

УДК: 577.353.9: 574.24: 57.084

# Сравнительная биоэлектронная диагностика экологического состояния загрязненных акваторий (на примере некоторых протоков дельты Волги)

©2021. С.В. Холодкевич<sup>1,2\*</sup>, М.К. Мотрук<sup>1</sup>, В.А. Любимцев<sup>2</sup>, О.Н. Сулопарова<sup>2,3</sup><sup>1</sup> Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН – обособленное подразделение Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН, Санкт-Петербург, Россия<sup>3</sup> Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии им. Л.С. Берга, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: kholodkevich@mail.ru

Поступила в редакцию 01.03.2021 г.

После доработки 20.03.2021 г.

Принята к публикации 27.03.2021 г.

Объектами биоиндикации экологического состояния служили три протока дельты Волги, расположенные как непосредственно в Астрахани, так и в Астраханской области. Целью работы являлось проведение сравнительной биоэлектронной диагностики экологического состояния выбранных протоков с различной местной как по виду, так и по величине, антропогенной нагрузкой. В основу оценок положено функциональное состояние (здоровье) обитающих здесь двусторчатых моллюсков *Anodonta anatina*, оцениваемое на основе анализа их кардиоритма, измеряемого с помощью оригинальной волоконно-оптической биоэлектронной системы. Было установлено, что *Anodonta anatina*, отобранные из различных акваторий, после односторонней функциональной нагрузки восстанавливают исходную частоту сердечного ритма за разное, но в пределах от 117 до 166 минут, время. Это характерно для моллюсков, обитающих в значительно загрязненных водоемах одного экологического статуса – «Плохой». Такая характеристика акваторий полностью совпадает с характеристикой экологического состояния протоков дельты реки Волги, указанной в государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». Авторами предложена и обоснована возможность использования акватории реки Гандурино в качестве условно референтной для региона дельты Волги. В этом случае по величине коэффициента экологического качества EQR состояние акваторий «Рукав Городской» и «Проток Малый» можно отнести к региональному экологическому статусу «Хороший».

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** оценка состояния прибрежных акваторий; биомаркерные исследования; функциональное состояние животных; биоиндикация; здоровье водных экосистем; частота сердечных сокращений моллюсков; биомониторинг; дельта реки Волги

DOI: 10.17816/phf63741/2713-153X-2021-1-3-84-91

## СОКРАЩЕНИЯ:

EQR – коэффициент экологического качества;

ХПК – химическое потребление кислорода;

БПК<sub>5</sub> – биохимическое потребление кислорода за 5 суток;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

НИЦЭБ РАН – Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук;

КИ<sub>ср</sub> – средняя величина кардиоинтервала;

СКО – среднеквадратичное отклонение;

ЧСС (HR) – частота сердечных сокращений;

Т<sub>восст.</sub> – время восстановления ЧСС;

ЕВРД – Европейская водная рамочная директива.

**ВВЕДЕНИЕ**

Волга – самая протяженная река Европы (3530 км). Она является объектом интенсивного водопользования и антропогенного загрязнения, так как протекает через субъекты РФ с общей численностью населения более 30 млн. человек и судоходна почти на всем своем протяжении. Вдоль ее берегов расположены многие промышленно развитые города, для которых Волга является не только источником централизованного водоснабжения, но и приемником сточных вод.

Такое интенсивное водопользование обуславливает высокое антропогенное воздействие, которое приводит к нарушению структурно-функциональной организации многих акваторий реки, снижению их 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 в нижнем течении Волги в районе Астрахани [1]. Вода участка реки ниже и на территории города характеризуется как «грязная» [2]. 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.

