

**Мониторинг парков прибрежной зоны Невской губы
с помощью моллюска *Arianta arbustorum***

© 2022. Н. Н. Камардин^{1,2}, д. б. н., в. н. с.,
С. В. Холодкевич^{1,2}, д. т. н., профессор, зав. лабораторией,
В. М. Макеева³, д. б. н., в. н. с.,

¹Научно-исследовательский центр экологической безопасности
Российской академии наук,

197110, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Корпусная, д. 18,

²Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9,

³Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1,

e-mail: nik-kamardin@yandex.ru, kholodkevich@mail.ru, vmmakeeva@yandex.ru

В качестве биоиндикатора накопленного антропогенного загрязнения в парках на побережье Невской губы был использован лёгочный моллюск-вселенец *Arianta arbustorum* (Linnæus, 1758). Измерение концентрации тяжёлых металлов (ТМ) в гепатопанкреасе улиток проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре и атомно-эмисионном спектрометре с использованием индуктивно-связанной плазменной эмиссии. Также было проведено физиологическое исследование терморезистентности улиток из различных прибрежных биотопов, что позволяет сравнивать степень загрязнения в парках на побережье Невской губы. Скорость снижения частоты сердечных сокращений (ЧСС) после выключения теплового воздействия сравнивалась у улиток из посёлка Новая Ропша (референтная локация) с остальными локациями (парки Александрия, Ораниенбаум, Дубки). По накоплению ТМ в гепатопанкреасе улиток выделяется парк Ораниенбаум. Обнаружено достоверное ($p \leq 0,05$) превышение внутритканевой концентрации исследованных ТМ (Cu, Mn, Zn, Ni, Cd, Pb) по сравнению с референтной локацией в п. Новая Ропша и с другими локациями. Потенциальный экологический риск, определённый по Хакансону, в парке Ораниенбаум оценивался как высокий. Терморезистентность улиток из этой загрязнённой ТМ локации характеризуется как низкая, что говорит о возможном нарушении защитной системы белков теплового шока у улиток. Это может уменьшать их способность восстанавливать денатурированные теплоем белки, в том числе и сократительные белки сердца, что обычно приводит к быстрому падению ЧСС у моллюсков из загрязнённых мест.

Ключевые слова: *Arianta arbustorum*, накопление тяжёлых металлов, потенциальный экологический риск, частота сердечных сокращений, терморезистентность.

**Monitoring of parks in the coastal zone
of the Neva bay with the snail *Arianta arbustorum***

© 2022. N. N. Kamardin^{1,2} ORCID: 0000-0002-8803-5691¹

S. V. Kholodkevich^{1,2} ORCID: 0000-0002-7561-9743²

V. M. Makeeva³ ORCID: 0000-0002-4360-5371³

¹St. Petersburg Research Center for Ecological Safety
of the Russian Academy of Sciences,

18, Korpusnaya St., St. Petersburg, Russia, 197110,

²St. Petersburg State University,

7/9, Universitetskaya Embankment, St. Petersburg, Russia, 199034,

³Moscow State University of Lomonosov,

1, Leninskiye gory, Moscow, Russia, 119991,

e-mail: nik-kamardin@yandex.ru, kholodkevich@mail.ru, vmmakeeva@yandex.ru

Analysis of environmental problems, assessment and prediction are closely related to the study of populations of widespread animal species, in our case, of mollusk *Arianta arbustorum* (Linnæus, 1758), mass invasion of which is known

for the Leningrad region and in St. Petersburg since the second half of the 2000 years. The concentration of heavy metals (HM) in snail's hepatopancreas was measured on an atomic absorption spectrophotometer and an atomic emission spectrometer using inductively coupled plasma emission. In order to monitor accumulated anthropogenic pollution in the parks on the coast of the Neva bay the thermoresistance of snails from various coastal biotopes was studied. The rate of decrease in heart rate (HR) after switching off the heat exposure (lasting for 20 minutes) was compared in snails from the village of New Ropsha (reference location) and other locations: Alexandria Park, Oranienbaum Park, Dubki Park. According to the accumulation of HM in the snail's hepatopancreas, in Oranienbaum Park significant ($p \leq 0.05$) excess for all studied HM (Cu, Mn, Zn, Ni, Cd, Pb) was found in comparison with the reference location in the village of New Ropsha and with other locations. The potential environmental risk determined according to Hakanson in Oranienbaum Park was rated as high. The thermoresistance of snails from this location contaminated with HM is characterized as low, which suggests a possible violation of the protective system of heat shock proteins. This may reduce their ability to restore heat-denatured proteins, including contractile proteins of the heart, which usually leads to a rapid drop in HR in mollusks from polluted sites.

