиях проживания. Исходя из концепции: «Здоровые животные – здоровая экосистема» (Depledge, Galloway. 2005), биомаркерные исследования, проводимые на отдельных организмах (случайным образом изъятых из природной популяции), позволяют сделать выводы о состоянии популяции и судить о экологическом состоянии экосистемы, в которой обитают изучаемые животные. Сейчас существует множество методов индикации токсичных веществ в акваториях, однако, без их совместного использования с биоиндикацией (методика определения степени загрязнения биосистемы с помощью тест организмов), результаты исследований недостаточны, и не корректны для создания выводов и принятия

решении, в связи с неучтёнными параметрами интегральности оценки загрязнения вод. БИРП (biological early warning system) являются автоматическими, непрерывными мониторами, которые задействуют живые животные и биологические материалы в качестве первичных сенсорных элементов.

Виды-биоиндикаторы – это индикаторы состояния окружающей среды, которые указывают на изменение условий обитания в водоёме. Правильный выбор биоиндикатора является достаточно сложной задачей, решение которой осуществляется через ряд последовательных этапов.

Наиболее важные требования к тест–организму:

- 1) Высокий уровень экологического разнообразия видов (обильный выбор видов в исследуемой экосистеме);
- 2) Связь с идентификационными условиями;
- 3) Высокий уровень точности и оперативности реакции на изменение условий окружающей среды;
- 4) Высокая численность вида и его широкое распространение;
- 5) Легкость в определении таксономической принадлежности;
- 6) Функциональная важность в экосистеме. (Семенченко, Разлуцкий. 2009).

Плюсы БИРП заключаются в том, что информация о реакции тест–организмов отражает качество среды обитания, на базе этой информации в совокупности с физико–химическими исследованиями можно делать корректные выводы о состоянии здоровья биосистемы. Так же БИРП разработаны с целью быстрого предупреждения и возможности реагирования при увеличении уровня загрязнения поскольку временной промежуток между отбором проб и токсикологическим анализом может быть минимален. А так же плюсом является непрерывность анализа. Сам тест–организм способен быстро реагировать на изменение параметров определяющих качество биосистемы (воды).

Для исследования тест-организма изучаются функциональные физиологические параметры жизнедеятельности: скорость дыхания, частоту движения жабр, сердечный ритм (ЧСС). Параметры тестирования автоматически и непрерывно записываются одним или комплексом из методов: электрическим, электромагнитным, оптическим, электро- или оптико-химическим. Впоследствии, данные обрабатываются. В большинстве систем текущая информация сравнивается с ранее полученной информацией, в случае значительного изменения параметров вырабатывается оповещение системы и сигнал тревоги.

Критерий отбора тест-организмов:

- 1) доступность (возможность нахождения тест-организма);
- 2) небольшие изменения в течение тестового периода;
- 3) низкая чувствительность к болезням;

Однако необходимо создать близкие к естественным условия (кормление, содержание кислорода в воде) и наличие удобного параметра реакции, который можно регистрировать и обрабатывать. Также необходимо учитывать, что данные методы исследования могут быть использованы только когда абиотические условия находятся в пределах не вызывающих смерть тестируемых образцов (должны находится в пределах толерантности для исследуемых видов).

В настоящее время в качестве тест-организмов для БИРП используются: бактерии, водоросли, беспозвоночные, ракообразные, двустворчатые моллюски, рыбы (Gonzalez, Quevauviller, Greenwood, 2009).

В зависимости от восприимчивости к потенциальному загрязнителю используется соответствующий тест-организм.

## 2.2.БИРП с использованием водорослей в качестве тест–организмов

Водоросли являются важным объектом для акваторий, принимающих участие в самоочищении водоемов, формировании качества воды, улучшении санитарно–гигиенического состояния водоемов. Интегральным показателем качества воды является структура водорослей. Использование водорослей в планктоне водоемов принято при оценке трофического статуса для водохранилищ, дельт рек и большинства озер мира. Таксономический состав водорослей дельты р. Волги представлен 252 видами и разновидностями (Табл.3)

Таблица 3–Таксономический состав водорослей дельты р.Волга<sup>5</sup>

Водоросли	Число					
	Классов	Порядков	Семейств	Родов	Видов	%
<i>Cyanophyta</i>	2	3	7	10	27	10.7
<i>Euglenophyta</i>	1	1	1	3	5	2
<i>Dinophyta</i>	1	3	3	4	8	3.2
<i>Chrysophyta</i>	1	1	1	1	4	1.5
<i>Bacillariophyta</i>	2	6	20	34	155	61.5
<i>Chlorophyta</i>	2	7	4	26	51	20.4
<i>Charophyta</i>	1	1	2	2	2	0.7
Итого	10	22	38	80	252	100

Для оценки состояния водоема можно использовать перифитон (экотопное сообщество, включающее как планктонные, бентосные организмы, так и типичные обрастатели). Отличительными характеристиками перифитона является то, что он сходен с планктоном в лабильности видового состава и чувствителен к изменениям абиотических факторов являясь хорошим биондикатором, так же плюсом для исследования является то, что он

<sup>5</sup> Курочкина Т. Ф. Экологические особенности речных сообществ Нижней Волги и их биоиндикация : автореферат дис. ... доктора биологических наук ./ Астрахан. гос. ун-т. - Астрахань, 2004. - 45 с.

фиксирован в пространстве, и отражает экологическую обстановку в том месте в котором был отобран.

В перифитоне исследуемых каналов дельты р. Волги всего был обнаружен 131 таксон водорослей: из них—107 видов, разновидностей и форм диатомовых, зеленых —14, синезеленых—9, эвгленовых —1 вид.

**Таблица 4—Доминирующие виды перифитона Нижней Волги (%)**

Станция отбора проб	Май	Июнь	Октябрь
Гандуринский канал	<i>Aulacosira minutissima</i> -56  <i>Cocconeis placentula</i> -18  <i>Rhoicosphenia curvata</i> -3  <i>Cymbella leptoceros</i> - 3	<i>Nitzschia palea</i> - 24  <i>Gomphonema parvulum</i> -19  <i>Cocconeis placentula</i> -14  <i>Gomphonema pseudoaugur</i> - 7	<i>Cocconeis placentula</i> -50  <i>Navicula. Menuscula</i> -10  <i>Gomphonema parvulum</i> -6  <i>Achnanthes lanceolata</i> -6
Кировский канал	<i>Cocconeis placentula</i> -17  <i>Gomphonema parvulum</i> -15  <i>Fragilaria capucina</i> -14	<i>Cocconeis placentula</i> -30  <i>Gomphonema parvulum</i> -26  <i>Achnanthes lanceolata</i> -16  <i>Rhoicosphenia curvata</i> -4	<i>Cocconeis placentula</i> -60  <i>Navicula recens</i> -18  <i>Navicula. menuscula</i> -9  <i>Achnanthes lanceolata</i> -6
Белинский канал	<i>Cocconeis placentula</i> -28  <i>Gomphonema parvulum</i> -11  <i>G. minutum</i> -8	<i>Nitzschia palea</i> - 60  <i>Aulacosira minutissima</i> 6  <i>Gomphonema pseudoaugur</i> -8	<i>Cocconeis placentula</i> -19  <i>Nitzschia amphibian</i> -12  <i>Navicula meniscus</i> -11  <i>Achnanthes lanceolata</i> -5

По данным таблицы выявлено что доминирующими комплексами видов в мае являлись *Cocconeis*(16–35%); на Кировском и Белинском каналах, помимо этого, *Gomphonema parvulum* (11–15%), а на Гандуринском и Кировском – *Achnanthes minutissima* (10–56%). В июне к этим видам присоединяется *Nitzschia palea* (20–60%). В начале лета и в сентябре в эпифитоне начинает встречаться в большом количестве (16–19%) *Achnanthes lanceolata*. В начале осени вид достигает 5–6% численности. В сентябре возросла доля *Cocconeis placentula* до 60%, лишь в Белинском канале он не превышал 19%.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить существенные различия в таксономическом разнообразии и составе доминирующих комплексов перифитона исследуемых водоемов дельты р. Волги.

Зона зарослей активно участвует в формировании качества воды, и её обрастатели реагируют на любое воздействие изменением видового разнообразия, численности и биомассы. Все это позволяет использовать сообщества перифитона как хорошего индикатора качества вод. (Курочкина. 2004).

Способ с использованием флуорометрии хлорофилла фитопланктона является так же эффективным методом автоматизированной биоиндикации акватории.

Особенностью фитопланктона – это способность к фотосинтезу, в связи с этим он является качественным биоиндикатором для построения эффективной технологии оценки экологического состояния водных ресурсов. Наличие у фитопланктона флуоресценции, которая связана с фотосинтетическим аппаратом (ФСА), позволяет рекомендовать данный показатель как биоиндикационный и регистрировать его с помощью хорошо разработанных методов фотометрии, в частности, флуорометрии.

Данный метод обладает следующими преимуществами над другими методами биомониторинга:

1. Быстродействие (первичных измерений).
2. Высокая чувствительность.
3. Возможность автоматизации процесса без необходимости дополнительной обработки биоматериала.
4. Метод основан на молекулярном уровне реагирования на факторы стресса. При этом, регистрация на надорганизменном уровне дает возможность интегрировать малые воздействия по времени.
5. Возможность дифференциации разных групп фитопланктона и, следовательно, отслеживания динамики биоразнообразия.
6. Возможность оценки концентрации хлорофилла фитопланктона и состояния ФСА. (Мелехова, Егорова, Евсеева. 2007).

Таким образом, метод флуорометрии дает уникальное сочетание возможностей исследовать реакцию живой системы на внешние воздействия, начиная с молекулярного уровня до клеточного и надорганизменного по комплексу параметров.

### 2.3.БИРП с использованием рыб в качестве тест-организмов

Рыба – наивысший уровень трофической структуры водной системы. В организме рыбы на протяжении всей жизни копятся загрязняющие вещества, так что рыба является одним из важнейших индикаторов загрязнения водоемов. Уровень накопления токсикантов в организме зависит от: вида особи, её возраста, физиологии, типа питания, а так же условий среды.

Существуют две основные группы аналитических методов для определения количества загрязняющих веществ в организме рыбы (в частности тяжелых металлов): 1) электрохимические методы 2) спектрометрические методы.

Примером использования БИРП является использование американской компанией Intelligent Automation Corp синежаберного солнечника (*Lepomis macrochirus*, рис.6.) название системы IAC 1090 она представляет собой аквариумы оснащенные кабелями и трубками и подключенные к компьютеру. Восемь молодых синежаберных солнечников плавают в ряду одиночных отсеков, погруженных в водопроводную воду и отделенных панелью из матового стекла. Электроды, прикрепленные к каждой камере, передают данные о перемещении рыб и характере их дыхания компьютеру. Когда рыба использует мышцы, чтобы дышать, через воду передаются электрические импульсы низкого уровня, которые фиксируются с помощью электродов.

Если рыба проявляет признаки беспокойства в виде кашля или повышенной активности в ответ на наличие чего-то в воде, система автоматически подает сигнал, отбирает пробы, и оповещает о изменениях в качестве воды.



**Рисунок 6. Синежаберный солнечник в качестве тест-организма IАС 1090<sup>6</sup>**

В органах осетровых рыб Каспийского моря и Волги были обнаружены превышенные уровни содержания тяжелых металлов (табл.3). Которые свидетельствует о загрязнении экосистемы р. Волги и Каспийского моря. И подтверждают данные (рис.1).

В Германии в бассейнах рек за последние десятилетия использовались различные системы БИРП, они себя проявили с лучшей стороны в связи с тем что способны оперативно отреагировать на изменения в качестве воды в случае техногенной катастрофы они способны в режиме реального времени определить изменения показателей качества воды.

---

<sup>6</sup> Baldwin, I.G., and K.J.M. Kramer. Biological early warning systems (BEWS). In: Biomonitoring of coastal waters and estuaries. CRC Press, 1994, pp. 1–28.

**Таблица 3—Содержание тяжелых металлов в органах осетровых Каспийского моря и р.Волга.**

Органы	Менее токсичные тяжелые металлы						Наиболее токсичные тяжелые металлы	
	Fe	Cu	Zn	Mn	Co	Ni	Pb	Cd
Кишечник	135,451	9,626	65,710	2,446	0,151	1,15	1,534	0,256
Печень	809,337	37,660	120,692	2,305	2,382	3,16	2,197	0,693
Почка	306,186	18,734	325,536	2,819	1,012	6,99	3,165	0,647
Жабры	358,751	13,931	98,978	6,017	0,918	3,28	6,109	0,538
Селезенка	1612,84	66,952	112,836	2,162	0,325	3,82	3,754	0,687
Мышцы	82,057	4,733	37,546	1,973	0,081	2,37	1,420	0,277
Гонады	72,812	6,684	48,378	2,858	0,206	2,16	1,632	0,269

На основе данных таблицы 3 оценено накопление металлов в органах и тканях, обнаружены морфофункциональные изменения свидетельствующие о наличии симптомов хронического эндотоксикоза.

Наибольшие концентрации тяжелых и переходных металлов в воде Северного Каспия и Волги приходится на медь, цинк и барий. Показатели этих элементов в воде достигают 20 мкг/л для меди и цинка (при ПДК – 10 мкг/л) и 50 мкг/л для бария. Остальные элементы присутствуют в меньших количествах: мышьяк и хром – менее 6. Свинец, ванадий, никель – менее 10; кадмий – менее 1,5; ртуть – менее 0,1 мкг/л. (Иванов. 2000).

## 2.4. Основные биомаркеры исследуемых организмов в БИРП

В качестве физиологических биомаркеров в биоэлектронных системах используются характеристики кардиоактивности животных (Kholodkevich et al., 2008).

Частота сердечных сокращений (ЧСС) или её обратная величина – средняя величина кардиоинтервала (КИср), стресс–индекс ( $SI = \frac{1}{2} \times \text{КИср} \times \text{СКО}^2$ , где СКО – среднеквадратическое отклонение), коэффициент вариации (CV) индивидуальных ЧСС тест–организмов исследуемой выборки.

Это обусловлено тем, что сердечно–сосудистая система: является одной из основных функциональных систем организма; отличается быстротой отклика; отражает работу других систем организма; характеризуется наличием ритмичности.