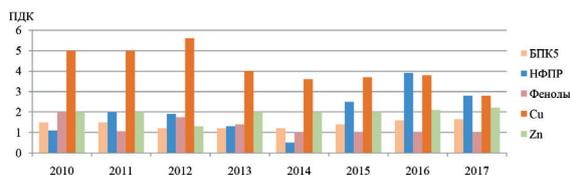


Рис. 1. Динамика среднегодового содержания загрязняющих веществ в р. Волга (г. Астрахань)

Fig. 1. Trends in the average annual concentration of pollutants in the Volga River water (near the city of Astrakhan)

Из диаграммы видно, что в 2015–2017 гг., по сравнению с предыдущими годами, возрос до 3-4 ПДК средний уровень загрязненности воды нефтепродуктами. Среднегодовые концентрации остальных характерных загрязняющих веществ, в основном, колеблются около двух ПДК, а соединения меди достигают трех ПДК.

При этом Волга имеет высокое разнообразие ихтиофауны и важное рыбохозяйственное значение. В ней водится более 70 видов рыб, многие из которых являются промысловыми.

Как указано выше, все протоки в нижнем течении относятся к загрязненным. При этом в дельте реки они подвержены еще и дополнительным факторам местного загрязнения, которые по-разному могут ухудшать их экологическое состояние и состояние местной биоты [3]. Представляло интерес выяснить возможность использования разработанной ранее технологии биоэлектронной диагностики экологического состояния водных экосистем [4, 5] для дифференциации уровня влияния факторов, обусловленных местными загрязнителями этих акваторий, на экологическое состояние протоков дельты Волги.

Цель работы: провести на основе оценок функционального состояния (здоровья) обитающих в реке моллюсков, при использовании биоэлектронных измерительных систем, сравнительный анализ экологического состояния исследуемых протоков с различной антропогенной нагрузкой.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Объектами исследований в настоящей работе служили три протока дельты Волги, расположенные как непосредственно в г. Астрахани, так и в Астраханской области. Исследуемые протоки были выбраны в связи с тем, что региональная антропогенная нагрузка на них значительно различается как по источникам, так и по интенсивности. На рис. 2 стрелками указаны станции отбора моллюсков на выбранных протоках.

Наибольшие концентрации тяжелых и переходных металлов в воде дельты Волги приходятся на медь, цинк и барий. Показатели этих элементов 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 мкг/л;
- свинец, ванадий, никель – менее 10 мкг/л;
- кадмий – менее 1,5 мкг/л;
- ртуть – менее 0,1 мкг/л [6, 7].

Предметом исследования являлось функциональное состояние обитающих в этих акваториях широко распространённых в большинстве рек и озер России двустворчатых моллюсков беззубок *Anodonta anatina* (L., 1758). Длина взрослого моллюска колеблется в пределах 8–12 см, высота 42–63 мм, выпуклость 26–46 мм.

Являясь активными фильтраторами, беззубки способствуют биологическому самоочищению водоемов [8]. Их личинки и молодые особи поедаются рыбами, а мясо и раковины самих беззубок идут на корм домашним животным.

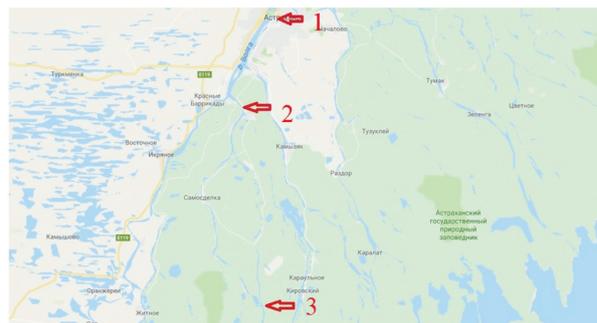


Рис. 2. Станции отбора тест-организмов: 1 – Рукав Городской, 2 – Проток Малый, 3 – река Гандурино

Fig. 2. Stations for the selection of test organisms: 1 – Gorodskaya duct, 2 – Maly duct, 3 – Gandurino River

Координаты станций отбора моллюсков, соответственно:

- станция 1 – 46°22'14.2»N; 48°02'17.1»E;
- станция 2 – 46°11'49.6»N; 47°56'13.3»E;
- станция 3 – 45°51'59.1»N; 47°59'35.8»E.

Рукав Городской (рис. 3) имеет активный водообмен. Берег пологий, максимальная глубина рукава 15 метров. Дно водоема илистое. Течение быстрое, вода не прозрачная, мутная. Уровень антропогенной нагрузки высок в связи с судоходством (здесь расположена организация, занимающаяся перевозкой грузов водным транспортом – «Астрахань Обь-Иртышфлот»). В акватории протока расположен рекреационный объект – городской пляж. В связи с неорганизованным туризмом, во время летнего сезона возможно попадание в проток значительного количества раз-

личного бытового мусора. Чуть выше по течению находится водозабор водопроводной станции города Астрахани.

Сбор моллюсков осуществлялся со стороны острова Городской (на рис. 3 станция отмечена красным кружком).

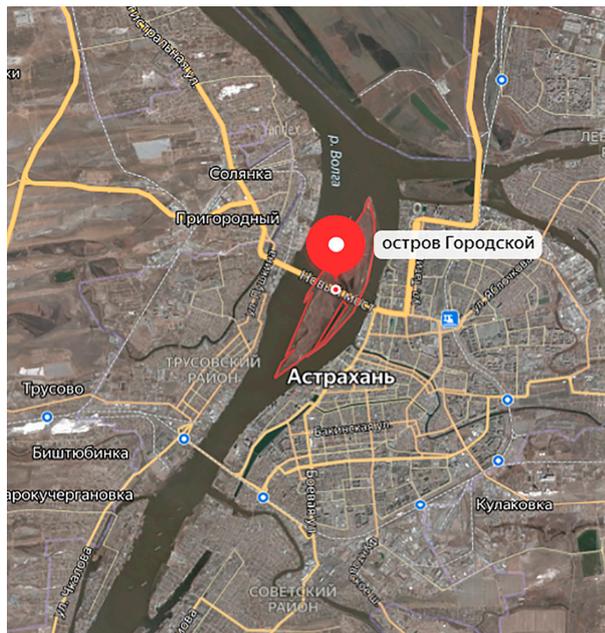


Рис. 3. Рукав Городской, р. Волга  
Fig. 3. Gorodskoy duct of the Volga River



Рис. 4. Рукав Городской, Городской остров  
Fig. 4. Gorodskoyduct, GorodskoyIsland

Проток Малый (рис. 5) обладает высоким водообменом. Берег протока пологий, максимальная глубина до 9 метров. Дно илистое. Течение быстрое, вода прозрачная.

Уровень антропогенной нагрузки достаточно высок, так как выше по течению работает Волго-Каспийский судоремонтный завод. Основными источниками загрязнения от данного вида производства являются:

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

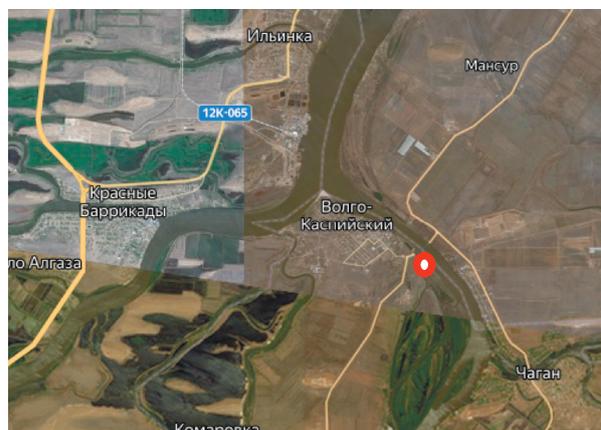


Рис. 5. Проток Малый  
Fig. 5. Maly Duct

Станция сбора моллюсков (отмечена на рис. 5 красным кружком) располагалась со стороны поселка Волго-Каспийский, ниже по течению от судоремонтного завода.

Река Гандурино (рис. 6) имеет активный водообмен. Берег пологий, глубина до 10 метров. Дно водоема илистое. Течение воды быстрое, вода прозрачная.