В качестве поведенческих биомаркеров в биоэлектронных системах используются характеристики движения створок раковин моллюсков:

- величина раскрытия створок (ВРС); число аддукций (кратковременных полных или частичных закрываний створок) в единицу времени;
- коэффициент вариации индивидуальных ВРС тест–организмов исследуемой выборки, отражающий характер движения створок;
- соотношение временных интервалов нахождения створок в раскрытом и закрытом состоянии.

Основанием для этого является присущая моллюскам реакция изоляции, т.е. закрывания створок раковины, на время, в течение которого качество среды обитания не отвечает условиям их нормальной жизнедеятельности, например, в результате нарушения кислородного режима, изменения солёности воды, наличия в воде ксенобиотиков (тяжёлых металлов, пестицидов, поверхностно–активных веществ, нефти и т.п.). (Лукьянова. 2001).

Показатель быстроты восстановления ритма сердца свидетельствует о функциональных резервах организма и, в случае медленного восстановления ритма или отсутствия такого восстановления, является показателем ранних признаков ухудшения здоровья.

Это обусловлено тем, что моллюски обладают высокой чувствительностью и относительно быстро отвечают на загрязнение, защищаясь створками своих раковин от внешних воздействий, поэтому изменение двигательной активности этих животных используется для оценки состояния среды их обитания.

Так же моллюски являются хорошими тест-организмами в связи с тем, что они быстро реагируют на изменения условий среды обитания. (табл.4)

**Таблица 4. –Степень поглощения тяжелых металлов различными гидробионтами**

Вещество	Планктон	Ракообразные	Моллюски	Рыбы
Медь	+	+	+	+
Ртуть	+	+	+	+
Свинец	-	+	+	+
Цинк	+	+	+	+
Кадмий	-	+	+	+

В соответствии с рекомендациями Европейской водной рамочной директивы (ЕВРД) экологическое состояние всех водных объектов может оцениваться как отклонение от эталонных условий, которое измеряется с помощью показателя экологического качества (Ecological Quality Ratio – EQR). Величина EQR определяется как отношение наблюдаемого значения к эталонному (фоновому) для разных групп биомаркеров загрязнения. Значения EQR, близкие к единице, означают высокую степень сходства между наблюдаемыми и эталонными (фоновыми) условиями и, как следствие,

хорошее экологическое состояние. Согласно ЕВРД, весь диапазон экологического состояния водного объекта можно разделить на пять категорий качества: высокое, хорошее, посредственное, плохое и очень плохое.

В Табл.5 (Холодкевич и др. Оценка качества пресноводных ...2019) представлен вариант ранжирования экологического статуса акваторий на основе данных тестирования обитающих в них моллюсков методом функциональной нагрузки.

**Таблица 5—Ранжирование экологического статуса водоёмов<sup>7</sup>**

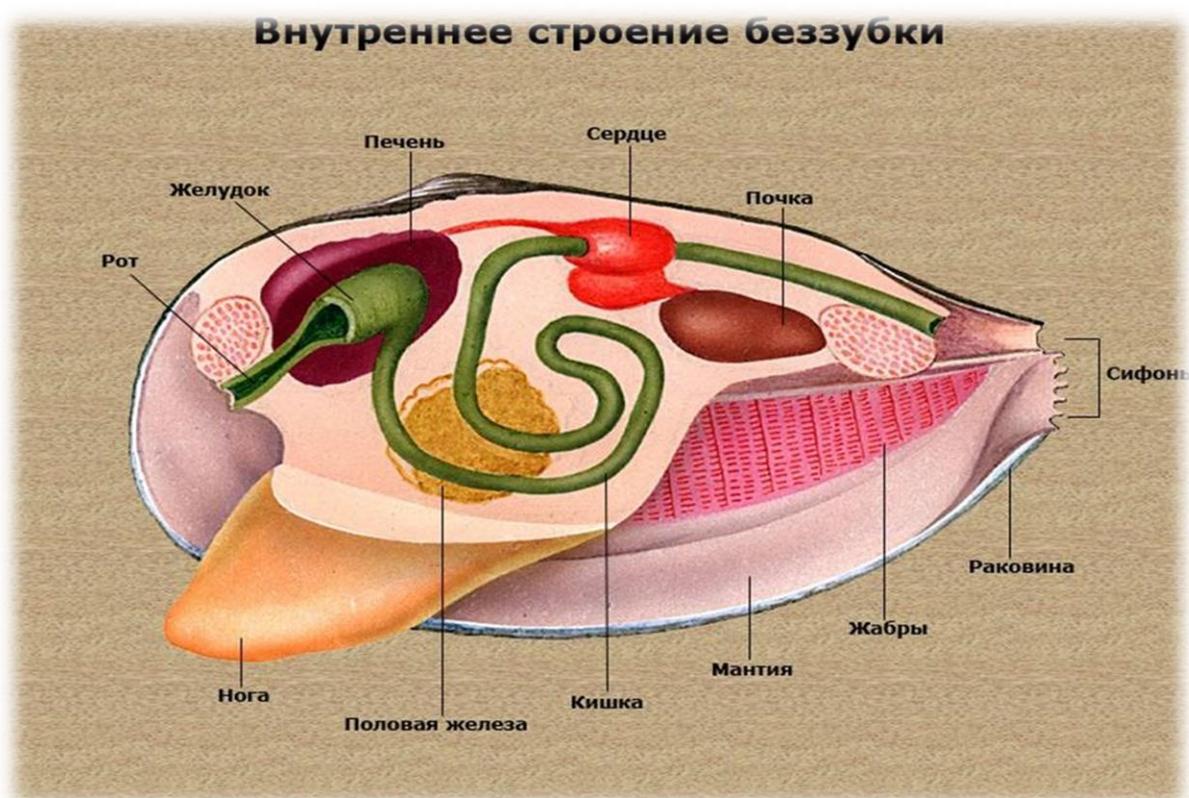
Экологический статус	T <sub>восст</sub> (мин)
Высокий	Меньше 50
Хороший	50-70
Посредственный	70-100
Плохой	100-200
Очень плохой	Больше 200

<sup>7</sup> Холодкевич С.В., Шаров А.Н., Чуйко Г.М., Кузнецова Т.В., Гапеева М.В., Ложкина Р.А. Оценка качества пресноводных экосистем по функциональному состоянию двустворчатых моллюсков. Водные ресурсы, 2019, том 46, № 2

## 2.5. Описание предмета исследования

Беззубка обыкновенная относится к подсемейству Беззубок (*Anodontinae*) семейства Унионид (*Unionidae*) класса двустворчатых моллюсков (*Bivalvia*). Беззубки (рис.7) обладают сравнительно тонкими раковинами, и лишены замковых зубов. Длина взрослого моллюска колеблется в пределах 8–12 см, высота 42–63 мм, выпуклость 26–46 мм. Движения беззубок однообразны – они способны закапываться в песок с помощью ритмичных сокращений своей ноги, а также ползать по дну водоёма. Во время передвижения створки моллюсков приоткрыты, брюшной стороной вниз, в щель между створками моллюск выставляет ногу, с помощью которой отталкиваясь он медленно ползёт по дну водоёма. Скорость движения составляет порядка – 20–30 см в час. Беззубки дышат жабрами, представляющие собой парные лопасти по обеим сторонам от ноги. В спокойном состоянии, когда беззубка находится на дне, брюшной стороной (полуоткрытыми створками) вниз, вода засасывается в мантийную полость через вводной (нижний) сифон, омывает жабры и с силой выбрасывается через выводной (верхний) сифон. Беззубки являются фильтраторами, их питание осуществляется одновременно и параллельно с дыханием – ток воды, увлекаемый в жаберную полость, несет с собою мелкие взвешенные в воде питательные частицы – зоо- и фитопланктон, а также детрит. Моллюск заглатывает их, загоняя в свое ротовое отверстие при помощи мягких выростов, которые носят название ротовых лопастей и сидят в количестве двух пар на переднем конце. Беззубки раздельнополы, в конце лета и осенью самцы через выводной сифон выбрасывают сперматозоиды в воду, затем они через входной сифон самки попадают в её тело и оплодотворяют имеющиеся там яйцеклетки. Эмбрионы развиваются в наружных полужабрах самки, обычно с осени в течение всей зимы. Весной эмбрионы, достигнув стадии личинки (глохидия), покидают тело самки через выводной сифон (одновременно может выбрасываться до 600 тыс. глохидиев). (Алимов.1981). Глохидии обычно довольно крупные, имеют двустворчатую раковину, каждая створка которой вооружена крючком. Совершая движения створками, личинка

всплывает со дна, и при помощи клейкой биссусной нити и зубчиков на створках прикрепляется к проплывающей рыбе, вгрызаясь в её кожу и некоторое время паразитирует под кожей, где образуется особая опухоль. Развившийся молодой моллюск покидает тело хозяина, опускается на дно и начинает самостоятельное существование. Такой механизм способствует широкому распространению потомства. Являясь активными фильтраторами, беззубки способствуют биологическому очищению водоёмов. Их личинки и молодые особи поедаются рыбами, а мясо и раковины самих беззубок идут на корм домашним животным, местами их также употребляют в пищу.



**Рисунок.7. Внутреннее строение Беззубок (Anodontinae)<sup>8</sup>**

Моллюски низовой р.Волга разнообразны, впервые проблематика изучения моллюсков в дельте была затронута в работах П.С. Палласа, в них была

<sup>8</sup> [Интернет ресурс]

[https://yandex.ru/images/search?text=anodonta%20%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D1%8E%D1%81%D0%BA%20%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5&pos=231&p=7&img\\_url=https%3A%2F%2Fpresentacii.ru%2Fdocuments\\_4%2Ffb9e2f246ef3da3cfb731404ac6b8d23%2Fimg5.jpg&rpt=simage](https://yandex.ru/images/search?text=anodonta%20%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D1%8E%D1%81%D0%BA%20%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5&pos=231&p=7&img_url=https%3A%2F%2Fpresentacii.ru%2Fdocuments_4%2Ffb9e2f246ef3da3cfb731404ac6b8d23%2Fimg5.jpg&rpt=simage)  
(дата\_обращения 18.01.2019)

приведена информация о 5 видах моллюсков дельты Волги (4 вида *Bivalvia*, и 1 – *Gastropoda*). С.Г. Гмелин добавил сведения об одном новом виде – *Laevicardium crassum*. Э.И. Эйхвальд в своих трудах указывал для дельты Волги 7 видов моллюсков (6 видов – *Bivalvia*, и 1 вид – *Gastropoda*), в том числе впервые описанный вид: *Monodacna caspia*. В.В. Пирогов в диссертации «Малакофауна дельты Волги» (1974) приводит список из 89 видов моллюсков, принадлежащих к 15 семействам, при этом 52 вида были им описаны впервые для дельты Волги. В 80–е–90–е гг. XX века в дельте Волги было обнаружено ещё несколько новых для науки видов моллюсков (например, *Theodoxus astrahanicus*). Ю.И. Кантор и А.В. Сысоев (2005) указывают, что в дельте Волги находятся 116 видов моллюсков, в связи с этим можно утверждать что моллюски широко представлены множеством видов представителей имеют важное значение в экосистеме акватории, являясь важным звеном в трофической цепи, и формируя качество среды обитания. (Подоляко, Калмыков.2015).

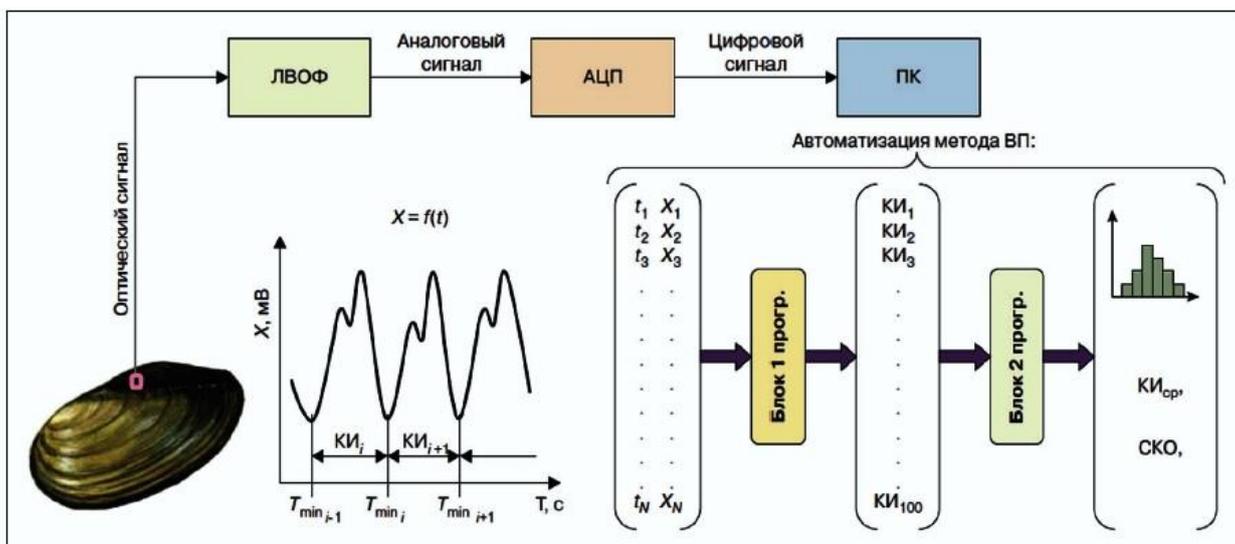
Суть методики волоконно–оптического метода регистрации кардиоритма моллюсков и анализ его характеристик в реальном времени заключается в том что на их раковину (без её повреждения) в точке регистрации четкой и устойчиво воспроизводимой пульсации сердца, для этого к моллюску приклеивали специальный миниатюрный пластмассовый держатель, в котором затем фиксировали волоконно–оптический датчик. Как показал многолетний опыт их использования, датчик не препятствует двигательной и фильтрационной активности моллюсков (рис.8). Регистрацию кардиоритма проводили с помощью разработанного в лаборатории экспериментальной экологии водных систем Санкт–Петербургского научно–исследовательского центра экологической безопасности РАН (Kholodkevich et al. Real time biomonitoring...2008) лазерного волоконно–оптического фотоплетизмографа), а также оригинального программного обеспечения VarPulse 9.8(рис.9), позволяющего в реальном времени оценивать уровень стресса внутри биологической системы одновременно у 8 моллюсков (термин «стресс» был

введён в 1936 г. канадским учёным Г.Селье, и определял стресс как реакцию на повышенную нагрузку, которая проявляется в синдроме, слагающемся из всех неспецифически вызванных изменений). (Селье.1982).

Стресс–неспецифическая реакция живых объектов на факторы среды (стрессоры), которые могут в зависимости от силы, интенсивности, момента и продолжительности воздействия более или менее сильно влиять на организм. (Ведемейер, Мейер, Смит. 1981).

Быстрота восстановления кардиоритма после стандартизованных воздействий характеризует возможности организма к компенсации изменений, вызванных воздействием внешних факторов, что является важным признаком здоровья животного (Kholodkevich et al., 2011; Kuznetsova, Kholodkevich, 2015; Turja et al., 2014).

Оценка физиологического состояния моллюсков проводилась с помощью функциональных нагрузок – дополнительных кратковременных воздействий экологических факторов (изменение общей солёности среды), вызывающих стресс у тест–организмов. Для введения моллюсков в состоянии стресса использовалось быстрое повышение солёности воды до 6‰ (до концентрации NaCl 6г/л) на 1 час, с последующим восстановлением первоначальной солёности воды. Через 1 ч проводили замену солёной воды на исходную пресную природную воду. Изменение солёности и смену воды проводили быстро (в течение 2–3 мин), при этом старались минимизировать сопряженные с процедурой турбулентные потоки и не допускали полного осушения моллюсков и изменений температуры воды. Оценку состояния моллюсков проводили на основе анализа восстановления ЧСС после смены воды на природную с концентрацией солей 0.2 г/л. С момента вылова моллюсков не кормили. После проведения исследования моллюски были возвращены в водоёмы. (Холодкевич, Шаров, Кузнецова. 2015).



Блок-схема установки и автоматической обработки хронотропных параметров сердечного ритма моллюска: ЛВОФ — лазерный волоконно-оптический фотоплетизмограф; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; ПК — персональный компьютер. Представлены основные этапы математической обработки выборки кардиоинтервалов (не менее 50): средняя величина кардиоинтервалов ( $\text{КИ}_{\text{ср}}$ ), среднее квадратичное отклонение (СКО)

Рисунок 8.Схема обработки и преобразование сигнала<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Холодкевич С.В., Шаров А.Н., Кузнецова Т.В. Перспективы и проблемы использования биоэлектронных систем в мониторинге состояния экологической безопасности акваторий Финского залива. РЭ, №2, 2015. 16-26 с.

### Глава 3. Результаты исследования протоков Астраханской области

В ходе подготовительного этапа в разные дни было отобрано 80 двухстворчатых моллюсков вида *Anodonta* (рис.10). Отлов производился вручную, на глубине 0,5–1,5м. в июле 2018г.

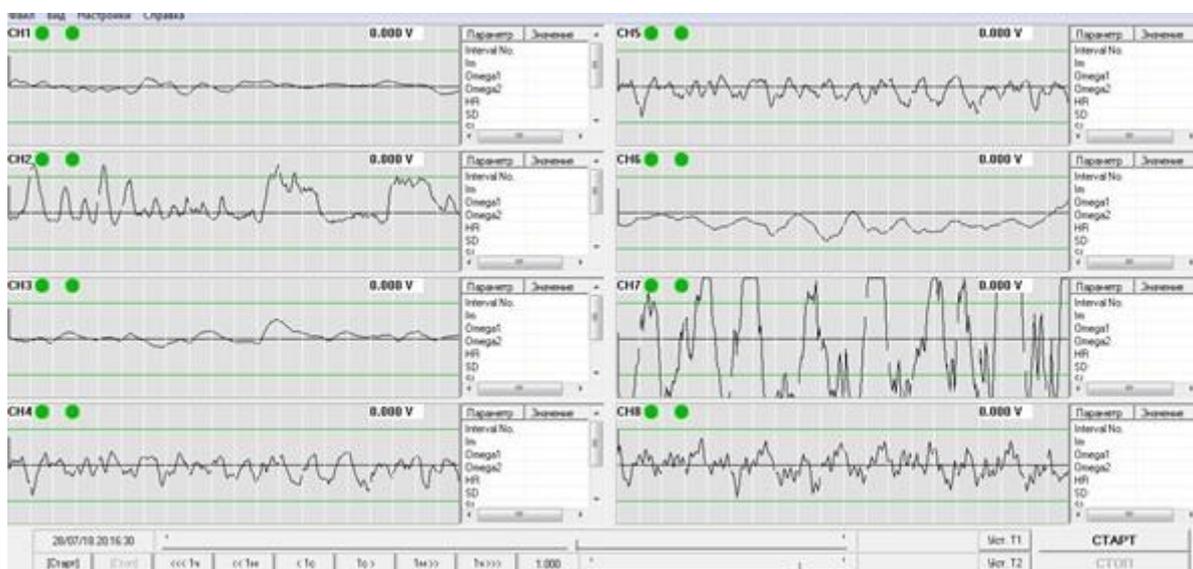


Рисунок 9. Screenshot момента записи кардиоактивности моллюсков в процессе их тестирования запись эксперимента VarPulse 9.8



Рисунок 10. Исследуемые тест-организмы отловленные 26 июля в протоке Малый

В качестве объектов исследования были выбраны 3 протока Волги расположенные в г. Астрахани и АО:

- 1) Рукав Городской (сбор осуществлён со стороны острова Городской) (Рис.11)

46°22'14.2"N 48°02'17.1"E

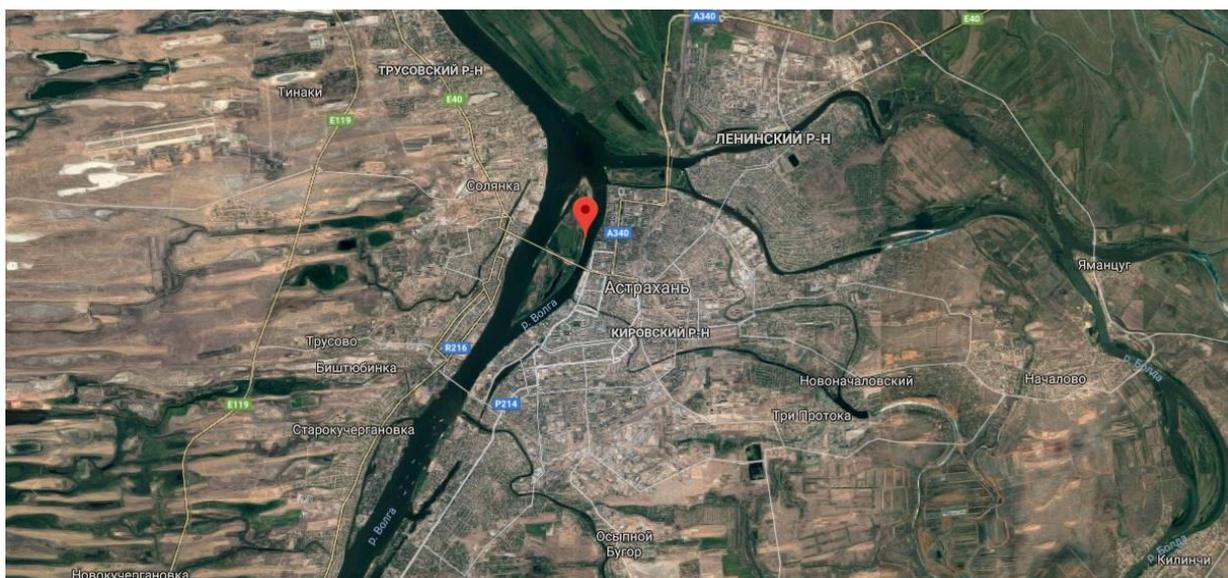


Рисунок 11. Городской рукав, р. Волга<sup>10</sup>

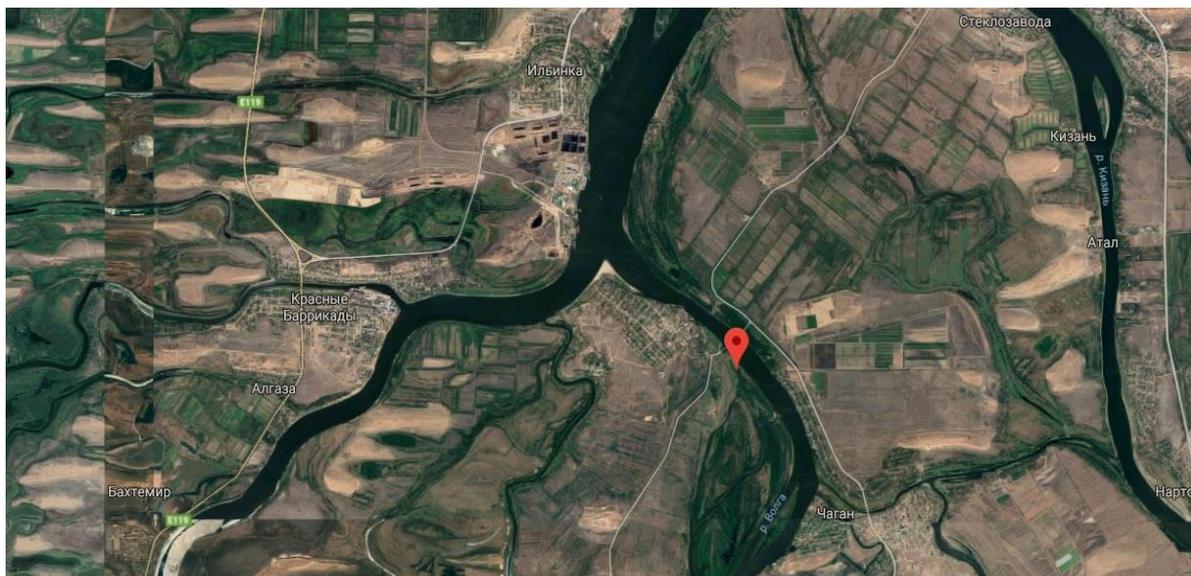
- 2) Проток Малый (со стороны посёлка Волго-Каспийский) южнее по течению от судоремонтного завода 46°11'49.6"N 47°56'13.3"E (Рис.12).<sup>11</sup>

<sup>10</sup> [Интернет ресурс]

<https://www.google.ru/maps/place/%D0%90%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%8C,+%D0%90%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F+%D0%BE%D0%B1%D0%BB./@46.3587906,48.0164773,13.75z/data=!4m5!3m4!1s0x41a90584a786c9ed:0x5a2144fabe5dcac2!8m2!3d46.3588045!4d48.0599345> Дата обращения 12.02.2019

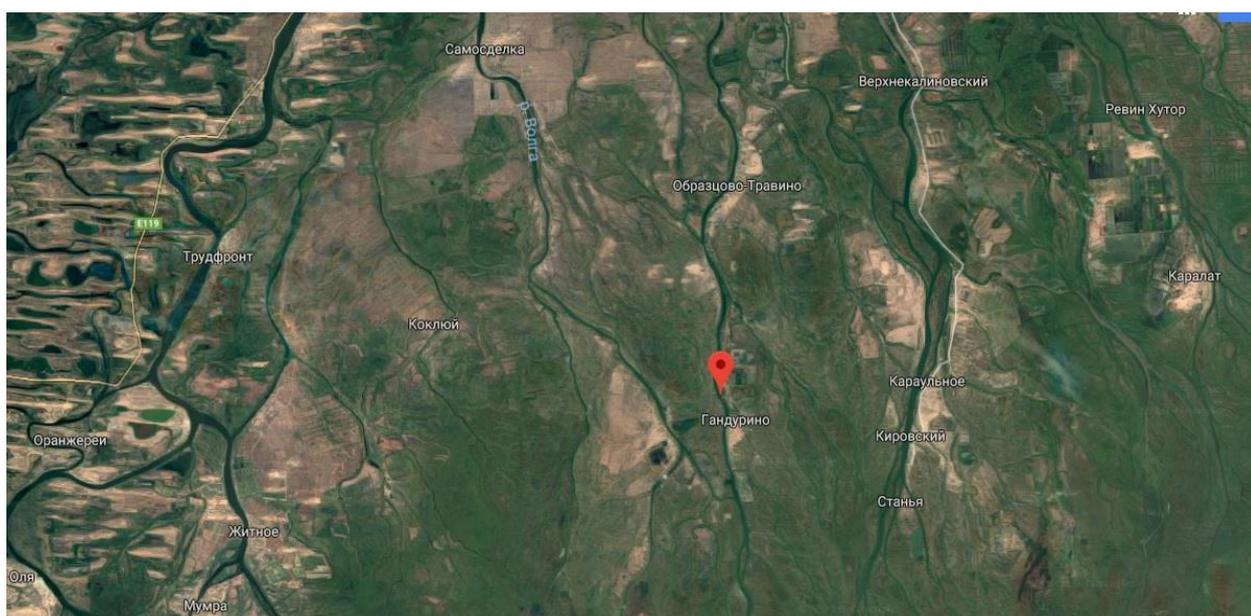
<sup>11</sup> [Интернет ресурс]

<https://www.google.ru/maps/place/%D0%90%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%8C,+%D0%90%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F+%D0%BE%D0%B1%D0%BB./@46.1927795,47.9343376,13.75z/data=!4m5!3m4!1s0x41a90584a786c9ed:0x5a2144fabe5dcac2!8m2!3d46.3588045!4d48.0599345> Дата обращения 12.02.2019



**Рисунок 12.Проток Малый**

3) Река Гандурино (Камызякский район)  $45^{\circ}51'59.1''N$   $47^{\circ}59'35.8''E$ (Рис.13) – референтная зона, поскольку вблизи её местонахождения отсутствуют промышленные объекты, и крупные населённые пункты.



**Рисунок 13.р.Гандурино,Камызякский район<sup>12</sup>**

<sup>12</sup> [Интернет ресурс]

<https://www.google.ru/maps/place/%D0%90%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%8C,+%D0%90%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F+%D0%BE%D0%B1%D0%BB./@45.8267938,47.9840841,13.96z/data=!4m5!3m4!1s0x41a90584a786c9ed:0x5a2144fabe5dcac2!8m2!3d46.3588045!4d48.0599345> Дата обращения 12.02.2019.



**Рисунок 14. Места сборов тест-организмов сверху вниз: рукав 1 -Городской, 2- проток Малый,3- р. Гандурино.<sup>13</sup>**

<sup>13</sup> [Интернет ресурс] <https://yandex.ru/maps/?ll=48.232027%2C46.200131&z=10> Дата обращения 12.02.2019

### 3.1.Рукав Городской

Городской рукав (рис.11.) имеет активный водообмен, уровень антропогенной нагрузки высок в связи с нахождением на территории рекреационного объекта– городского пляжа. Берег пологий, глубина 15 м. Дно водоёма илистое. Течение воды быстрое, вода мутная и не прозрачная, возможно попадание мусора в водоём во время летнего сезона в связи с не организованным туризмом. Чуть выше по течению находится городской водосбор, ниже по течению находится «Астрахань Обь–Иртышфлот» организация занимающиеся перевозкой грузов водным транспортом что способствует повышению уровня судоходства.