Поскольку вблизи реки Гандурино отсутствуют какие-либо промышленные объекты и крупные населенные пункты (единственный – пос. Гандурино с населением всего около 300 человек), этот проток может быть отнесен к фоновому, условно референтному участку, так как местная антропогенная нагрузка на него – очень низкая.

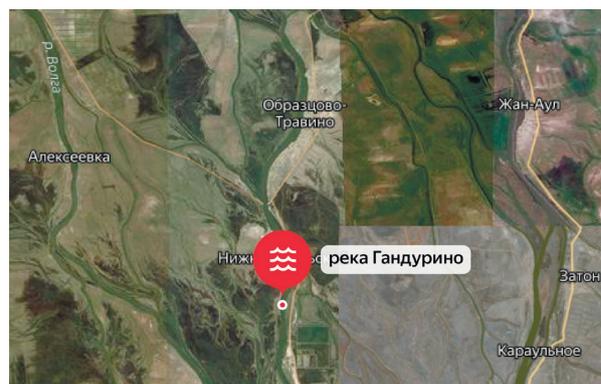


Рис. 6. Река Гандурино (Камызякский район). Станция отбора моллюсков отмечена красным кружком  
Fig. 6. Gandurino River (Kamyzyaksky District). Red marker indicates the station for the selection of mussels

Двустворчатые моллюски *Anodonta anatina* отлавливались вручную с глубины 0,5–1 м в прибрежной зоне описанных выше акваторий. В течение часа после отлова они доставлялись в лабораторию в пластиковых изотермических контейнерах объемом 10 литров.

В лаборатории на створки моллюсков в область проекции сердца наклеивались миниатюрные держатели (рис. 7), в которых затем закреплялись волоконно-оптические зонды (рис. 8) для измерения кардиоактивности с помощью разработанной ранее в НИЦЭБ РАН [9–11] оригинальной биоэлектронной системы (рис. 9).



Рис. 7. Моллюск с наклеенным миниатюрным держателем волоконно-оптического зонда  
Fig. 7. The mussel with miniature fiber-optic probe holder glued



Рис. 8. Моллюски с закрепленными на створках волоконно-оптическими зондами для неинвазивной регистрации их кардиоактивности  
Fig. 8. Mussels with fiber-optic probes attached to the valves for non-invasive recording of the cardiac activity

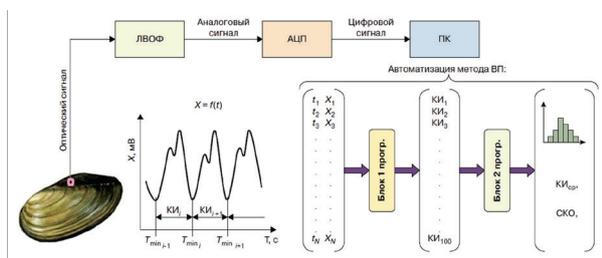


Рис. 9. Блок-схема установки и автоматической обработки хронотропных параметров сердечного ритма моллюска [11]  
Fig. 9. Block diagram of setup and automatic processing of chronotropic parameters of the cardiac activity in a mollusc [11]

Примечание: ЛВОФ – лазерный волоконно-оптический фотоплетизмограф; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ПК – персональный компьютер, КИср – средняя величина кардиоинтервалов; СКО – среднее квадратичное отклонение.

Note: LFOP – laser fiber-optic photoplethysmograph; ADC – analog-to-digital converter; PC – personal computer; Clav – average value of cardiac time intervals; CD – standard deviation.

Повышенное внимание к измерению и анализу кардиоактивности моллюсков обусловлено тем, что сердечно-сосудистая система животных является одной из основных функциональных систем организма, отличается быстротой отклика на все стрессоры, воздействующие на животных, отражает работу других систем организма, а также характеризуется наличием ритмичности.