Отбор проб происходил 16 июля и повторно 30 июля температура воды +26°С и +27 °С соответственно, на глубине около 1 м. в 8–12м. от берега в последствии образцы были доставлены в течении часа и оставлены в оптимальных условиях для восстановления кардиоритма (ЧСС) и прихода в состоянии нормы. На следующий день с образцами были проведены эксперименты, на створках моллюсков в области сердца наклеивались миниатюрные волоконно– оптические датчики. Датчики крепились к моллюскам с помощью седла. Это способствовало более чистому снятию сигнала и снижало риск появления отдельных шумов, не относящихся к исследованию. После этого моллюски помещались в аквариум с природной водой из места отбора животных при ее постоянной аэрации. Животных специально не кормили, хотя некоторое питание животные во время тестирования могли получать из природной воды. Использовали естественное освещение. Температура воды в ходе экспериментов была 24–26 С°.

17 июля эксперимент был начат в 13:00, закончен в 22:00, на рис 16 реакция 1 канала более плавна (брадикардия) по сравнению со вторым, после возвращения естественной воды у 2 канала замечена тахикардия ЧСС до 37 ударов в минуту а потом спад активности до 21 уд/мин в 18:40, в связи с тем

что график восстановления более плавный и время восстановления меньше  
можно сделать вывод о том, что первый образец здоровее.



**Рисунок 15.рукав Городской, Городской остров <sup>14</sup>**



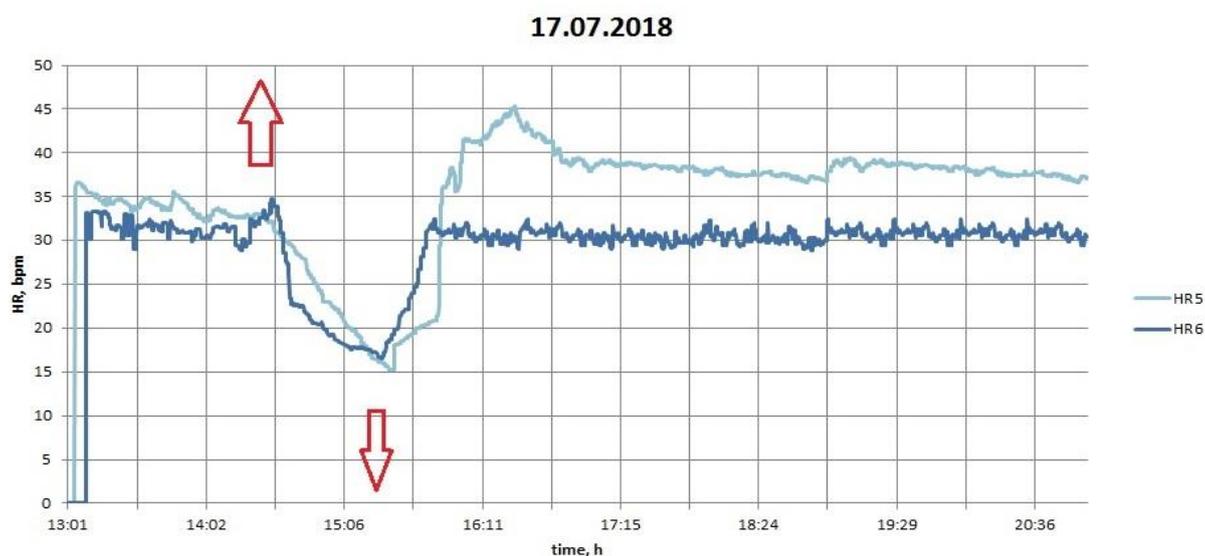
**Рисунок 16.ЧСС моллюсков рукав Городской**

Рисунок 17 отображает резкую реакцию на изменение солёности, ЧСС моллюсков 3 и 4 канала не стабилен даже до введения в состояние стресса, однако время восстановления соотносится со средним, отклонение не превышает 4 минуты.

<sup>14</sup>[Интернет-ресурс] <https://astrakhan3d.ru/raznoe/ostrov-gorodskoy> Дата обращения 20.02.2019.

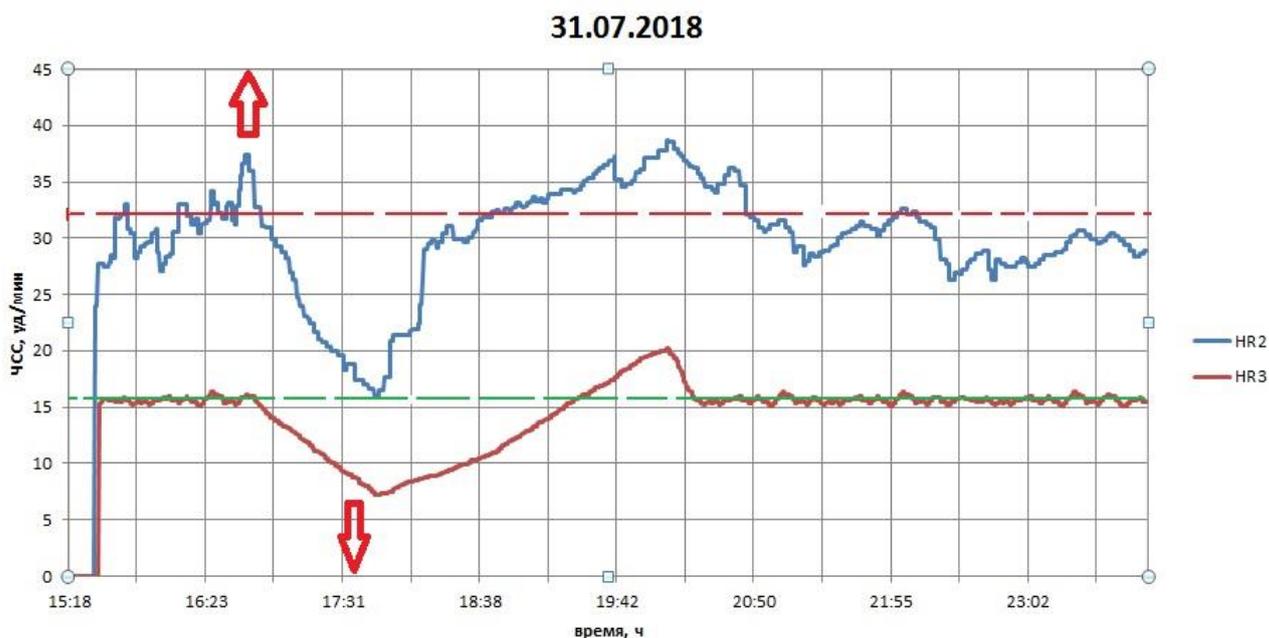


**Рисунок 17. ЧСС моллюсков рукав Городской**

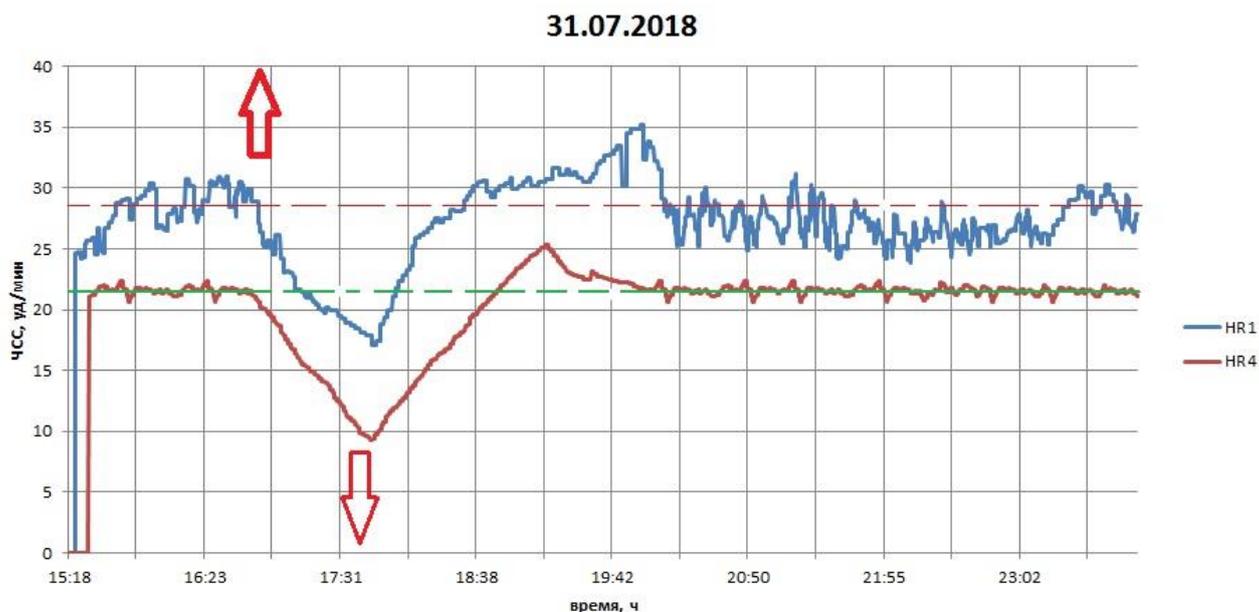


**Рисунок 18. ЧСС моллюсков рукав Городской**

На рисунке 18, до введения в состояние стресса (14:30) на записи видны показатели нормальной сердечной работы без отклонений, восстановление более быстрое у 6 канала. 5 канал после возвращения в обычную воду сильно повысил количество ударов в минуту, в 16:25 показатель соответствовал значению 45,однако в последствии, в течение 20 минут он восстановил ЧСС и отклонение от среднего значение было не значительным. Показатели здоровья 5 организма хуже чем 6,но не сильно отличается от среднего показателя.



**Рисунок 19. ЧСС моллюсков рукав Городской**

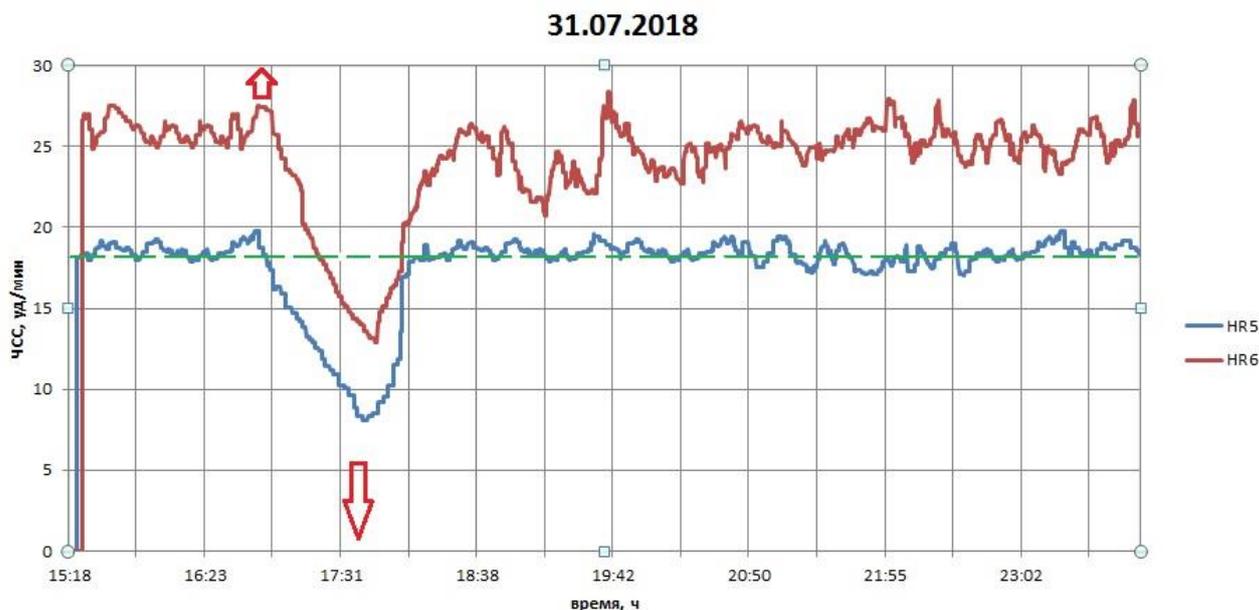


**Рисунок 20. ЧСС моллюсков рукав Городской**

График рисунка 19—отображает стабильное сердцебиение 3 канала, до изменения солёности ЧСС установился на показателе 15,5 уд/мин. После повышения солёности образец плавно проявляет брадикардию, достигнув минимума в 17:50 когда уровень ЧСС соответствовал 8 уд/мин. Моллюск восстановился через 150 минут с отклонением от среднего значения +5 минут.

ЧСС 2 канала более учащенное, перед добавлением NaCl достигает максимума 37 уд/мин. В последствии не так стабильно как у 3 канала, однако

время восстановления не сильно отличается от среднего времени восстановления.



**Рисунок 21. ЧСС моллюсков рукав Городской**

**Таблица 6—Сравнение ЧСС моллюсков с отклонением рукав Городской**

Канал (HR)	17/07(отклонение)	31/07(отклонение)
1	150	140
2	155	150
3	145	150
4	140	145
5	133	182
6	120	105
Усредненное значение	141(±5)	145(±10)

Исследуя графики (рис.16–21) проведенных экспериментов 17 июля и 31 июля было оценено среднее время восстановления ЧСС 141 и 145 минут, усредненные результаты близки однако ЧСС моллюсков варьировало от 15,3 до 45,1 уд./мин. Время восстановления ЧСС ( $T_{\text{восст}}$ ) моллюсков после тест–нагрузки изменялось от 100 мин. до 182 мин (табл.6). На основании полученных данных можно определить, что качество воды рукава Городской соответствует статусу «Грязный» (плохой).