В качестве физиологических биомаркеров с помощью представленной биоэлектронной системы измеряют в реальном времени следующие характеристики кардиоритма животных:

- частоту сердечных сокращений или ее обратную величину – среднюю величину кардиоинтервала;
- стресс-индекс  $SI = 0,5 \times \text{КИср} \times \text{СКО}$ , где СКО – среднее квадратичное отклонение выборки кардиоинтервалов за 100 или 50 сердечных сокращений [10].

В последние несколько лет на основе использования рассмотренной выше биоэлектронной системы БиоАргус-В была предложена и опробована в лабораторных и полевых условиях технология оценки состояния (здоровья) морских и пресноводных экосистем на основе оценки здоровья обитающих в них моллюсков. Показатель скорости восстановления ритма сердца свидетельствует о функциональных резервах организма и, в случае медленного восстановления ритма или отсутствия такого восстановления, является показателем ранних признаков ухудшения здоровья [12, 13].

Это обусловлено тем, что моллюски обладают высокой чувствительностью и относительно быстро реагируют на загрязнение, защищаясь и изолируясь закрытием створок своих раковин от внешних воздействий. В результате значительно изменяется их кардиоритм, что можно использовать при разработке инструментальных систем и алгоритмов диагностики состояния среды их обитания.

После прикрепления волоконно-оптических зондов моллюски помещались в аквариум с постоянно аэрируемой природной водой из места отбора животных. Затем включали систему непрерывного измерения частоты сердечных сокращений в реальном времени. Животных не кормили, хотя некоторое питание они могли получать во время тестирования из природной воды аквариума. Использовали естественное освещение. Температура воды в ходе экспериментов была аналогичной температуре воды в исследуемых акваториях – 25-26°C.

Тестирование функционального состояния моллюсков проводили после их акклиматизации к лабораторным условиям в течение суток. К этому времени у каждого из моллюсков ЧСС стабилизировалась на своем, индивидуальном, уровне, соответствующем состоянию фильтрации (раскрытые створки) конкретного животного.

Оценка физиологического состояния моллюсков проводилась с помощью метода функциональной нагрузки, подробно описанного в предыдущих работах [4, 5]. В качестве функциональной нагрузки использовалось быстрое повышение солености воды до 6‰ (при повышении концентрации NaCl в воде до 6 г/л) на один час с последующим возвращением тестируемых животных в воду из акватории их отлова. Оценку проводили на основе измерения времени восстановления ЧСС (Твосст.) после смены воды на исходную (природную).

В табл. 1 представлен предложенный в одной из предыдущих работ [5] вариант ранжирования экологического статуса акваторий на основе данных тестирования методом функциональной нагрузки обитающих в них моллюсков.

После тестирования все моллюски оставались живы и возвращались обратно в акватории своего обитания.

Табл. 1.  
Ранжирование экологического статуса водоемов по времени восстановления ЧСС ( $T_{восст.}$ ) моллюсков после снятия функциональной нагрузки

Table 1.  
Ranking the ecological status of water bodies by the heart rate recovery time ( $T_{rec}$ ) in mussels after removal of functional loading

Экологический статус	$T_{восст.}$ (мин)
Высокий	Меньше 50
Хороший	50–70
Посредственный	70–100
Плохой	100–200
Очень плохой	Больше 200

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С каждой станции тестировали не менее 16 моллюсков *Anodonta anatina*.

В табл. 2 представлены  $T_{восст.}$  моллюсков из популяций, обитающих в экосистемах всех трех выбранных акваторий дельты Волги. Из таблицы видно, что во всех акваториях средние величины  $T_{восст.}$  моллюсков заметно превышают величину 100 минут, что, в соответствии с данными табл. 1, характерно для моллюсков, обитающих в водоемах с экологическим статусом «Плохой».

Табл. 2.  
Величины  $T_{восст.}$  для популяций моллюсков в протоках дельты Волги

Table 2.  
 $T_{rec}$  values for mollusc populations in the ducts of the Volga river delta

Наименование протоки	$T_{восст.}$
Река Гандурино	117 ± 4
Проток Малый	166 ± 6
Рукав Городской	141 ± 5
Плохой	100–200
Очень плохой	Больше 200

Следует отметить, что, как указывалось выше, вода реки Волги в нижнем течении, еще до поступления на территорию Астраханской области, уже характеризуется, как «грязная». Поступая в Астраханскую область, протоки Волги имеют дополнительные, местные источники антропогенной нагрузки, разные по уровням и видам загрязнений. Выделение их дополнительных биологических эффектов на фоне эффектов от антропогенного загрязнения воды выше по течению, представляет интерес с точки зрения разграничения трансграничной экологической ответственности за загрязнение Волги между регионами, расположенными в верхнем и нижнем течении реки.

Анализ результатов тестирования моллюсков из реки Гандурино свидетельствует о значительно

более хорошем функциональном состоянии (здоровье) обитающих в ней моллюсков по сравнению с моллюсками Рукава Городской и Протока Малый. Это обусловлено тем, что акватория реки Гандурино является относительно более чистой, чем акватории других двух станций.

К анализу полученных данных можно подойти также на основе использования коэффициента экологического качества EQR, рекомендованного ЕВРД для ранжирования экологического состояния экосистем акваторий [14]. Величина EQR определяется как отношение референтного (фоновое) значения измеряемого биомаркера к наблюдаемому. Значения EQR, близкие к единице, означают высокую степень сходства между наблюдаемыми и референтными (фоновыми) условиями и, как следствие, хорошее экологическое состояние. При этом, в соответствии с ЕВРД, весь диапазон водного объекта можно разделить на пять категорий качества: высокое, хорошее, посредственное, плохое и очень плохое. Для биомаркера  $T_{восст.}$  такое количественное разделение по категориям впервые было предложено в работе «Оценка качества пресноводных экосистем по функциональному состоянию двухстворчатых моллюсков» [5].

На наш взгляд, важным преимуществом возможности ранжирования статуса акваторий по EQR является следующее. Далеко не во всех регионах (особенно там, где рядом отсутствуют особо охраняемые природные территории) можно найти условно чистые акватории, в которых заведомо обитают условно здоровые животные. В связи с этим, для дифференциации акваторий в таких регионах, на наш взгляд, в качестве фоновых можно пользоваться условно референтными акваториями. А именно: акваториями с исторически сложившимися условиями отсутствия антропогенного воздействия, обусловленного местными близкорасположенными загрязнителями.

Учитывая минимальное местное антропогенное воздействие на реку Гандурино, ее, на наш взгляд, можно рассматривать в качестве фоновой, условно референтной для данного региона дельты Волги. В таком случае акватории «Рукав Городской» и «Проток Малый» с точки зрения оценки величин местной антропогенной нагрузки можно относить к региональному экологическому статусу «Хороший» (табл. 3).

Табл. 3.  
Сравнительный экологический статус протоков дельты Волги, определенный по величине показателя экологического качества EQR

Table 3.  
Comparative ecological status of the Volga delta ducts, determined by the value of Ecological Quality Ratio (EQR)

Наименование протоки	Величина показателя экологического качества EQR для дельты Волги	Относительный экологический статус
Река Гандурино	1,0	высокий
Проток Малый	0,70	хороший
Рукав Городской	0,83	хороший

## ВЫВОДЫ

В Государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» [1] вода протоков дельты р. Волги ниже и на территории г. Астрахань характеризуется как «грязная». Настоящее исследование подтвердило это.

Так, было установлено, что пресноводные двустворчатые моллюски вида *Anodonta*, отобранные из различных акваторий, отличающихся по уровню загрязнения местными источниками антропогенного загрязнения, реагируют неодинаково на функциональную нагрузку: кратковременное (одночасовое) воздействие солоноватой воды (6 г/л по NaCl). При этом у особей из более загрязненных мест обитания: «Рукав Городской» (с повышенной местной рекреационной антропогенной нагрузкой) и «Проток Малый» (с повышенной местной антропогенной нагрузкой, обусловленной производственной

деятельностью расположенного в нем судоремонтного завода), – период восстановления ЧСС после смены солоноватой воды на пресную, природную был достоверно продолжительнее, чем у моллюсков из наименее загрязненного из исследованных протоков – реки Гандурино.