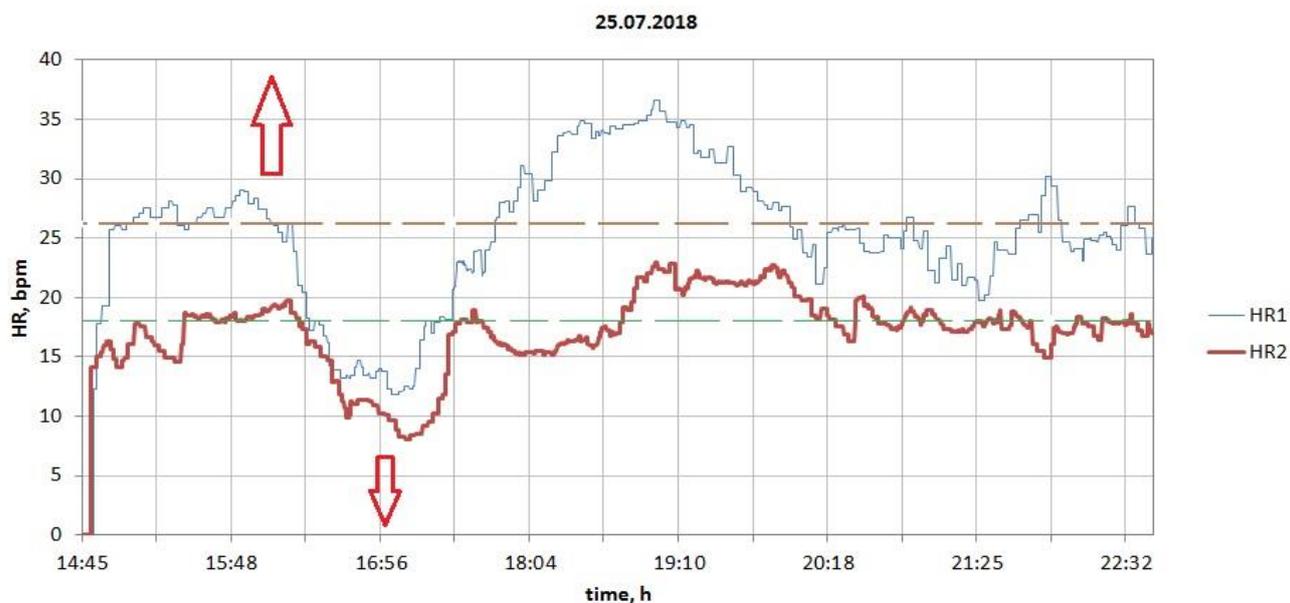
### 3.2.Проток Малый

Проток Малый (Рис.12) обладает слабым течением и высоким водообменном, уровень антропогенной нагрузки не высок, однако выше по течению работает Волго–Каспийский судоремонтный завод, основными источниками загрязнения от данного вида промышленности являются:

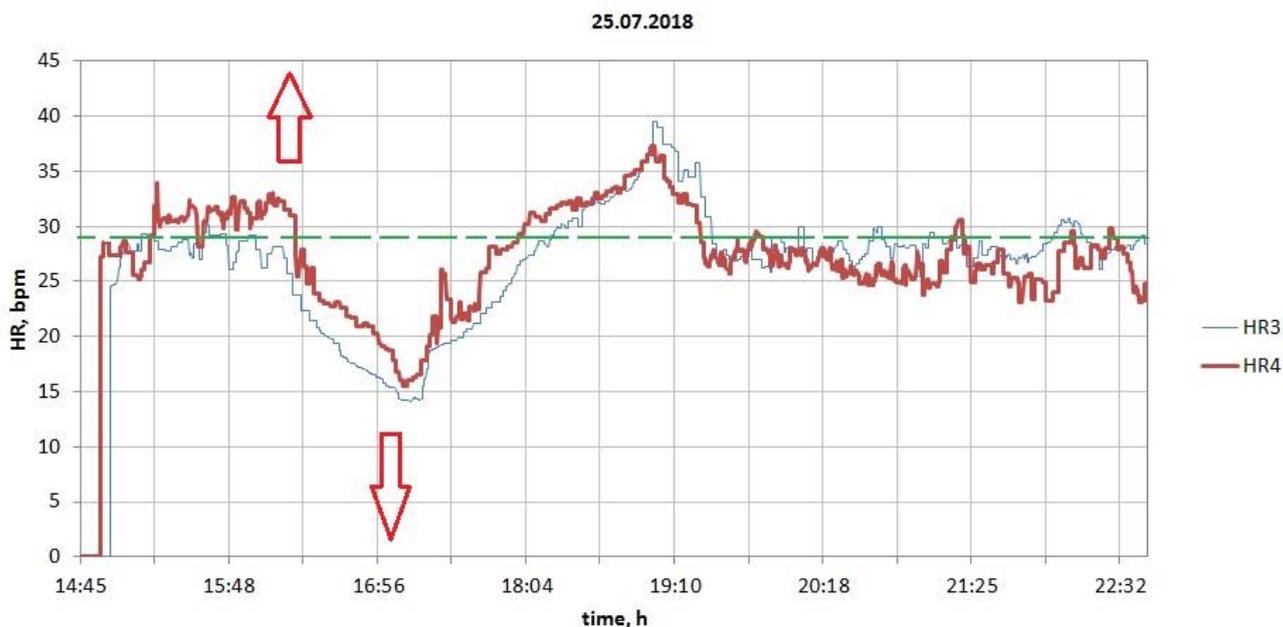
- 1) Термическая и механическая обработка металла;
- 2) Гальваническое производство с применением цианистого калия;
- 3) Электродуговая сварка;
- 4) Окрасочные работы;
- 5) Зачистные и изолировочные работы;
- 6) Работы по утилизации отходов; (Израэль. 2002)

Берег протока Малый – пологий, максимальная глубина до 9 м. Дно протока илистое. Течение воды быстрое, вода прозрачная. Отбор проб проходил 24 июля, и повторно 26 июля. Температура воды в дни исследования была +26°С. Вылов проходил на глубине около 0,6–1 м, в 3–7 метрах от берега, без помощи дополнительных средств – вручную, в дальнейшем образцы были доставлены в оптимальные условия течения 20 минут, и оставлены для восстановления кардиоритма (ЧСС) и нормального физического состояния. На следующий день образцы были подготовлены для проведения эксперимента подключены к оборудованию и был проведён эксперимент.

25 июля (рис.22) графики первого и второго канала схожи по динамике, средний показатель ЧСС 26 уд/мин для 1 канала и 18 уд/мин для 2 канала. Амплитуда значений первого канала больше чем у второго, однако, время восстановления одинаково, присутствует отклонение от среднего значения, что говорит о том, что состояние здоровья исследуемых образцов плохое.

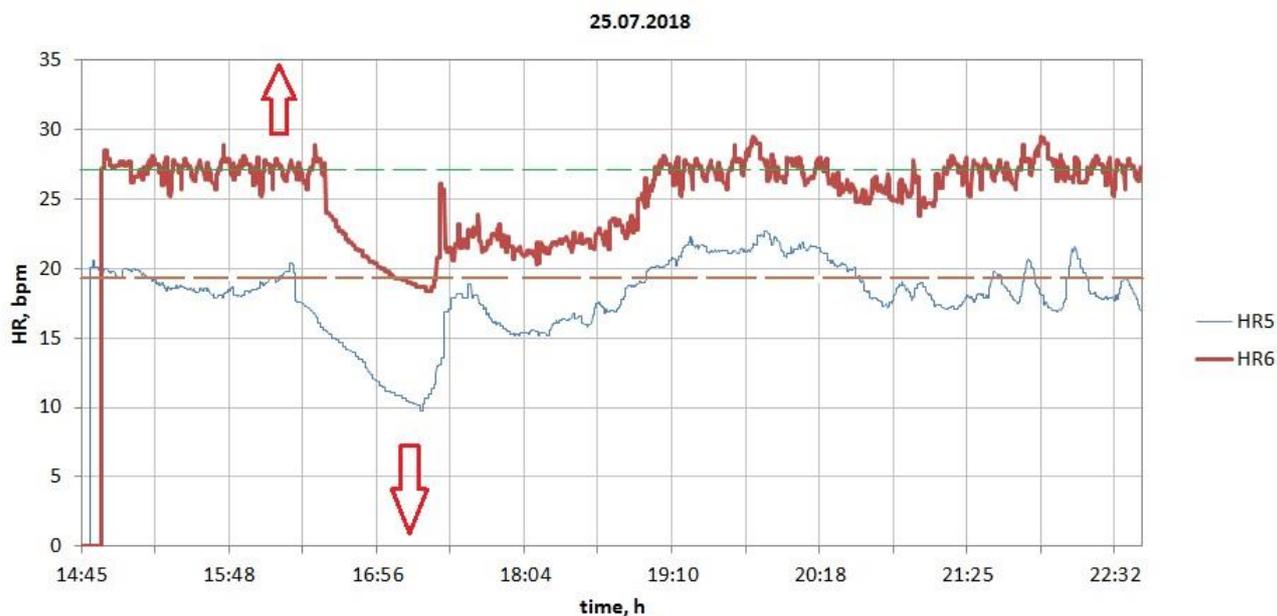


**Рисунок 22. ЧСС моллюсков проток Малый**



**Рисунок 23. ЧСС моллюсков проток Малый**

На графике рисунка 23 – уровень сердцебиения моллюсков высок, наблюдается тахикардия, средний уровень ЧСС 4 канала установился на показателе 33,4 уд/мин. После добавления природной воды у тест-организма резко повышается сердцебиение, потом скачек прекращается, происходит небольшой спад и в дальнейшем восстановление кардиоритма.

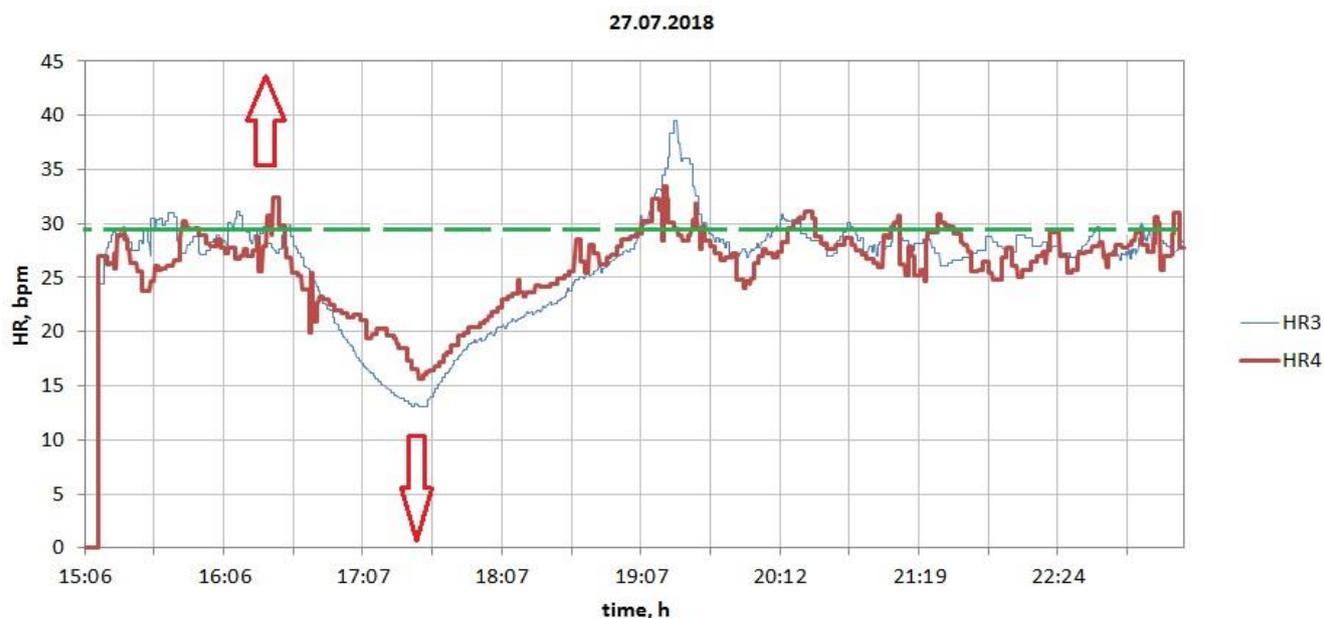


**Рисунок 24. ЧСС моллюсков проток Малый**

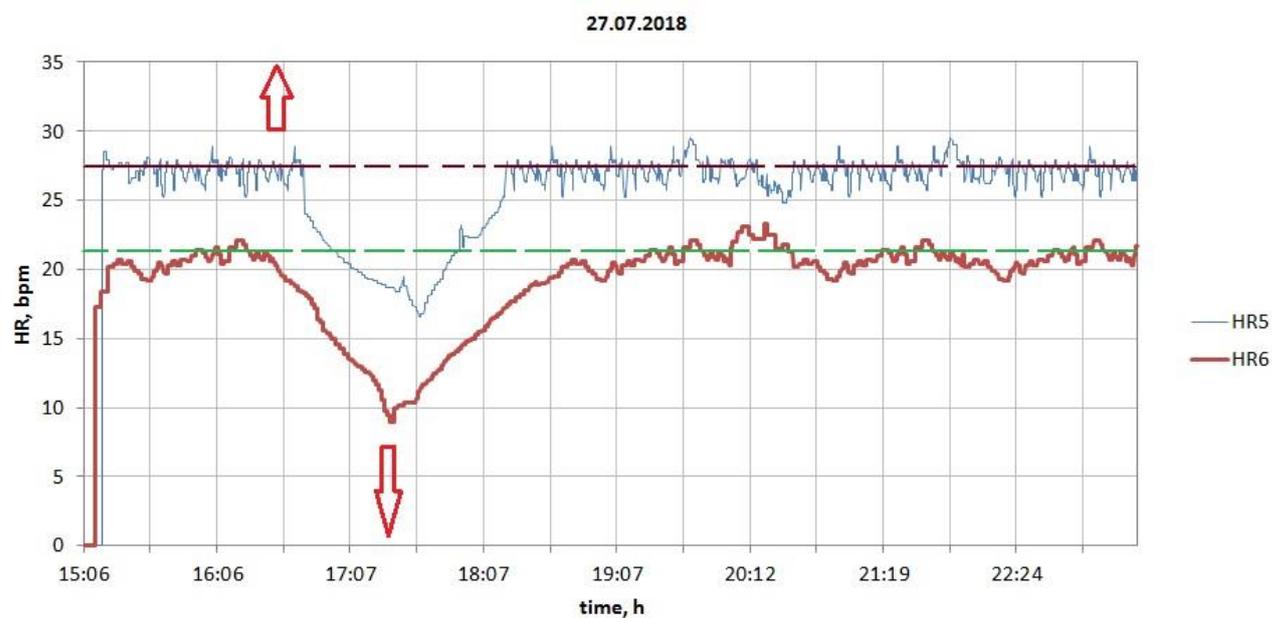


**Рисунок 25. ЧСС моллюсков проток Малый**

График рисунка 25 отображает схожую плавную запись кардиоритма у образцов 1 и 2, однако после изменения солёности график восстановления сильно разнится, график первого канала равномернее, второй тест-организм быстрее восстанавливается однако в последствии происходит спад ЧСС до 16 уд/мин.



**Рисунок 26. ЧСС моллюсков проток Малый**



**Рисунок 27. ЧСС моллюсков проток Малый**

**Таблица 7—Сравнение ЧСС моллюсков с отклонением проток Малый**

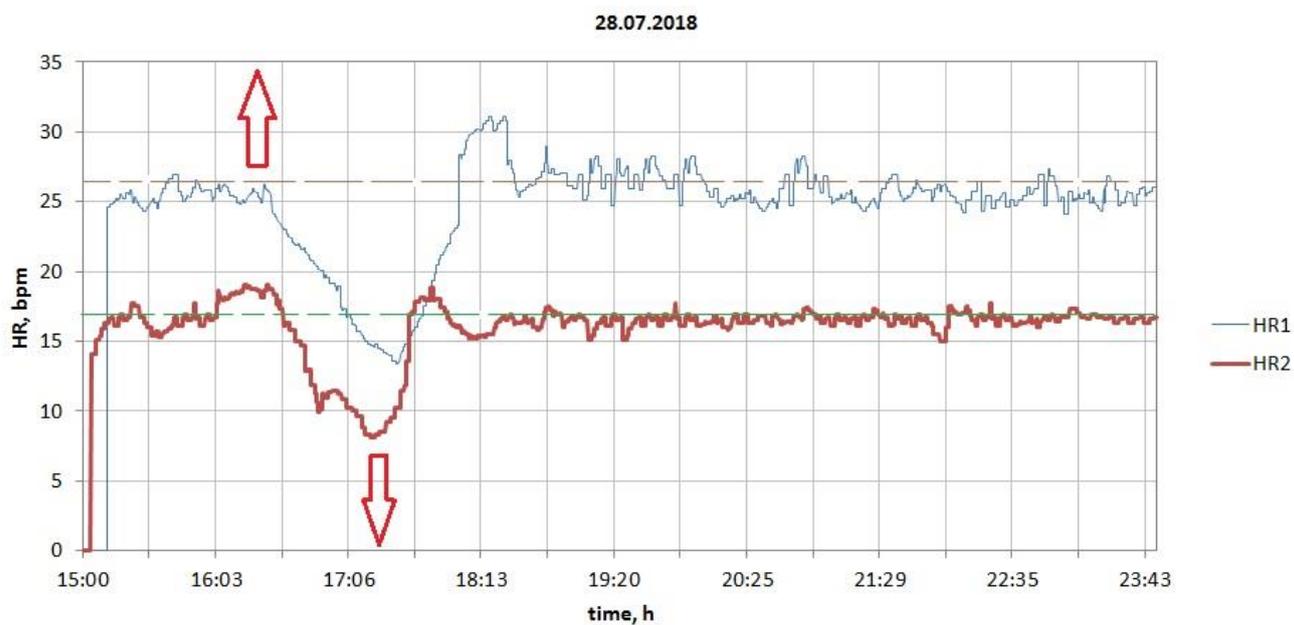
Канал (HR)	25/07(отклонение)	27/07(отклонение)
1	180	145
2	180	140
3	150	150
4	145	150
5	172	145
6	170	132
Усредненное значение	166(±6)	144(±3)

Исследуя графики (рис.22–27) проведенных экспериментов 25 июля и 27 июля было оценено среднее время восстановления ЧСС 166 и 144 минут, усредненные результаты отличаются, средние отклонения также различны что говорит о более худшем состоянии тест–организмов по сравнению с рукавом Городской. ЧСС моллюсков варьировало от 17,2 до 30,6 уд. /мин. Амплитуда показателей сердцебиения более близки. Время восстановления ЧСС ( $T_{\text{восст}}$ ) моллюсков после тест–нагрузки изменялось от 132 мин. до 180 мин (табл.7). На основании полученных данных можно определить что качество воды протока Малый соответствует статусу «Грязный» (Плохой).

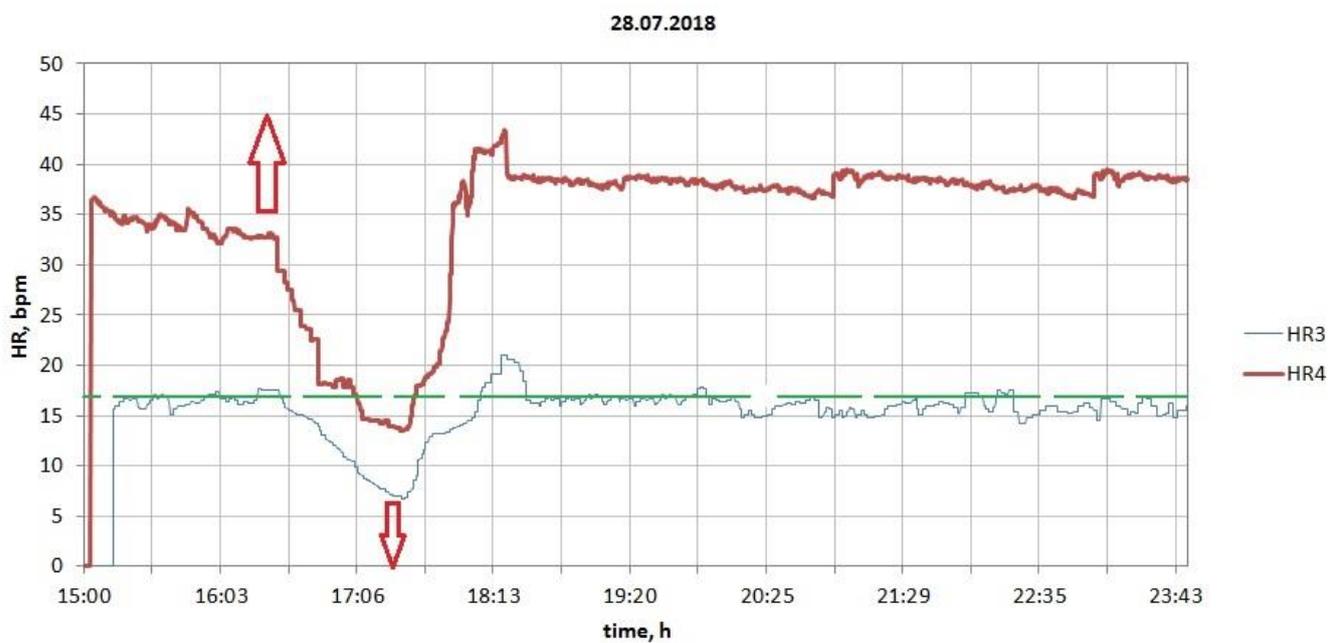
### 3.3. Река Гандурино

Река Гандурино (рис.13) референтный участок, имеет активный водообмен, уровень антропогенной нагрузки низок. Берег пологий, глубина до 10 м. Дно водоёма илистое. Течение воды быстрое, вода прозрачная.

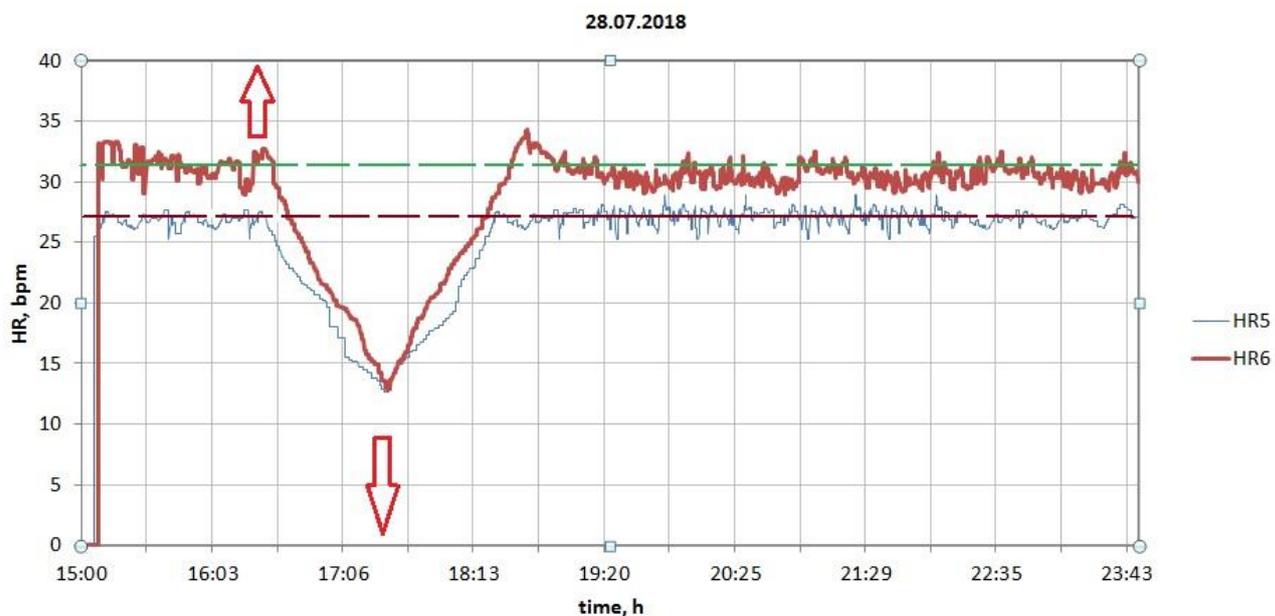
Отбор проб происходил трижды в промежуток 27 –29 июля, температура воды + 28°C (первые дни) и +27 °C в последний день отбора, на глубине около 1–1,7м. Вылов осуществлялся в 7–12 метрах от берега, в последствии образцы были доставлены в течении часа и оставлены в оптимальных условиях для восстановления кардиоритма (ЧСС). На следующий день с образцами были проведены эксперименты, на створках моллюсков в области сердца наклеивались миниатюрные волоконно–оптические датчики. Датчики крепились к моллюскам с помощью седла. Это способствовало более чистой регистрации сигнала и снижало риск появления отдельных шумов, не относящихся к исследованию. После этого моллюски помещались в аквариум с природной водой из места отбора животных при ее постоянной аэрации. Животных специально не кормили, хотя некоторое питание животные во время тестирования могли получать из природной воды. Использовали естественное освещение. Температура воды в ходе экспериментов была 24–26 С°.



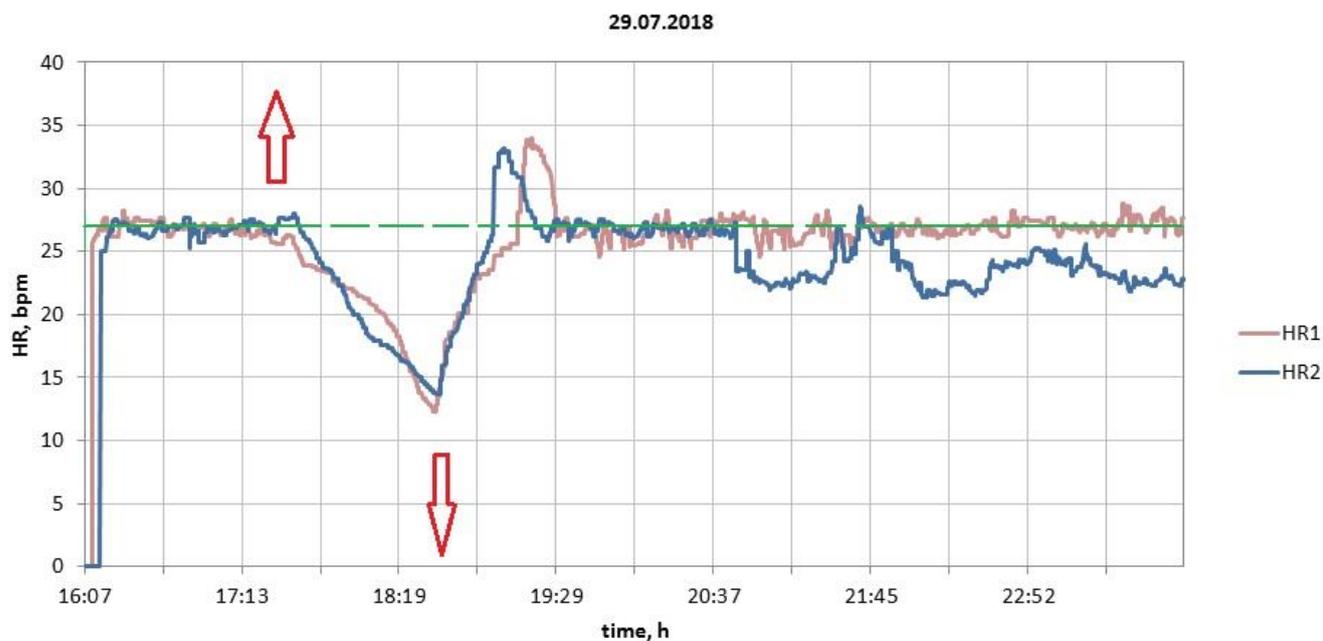
**Рисунок 28. ЧСС моллюсков, р.Гандурино**