Все три исследованных протока соответствовали уровню «Плохой». Однако некоторые моллюски реки Гандурино демонстрировали «посредственное» состояние здоровья.

Вместе с тем, если использовать оценку экологического статуса исследованных акваторий по величине коэффициента экологического качества EQR для дельты Волги, то акватории «Рукав Городской» и «Проток Малый» можно отнести к региональному экологическому статусу «Хороший», а акваторию реки Гандурино – «Высокий». Последнюю можно использовать в качестве условно референтной для региона дельты Волги.

**Работа выполнена в рамках Государственного задания № АААА-А19-119020190122-6 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.**

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». Москва: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. – 888 с.
2. Дедикова, Т.Н. Экологическое состояние реки Волги / Т.Н. Дедикова, П.И. Бухарин // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2015. – № 1 (49). – С. 85–87.
3. Косолапов, Д.Б. Экологическое состояние водохранилищ Волги и Дона методом биоиндикации / Д.Б. Косолапов, В.А. Девисилов, Д.А. Новиков [и др.] // Безопасность в техносфере. – 2018. – Т. 7. – № 2. – С. 3–9.
4. Холодкевич, С.В. Новый методологический подход к оперативной оценке экологического состояния прибрежных морских акваторий / С.В. Холодкевич, Т.В. Кузнецова, А.С. Куракин [и др.] // Известия ТИНРО. – 2018. – Т. 194. – С. 215–238.
5. Холодкевич, С.В. Оценка качества пресноводных экосистем по функциональному состоянию двустворчатых моллюсков / С.В. Холодкевич, А.Н. Шаров, Г.М. Чуйко [и др.] // Водные ресурсы. – 2019. – Т. 46. – № 2. – С. 209–219.
6. Иванов, В.П. Биологические ресурсы Каспийского моря / В.П. Иванов. – Астрахань: Издательство КаспНИИРХ, 2000. – 100 с.
7. Израэль, Ю.А. Проблемы антропогенной экологии / Ю.А. Израэль // Научные аспекты экологических проблем России: коллективная монография / под общей редакцией акад. Ю.А. Израэля и проф. Н.Г. Рыбальского. – Москва: Наука, 2002. – Т. 1. – С. 9–21.
8. Алимов, А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем / А.Ф. Алимов. – Санкт-Петербург: Наука, 2000. – 147 с.
9. Kholodkevich SV, Ivanov AV, Kornienko EL, Kurakin AS, inventors. Method of biological environment monitoring (versions) and a system for realization thereof. US Patent No. 8442809, 2013.
10. Kholodkevich SV, Ivanov AV, Kurakin AS, et al. Real time biomonitoring of surface water toxicity level at water supply stations. *Environmental Bioindicators*. 2008; 3 (1): 23–34. DOI: 10.1080/15555270701885747
11. Холодкевич, С.В. Перспективы и проблемы использования биоэлектронных систем в мониторинге экологической безопасности акваторий Финского залива беспозвоночных / С.В. Холодкевич, А.Н. Шаров, Т.В. Кузнецова // Региональная экология. – 2015. – № 2 (37). – С. 16–26.
12. Turja R, Höher N, Snoeijis P, et al. A multibiomarker approach to the assessment of pollution impacts in two Baltic Sea coastal areas in Sweden using caged mussels (*Mytilus trossulus*). *Science of the Total Environment*. 2014; 473–474: 398–409. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.12.038.
13. Kuznetsova TV, Kholodkevich SV. Comparative assessment of surface water quality through evaluation of physiological state of bioindicator species: searching new biomarkers. *Proceedings of the 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*; 2015 June 14–18; Budva, Montenegro. IEEE, 2015; 339–44. DOI: 10.1109/MECO.2015.7181938.
14. Семенченко, В.П. Экологическое качество поверхностных вод / В.П. Семенченко, В.И. Разлуцкий. – 2-е изд., испр. – Минск: Беларус. наука, 2011. – 329 с.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Сергей Викторович Холодкевич**, д-р техн. наук; профессор кафедры экологической безопасности и устойчивого развития регионов Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия; главный научный сотрудник, заведующий лабораторией биоэлектронных методов геоэкологического мониторинга Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН – обособленного подразделения Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: kholodkevich@mail.ru

**Максим Константинович Мотрук**, магистрант Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: maximotruc@mail.ru

**Василий Алексеевич Любимцев**, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории биоэлектронных методов геоэкологического мониторинга Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН – обособленного подразделения Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: lyubimcev55@mail.ru

**Ольга Николаевна Суслопарова**, канд. биол. наук, советник руководителя Санкт-Петербургского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии им. Л.С. Берга, ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН – обособленного подразделения Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: olga\_susloparova@mail.ru

## ADDITIONAL INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Sergey V. Kholodkevich**, D. Sc. In Engineering, Professor, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia; Chief Researcher, Head of the Laboratory of Bioelectronic Methods for Geo-Ecological Monitoring of Scientific Research Center for Ecological Safety of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia; e-mail: kholodkevich@mail.ru

**Maxim K. Motruk**, Master Student, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia; e-mail: maximotruc@mail.ru

**Vasily A. Lyubimtsev**, Ph.D. in Physics and Mathematics, Senior Researcher of the Laboratory of Bioelectronic Methods for Geo-Ecological Monitoring of Scientific Research Center for Ecological Safety of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia; e-mail: lyubimcev55@mail.ru

**Olga N. Susloparova**, Ph.D. in Biology, Adviser to the Manager, Saint Petersburg branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography” named after L.S. Berg, Leading Researcher of the Scientific Research Center for Ecological Safety of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia; e-mail: olga\_susloparova@mail.ru

**Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.**

# Comparative bioelectronic diagnostics of the ecological state of contaminated water areas (on the example of some ducts of the Volga River Delta)

©2021. S.V. Kholodkevich<sup>1,2\*</sup>, M.K. Motruk<sup>1</sup>, V.A. Lyubimtsev<sup>2</sup>, O.N. Susloparova<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Scientific Research Center for Ecological Safety of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Saint Petersburg branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography" named after L.S. Berg, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: kholodkevich@mail.ru

Received March 01, 2021;

Revised March 20, 2021;

Accepted March 27, 2021

Three Volga river delta ducts located in the city of Astrakhan and the Astrakhan region were chosen as objects for bioindication of the ecological status. The aim of the study was to carry out comparative bioelectronic diagnostics of the ecological status of the branches with different size and type of antropogenic load. The assessment was based on the physiological state (health) of the inhabitants – bivalve mollusc *Anodonta anatine*. The analysis of heart rate of the molluscs was implemented by the fiber-optic bioelectronic system. It has been found that *Anodonta anatine* collected demonstrate different heart rate recovery time after a 1-hour functional loading within 117–166 minutes. This is the case in mussels inhabiting significantly polluted water areas with the "Bad" ecological status. This characteristic of the water areas fully coincides with the ecological status of the Volga river delta ducts, according to the State report "On the state and protection of the environment in the Russian Federation in 2017". In this report, the authors propose and substantiate the possibility of using the water area of the Gandurino River as a conditional reference duct for the Volga river delta region. In this case, by the value of the Ecological Quality Ratio (EQR), the status of the Gorodskoy and Maly ducts may be considered as "Good" regional ecological status.

**KEYWORDS:** assessment of the coastal water areas status; biomarker studies; functional state of animals; bioindication; aquatic ecosystem health; heart rate of mussels; biomonitoring; Volga river delta