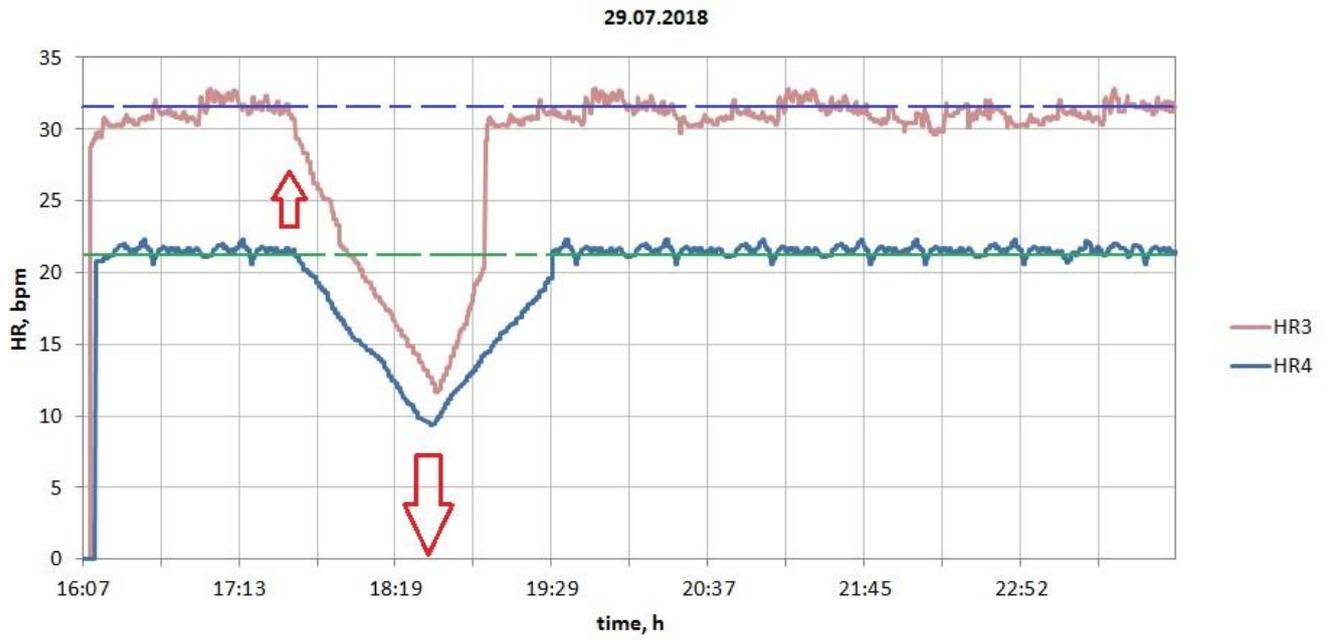
**Рисунок 29. ЧСС моллюсков, р.Гандурино**



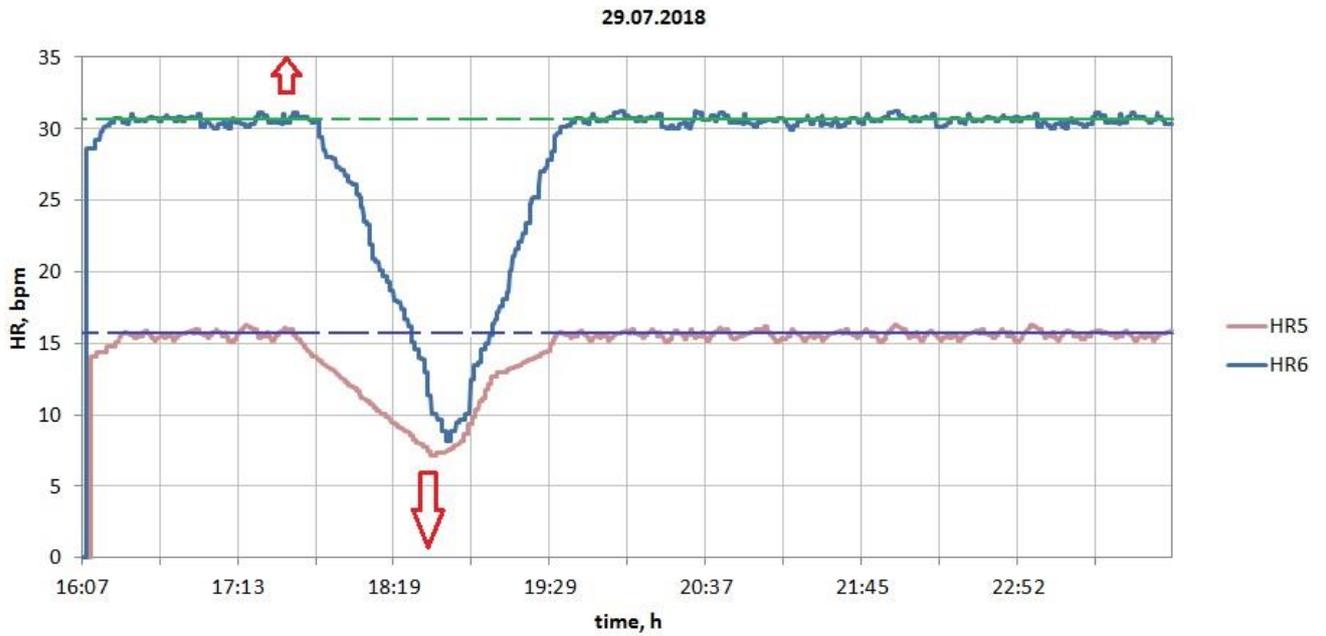
**Рисунок 30. ЧСС моллюсков, р.Гандурино**



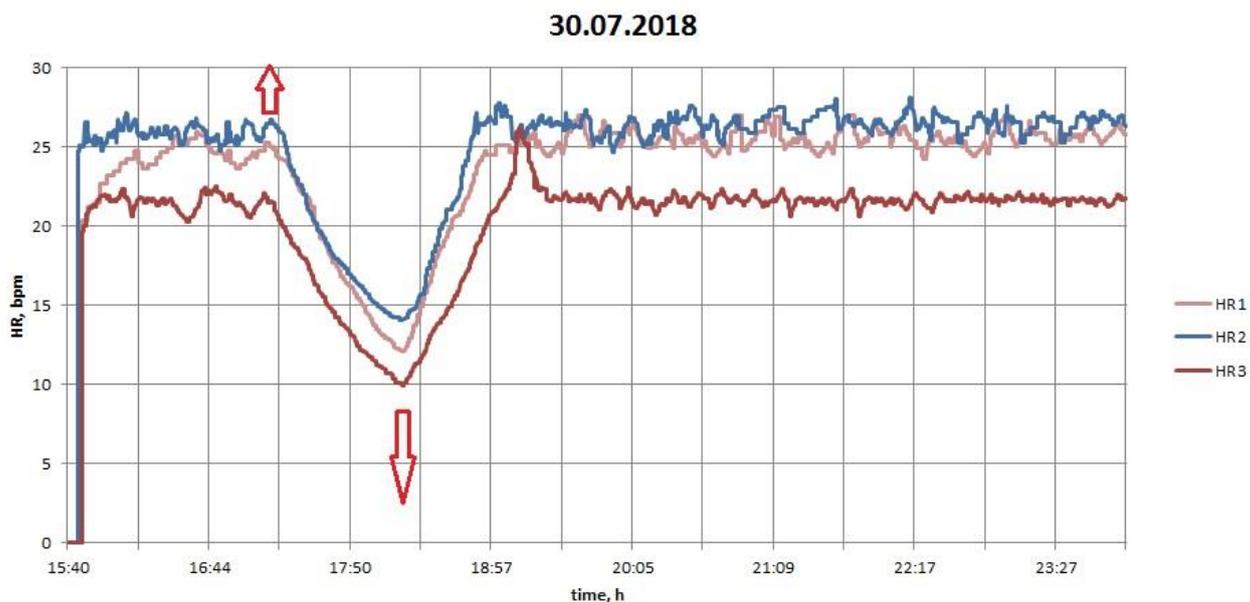
**Рисунок 31. ЧСС моллюсков, р.Гандурино**



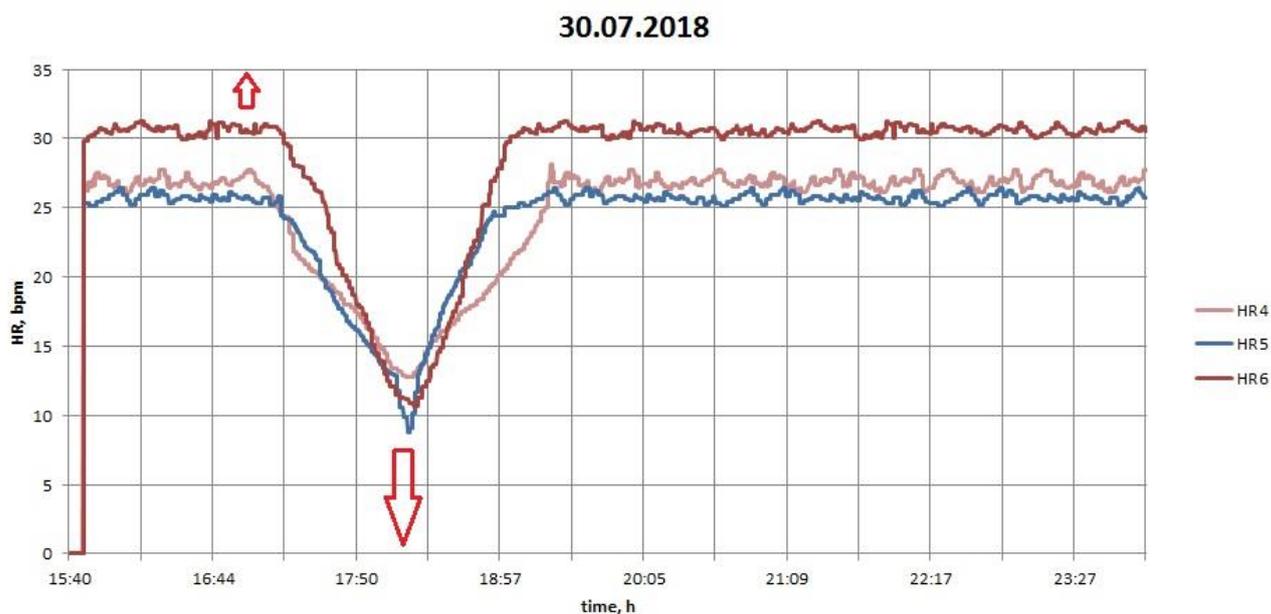
**Рисунок 32. ЧСС моллюсков, р.Гандурино**



**Рисунок 33. ЧСС моллюсков, р.Гандурино**



**Рисунок 34. ЧСС моллюсков, р.Гандурино**



**Рисунок 35. ЧСС моллюсков, р.Гандурино**

**Таблица 8—Сравнение ЧСС моллюсков с отклонением р.Гандурино**

Канал (HR)	28/07( отклонение)	29/07( отклонение)	30/07(отклонение)
1	120	120	100
2	105	120	110
3	110	130	115
4	115	122	132
5	116	129	118
6	136	115	121

Усредненное значение	117 ( $\pm 4$ )	123 ( $\pm 2$ )	116 ( $\pm 4$ )
----------------------	-----------------	-----------------	-----------------

Исследуя графики (рис.28–35) проведенных экспериментов 28–30 июля было оценено среднее время восстановления ЧСС 117,123,116 минут, усредненные результаты очень близки, средние отклонения также схожи что свидетельствует о более хорошем гомеостазе тест–организмов по сравнению с предыдущими водоёмами. ЧСС моллюсков варьировало от 15 до 36,3 уд. /мин. Время восстановления ЧСС ( $T_{\text{восст}}$ ) моллюсков после тест–нагрузки изменялось от 105 мин до 136 мин (табл.8). На основании полученных данных и рекомендаций работы (Холодкевич и др., 2019) можно сделать оценку, что качество воды реки Гандурино соответствует статусу «Грязный» (Плохой). Тем не менее данная акватория является относительно более чистой из исследованных, так как функциональное состояние моллюсков в ней, согласно данным тестирования (см. Табл. 5) – выше.

## Заключение

В ходе литературного анализа были получены данные о том, что вода участка р. Волга ниже и на территории г. Астрахань характеризуется как «грязная». Исследования настоящей работы подтвердили это. Так, было установлено, что пресноводные двустворчатые моллюски, отобранные из различных водоёмов, отличающихся уровнем загрязнения, реагируют не одинаково на кратковременное (1–часовое) воздействие солонатовой воды (6 г/л NaCl). При данном воздействии все моллюски реагировали снижением ЧСС, но у особей из более загрязненных мест обитания Городской рукав – рекреационная деятельность, проток Малый – судоремонтный завод, период восстановления после смены солонатовой воды на пресную природную был продолжительнее, чем у моллюсков из наименее загрязненного, из исследованных протоков – реки Гандурино. Моллюски из загрязненных мест обитания обладают сниженным адаптивным потенциалом и на дополнительную функциональную нагрузку в виде изменения солености воды реагируют переходом на анаэробный обмен и снижением энергетического обмена и ЧСС соответственно. Из исследованных протоков все 3 соответствовали уровню «плохой», однако некоторые моллюски реки Гандурино демонстрировали «посредственное» состояние здоровья.

## Список использованной литературы

- 1) Алимов А.Ф. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков./ Л., Наука, 1981. 248 с.
- 2) Афанасьев В.Е., Лактионов А.П. Некоторые данные об изменениях во флоре г. Астрахани и окрестностей за 100-150 лет // Проблемы сохранения и рационального использования биоразнообразия Прикаспия и сопредельных регионов: Мат. 4 междунар. заочной науч. конф. / Ассоциация ун-тов Прикаспийских государств. — Элиста: Изд. КалмГУ, 2010. С. 15 – 17.
- 3) Бармин А.Н., Бесчетнова Э.И., Вознесенская Л.М.. География Астраханского края :Учеб.пособ./Астрахань:Астраханский университет,2007. 259 с.
- 4) Биоиндикаторы. // Экобиблиотека «Экодело». [Электронный ресурс]. – [http://ecodelo.org/9559414\\_bioindikatory4\\_bioindikatsiya\\_i\\_biologicheskii\\_monitoring](http://ecodelo.org/9559414_bioindikatory4_bioindikatsiya_i_biologicheskii_monitoring).
- 5) Биохимические особенности болезней рыб. Петрозаводск: Карельский научный центр АН СССР, 1991.151с.
- 6) Биоэлектронный мониторинг поверхностных вод // iLab - информационный портал по вопросам биомедицинской инженерии. [Электронный ресурс]. –: <http://ilab.xmedtest.net/?q=node/4363>.
- 7) Боголюбов А. С., Засько Д. Н. Сравнительная комплексная характеристика малых рек и ручьев : метод. пособие по полевой экологии. М. : Эко система,1999. 7 с.
- 8) Бухтояров О.И., Несговорова Н.П., Савельев В.Г., Иванцова Г.В., Богданова Е.П. Методы экологического мониторинга качества сред жизни и оценки их экологической безопасности: учебное пособие / – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2015. 239 с.
- 9) Ведемейер Г.А., Мейер Ф.П., Смит Л. Стресс и болезни рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 128 с.
- 10) Волкова З. В. Оценка состояния загрязненности Нижней Волги и ее дельты с использованием комплексных показателей. // Проблемы

- качества вод Нижней Волги и Северного Каспия / ред. В. Ф. Бреховских, Е. В. Островская. Москва: Типография Россельхоз академии, 2013. С. 47–51.
- 11) Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. 888 с.
  - 12) Дедикова Т.Н. , Бухарицин П. И. Экологическое состояние реки Волги. Вестник Астраханского государственного технического университета номер 1(49) 2015. С.85-87.
  - 13) Жижимова Г. В. Влияние урбанизированных территорий на внутригородские аквальные комплексы : на примере г. Астрахань : автореферат .Астрахань, 2009. 22 с.
  - 14) Забурдаева Е. А. Биоиндикация, диагностика и нормирование качества пресных вод с учетом природных особенностей и назначения водных объектов : авто- реф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2008. 26 с.
  - 15) Захаров В.М., Кларк Д.М.. Биотест. Интегральная оценка здоровья экосистем и отдельных видов. М.: 1993.68 с.
  - 16) Иванов В.П. Биологические ресурсы Каспийского моря. – Астрахань: Изд-во КаспНИИРХ, 2000. 100 с.
  - 17) Израэль Ю.А. Проблемы антропогенной экологии // Научные аспекты экологических проблем России. Т. 1. М.: Наука, 2002. С. 9-21.
  - 18) Косолапов Д.Б., Девисилов В. А, Новиков Д.А. , Черемушкина О.В. Экологическое состояние водохранилищ Волги и Дона методом биоиндикации. Журнал Безопасность в техносфере т.7 номер 2.2018 .С.3-9.
  - 19) Кочуров Б.И., Воронин Н.И., Гольчикова Н.Н. и др. Геоэкологическая характеристика Астраханской области / Под ред. Н.И Воронина и Н. Н. Гольчиковой. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2004. 91 с.

- 20) Кудрявцева Г.В. Эколого-физиологические особенности и роль пентозофосфатного пути обмена углеводов в адаптации гидробионтов: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. М., 1990. 35 с.
- 21) Куракин А. С., Холодкевич С. В., Пурвиня С., Барда И., Римша Э., Кулинкович А. В. Оценка экологического состояния акваторий Рижского залива // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2012. № 142. С. 267–272.
- 22) Курочкина Т. Ф. Экологические особенности речных сообществ Нижней Волги и их биоиндикация : автореферат дис. ... доктора биологических наук :/ Астрахан. гос. ун-т. - Астрахань, 2004. - 45 с.
- 23) Лактионов А.П., Афанасьев В.Е. Флористическое районирование Астраханской области // Вестник Астраханского гос. тех. ун-та, Астрахань: Изд-во АГТУ, 2007. — № 1 (36). С. 168 – 173.
- 24) Лукьяненко В.И. Общая ихтиотоксикология.. и пищевая пром-сть, М.1983. 320 с.
- 25) Лукьяненко В.И. Физиолого-биохимический статус Волго-Каспийских осетровых в норме и при расслоении мышечной ткани (кумулятивный политоксикоз) / Рыбинск: Институт биологии внутр. вод АН СССР, 1990.262 с.
- 26) Лукьянова О.Н. Молекулярные биомаркеры. Владивосток: Изд-во ДВГАЭУ, 2001. 196 с.
- 27) Мелехова О. П., Егорова Е. И., Евсеева Т. И. и др. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. М.: Академия, 2007. 288 с.
- 28) Насибулина Б.М., Ларцева Л.В., Лисицкая И.А., Истелюева А.А., Сугралиева А.С. Роль донных и микробных биоценозов в санитарно-гигиеническом мониторинга дельты Волги. Юг России: экология, развитие. №1. 2009. С. 35-42.

- 29) Осипенко, Г. Л. Биомониторинг и биоиндикация: практическое руководство. / М-во образования РБ; Гом. гос. ун-т им. Ф. Скорины. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. 39 с.
- 30) Подоляко С.А., Калмыков А.П. История изучения фауны моллюсков дельты. ФГБУ «Астраханский ордена Трудового Красного Знамени государственный природный биосферный заповедник» Астраханский вестник экологического образования № 1 (31) 2015. с. 179-181.
- 31) Полонский В.Ф., Остроумова А.А. Моделирование и оценка изменений составляющих водного баланса дельты р. Волги в половодье, Каспийское море: экстремальные гидрологические события. М.: Наука, 2007, с. 162-181.
- 32) Полонский В.И., Михайлов В.Н., Кирьянов С.В. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря. М.: ГЕОС, 1998. 280 с.
- 33) Постановление от 29 июня 2011 года N 220-П. "Развитие водохозяйственного комплекса Астраханской области в 2012 - 2020 годах".
- 34) Пятин В.А. Атлас Астраханской области. Роскартография, М.2017, 48 с.
- 35) Руднева-Титова И.И. Антиоксидантные системы морских животных в процессе их, эволюции, онтогенеза и при действии антропогенных факторов: Автореф. дисс., докт. биол. наук. Харьков, 1994. 46 с.
- 36) Селье Г. Стресс без дистресса. – М. 1982.48 с.
- 37) Сидоров В.С., Высоцкая Р.У., Такшеев С.А. Экологобиохимический мониторинг и тестирование водоемов // Экологические проблемы бассейнов крупных рек - 2: Тез. докл. междунар. конф. Тольятти, 1998. С. 165-166.

- 38) Сидоров В.С., Юровицкий Ю.Г. Перспектива использования биохимических методов регистрации экологических модуляций // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 264-277.
- 39) Сидоров В.С., Юровицкий Ю.Г., Кирилук С.Д., Такшеев С.А. Принципы и методы эколого-биохимического мониторинга водоемов // Биохимия экто- и эндотермных организмов в норме и при патологии. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2009 С. 5-27.
- 40) Семенченко В. П., Разлуцкий В. И., Экологическое качество поверхностных вод. Издательский дом «Беларуская навука» Минск. 2011. с.329.
- 41) Соколова С.А., Перегончая О.В. Физико-химические методы анализа : учебное пособие / Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2012. 157 с.
- 42) Томилина И.И., Комов В Т. Донные отложения как объект токсикологических исследований (обзор) // Биология внутр. вод. 2002. № 2. С. 20-26.
- 43) Торгашкова О. Н., Воловик Н. С. Комплексная оценка степени загрязнения водной среды реки Волги // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2012. Т. 12, вып. 4. С. 96–102.
- 44) Федорова Н.Н., Зайцев В.Ф. Влияние солей тяжелых металлов, растворенных в воде, на осетровых рыб // Вестник АГТУ: Экология–Астрахань: Из–во АГТУ. 2006. С.84–89.
- 45) Флеров Б.А. Эколого-физиологические аспекты токсикологии пресноводных животных. Л.: Наука, Л. 1989. 144 с.
- 46) Характеристика загрязнения водотоков Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги // Оценка стока загрязняющих веществ в Каспийское море в 1995-2004 гг. Обзор. – Астрахань, 2006. 47 с.

- 47) Холодкевич С. В., Шаров А. Н., Кузнецова Т. В. Перспективы и проблемы использования биоэлектронных систем в мониторинге состояния экологической безопасности акваторий Финского залива. Региональная экология. 2015. № 2(37). С. 16–26.
- 48) Холодкевич С.В., Шаров А.Н., Кузнецова Т.В. Перспективы и проблемы использования биоэлектронных систем в мониторинге состояния экологической безопасности акваторий Финского залива. Региональная экология, № 1 (36), 2015.66-76 с.
- 49) Холодкевич С.В., Шаров А.Н., Чуйко Г.М., Кузнецова Т.В., Гапеева М.В., Ложкина Р.А. Оценка качества пресноводных экосистем по функциональному состоянию двухстворчатых моллюсков. Водные ресурсы. Том 46. № 2. 2019. 209-219 с.
- 50) Холодкевич С.В., Говердовская Л.Г., Иванов А.В., Корниенко Е.Л., Куракин А.С., Федотов В.П. Методология патента датчика физиологической активности беспозвоночных с жестким наружным покровом и система биологического мониторинга окружающей среды на его основе.//[Электронный ресурс]. – URL: <http://poleznayamodel.ru/model/5/52190.html>. Дата обращения: 24.02.2019.
- 51) Холодкевич С. В., Иванов А. В., Корниенко Е. Л., Куракин А. С., Любимцев В. А. Биоэлектронный мониторинг поверхностных вод // Мир измерений. 2011. № 10. С. 6–13.
- 52) Хоружая Т.А. Перспективы использования биохимических функций в биомониторинге пресных вод // Гидробиол. журн. 1989. Т. 25, № 5.С. 47-52.
- 53) Цымбал О.Н. Биологические особенности красно-пестрой и черно-пестрой пород крупного рогатого скота при разведении в условиях аридной зоны Астраханской области: Автореф. дис. канд. биол. наук. — Астрахань, 2014.- 121 с.

- 54) Чуйков Ю.С. Возвращаясь к проблемам каспия (обзор) Ч.2 Астраханский вестник экологического образования № 4 (34) 2015. с. 44-67.
- 55) Шаров А. Н., Холодкевич С. В. О некоторых особенностях использования пресноводных двустворчатых моллюсков при проведении экотоксикологических исследований на основе мониторинга их кардиоритма волоконно-оптическим методом // Принципы экологии. 2015. № 2. С. 23–30.
- 56) Шуйский В. Ф., Максимова Т. В., Петров Д. С. Биоиндикация качества водной среды, состояния пресноводных экосистем и их антропогенных изменений. СПб. Изд-во МАНЭБ, 2000. 19 с.
- 57) Baldwin, I.G., and K.J.M. Kramer. Biological early warning systems (BEWS). In: Biomonitoring of coastal waters and estuaries. CRC Press, 1994, pp. 1–28.
- 58) Bae M.J., Park Y.S. Biological early warning system based on the responses of aquatic organisms to disturbances. Elsevier Science Publishing Company, Inc.2014.p. 635-649.
- 59) Catherine Gonzalez, Philippe Quevauviller and Richard Greenwood. Rapid Chemical and Biological Techniques for Water Monitoring Edited by 2009 John Wiley Sons,Ltd.p 440.
- 60) Chen W.Y, Jou L.J, Chen S.H, Liao C.M. A real-time biomonitoring system to detect arsenic toxicity by valve movement in freshwater clam *Corbicula fl uminea* // Ecotoxicol. 2012. V. 21(4). P. 1177–1187.
- 61) Depledge M.H., Andersen B.B. A computer-aided physiological monitoring system for continuous, long-term recording of cardiac activity in selected invertebrates. // Comp. Biochem. Physiol., V. 96, No. 4, 1990, pp.473-477.

- 62) Diamond, J.M., and T.R. Shedd. Guide for ventilatory behavioral toxicology testing of freshwater fish. American Assoc. // Testing Materials, ASTM draft guide, 1995, p. 14.
- 63) Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official J. Eur. Communities. L. 327. 22. 12. 2000. 72 p.
- 64) Directive 2008/32/EC of the European Parliament and of the Council of 11 March 2008 amending Directive 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy, as regards the implementing powers conferred on the Commission. 77 p.
- 65) Gruber, D., C.H. Frago, and W.J. Rasnake. Automated biomonitors-first line of defence. // J. Aquat. Ecosyst. Health, 1994, V. 3, pp. 87–92.
- 66) Gubelit Y., Polyak Y., Dembska G., Pazikowska-Sapota G., Zegarowski L., Kochura D., Krivorotov D., Podgornaya E., Burova O., Maazouzi C. Nutrient and metal pollution of the eastern Gulf of Finland coastline: sediments, macro algae, microbiota // Sci. Total Environ. 2016.V. 550. P. 806–819.
- 67) [https://studopedia.ru/20\\_88156\\_sistemi-vodootvedeniya-gorodov.html](https://studopedia.ru/20_88156_sistemi-vodootvedeniya-gorodov.html) [интернет ресурс] дата обращения 30.03.2019.
- 68) [https://yandex.ru/images/search?text=anodonta%20%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D1%8E%D1%81%D0%BA%20%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5&pos=231&p=7&img\\_url=https%3A%2F%2Fpresentacii.ru%2Fdocuments\\_4%2Ffb9e2f246ef3da3c fb731404ac6b8d23%2Fimg5.jpg&rpt=simage](https://yandex.ru/images/search?text=anodonta%20%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D1%8E%D1%81%D0%BA%20%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5&pos=231&p=7&img_url=https%3A%2F%2Fpresentacii.ru%2Fdocuments_4%2Ffb9e2f246ef3da3c fb731404ac6b8d23%2Fimg5.jpg&rpt=simage) Интернет ресурс (дата обращения 18.01.2019).
- 69) Kholodkevich S. V., Kuznetsova T. V., Sharov A. N, Kurakin A. S., Lips U., Kolesova N., Lehtonen K. K. Applicability of a bioelectronic cardiac monitoring system for the detection of biological effects of pollution in bioindicator species in the Gulf of Finland // Journal of Marine Systems. 2017. Vol. 171. P. 151–158.

- 70) Kholodkevich S.V., Ivanov A.V., Kurakin A.S., Kornienko E.L., Fedotov V.P., Real time biomonitoring of surface water toxicity level at water supply stations // *Environmental Bioindicators*, 2008, Vol. 3, № 1, pp. 23-34.
- 71) Kramer K. and Edwin M. F. The "Musselmonitor" as Biological Early Warning System. // *Biomonitoring and Biomarkers as Indicators of Environmental Change*. V. 2, pp. 59-87.
- 72) Nemova N.N., Sidorov V.S., Vysotskaya R.U. Integral biochemical index as a tool for the estimation of fish response to environmental pollution in the North aquatic ecosystems // *Environmental Pollution of the Arctic (The second AMAP International Symposium. Rovaniemi, Finland. October 1-4, 2002)*. Rovaniemi. 2002.
- 73) Reynolds C. S. *The Ecology of Phytoplankton*. // Cambridge University Press, 2006, 596 p.
- 74) Von Danwitz, B., E. Blübaum-Gronau, P. Diehl, K.-W. Digel, V. Herbst, L. Höhne, F Krebs, L. Kuchler, M. Marten, M. Pfeiffer, and B. Rechenberg. Recommendation on the deployment of continuous biomonitoring for the monitoring of surface waters. // *Report Landerarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)*, Berlin, 1998, p. 46.
- 75) Wright J. F., Sutcliffe D. W., Furse M. T. *Assessing the biological quality of fresh waters*. The Ferry House, Ambleside, Cumbria LA22 0LP, UK, 2000. 373 p.