Keywords: *Arianta arbustorum*, accumulation of heavy metals, potential environmental risk, heart rate, thermoresistance.

Среди животных и растений известны так называемые «биоиндикаторы накопления тяжёлых металлов», способные в десятки, а иногда и в сотни раз увеличивать концентрацию тяжёлых металлов (ТМ) в своём организме по сравнению со средой и служить надёжными маркерами природных и антропогенных загрязнений [1]. Анализ, оценка и прогноз экологических проблем тесно связаны с изучением популяций широко распространённых видов животных, например, моллюска *Arianta arbustorum* (Linnæus, 1758), массовое расселение которого известно для Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга со второй половины 2000-х гг. [2]. Интерес к этой улитке вызван двумя причинами. С одной стороны, эти моллюски являются удачной моделью успешной инвазии, а, с другой стороны, высокая плотность популяции и широкое распространение позволяют использовать их как биоиндикаторы качества окружающей среды (ОС), как было в случае с кустарниковой улиткой, близкого по экологии вида [3]. Известны работы, посвящённые скорости роста раковины, особенностям генома, изоморфизма ферментов, накопления ТМ в раковине, связанных с антропогенной нагрузкой [4, 5]. Наземные брюхоногие моллюски реагируют на аммиак и сероводород [6] и способны накапливать металлы непосредственно из почвы, независимо от приёма пищи [7]. Улитки являются надёжными биоиндикаторами качества почв, и используются в стандартизированных тестах на токсичность почвы, например, в ISO-15952:2006. Прямое попадание загрязнителей из почвы в моллюска происходит как при каждом контакте, так и во время заглатывания почвы вместе с пищей. Функциональное состояние улиток обычно оценивается по накоплению ТМ в тканях моллюска [8, 9]. Для определения потенциального экологического

риска (RI) часто используется метод, предложенный Хакансоном [10].

Целью работы является оценка состояния парков на северном и южном берегах Невской губы с применением биоиндикаторного животного – лёгочного моллюска *Arianta arbustorum*.

Объекты и методы исследования

Северный и южный берега от устья реки Невы до городов Ломоносов и Репин низкие, покрыты зарослями кустарников. Средняя температура воздуха в июне 20,0 °С, в июле – 24,0 °С, в августе – 23,4 °С. Влажность воздуха колеблется от 60 до 92%, на побережье составляет 90–95%. На рисунке 1 представлена карта-схема Невской губы с участками, на которых проводились мониторинговые исследования с использованием моллюска *A. arbustorum*. Почвы на исследуемой территории суглинистые.

Для древесной улитки известны только две морфы: тёмно-коричневая полосная и светло-жёлтая полосная. Первая является доминантной над рецессивной светлой [11]. Мы использовали взрослые особи коричневой морфы, собранные в обозначенных локациях в период лета – осени 2018 г.

Аналитические методы анализа. Подготовку образцов тканей пищеварительной железы улиток для определения концентрации ТМ проводили следующим образом. Выделенные органы криофиксировали при температуре -23 °С в течение 2–3 недель. Затем размороженные и осушенные фильтровальной бумагой образцы тканей взвешивали на аналитических весах «QNAUS Pioneer» PA214C с точностью до 0,1 мг. Взвешенные образцы помещали в мерные пробирки и добавляли 2 мл 70% HNO₃ «ос. ч» (ГОСТ 30178-96).

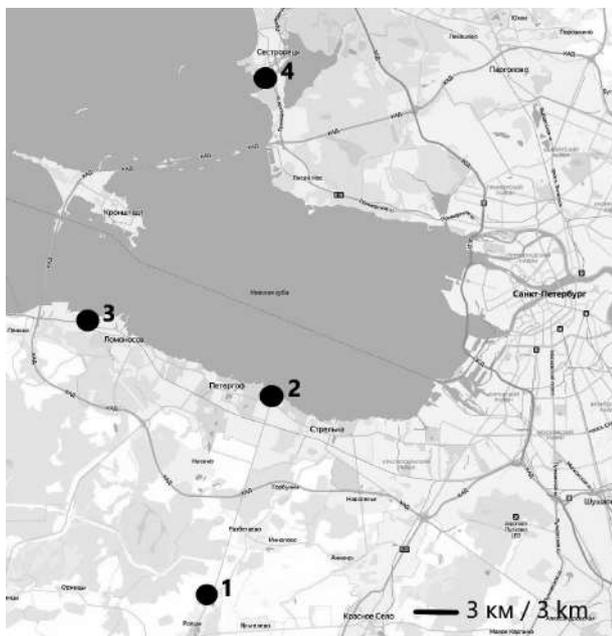


Рис. 1. Карта-схема участков наблюдений: 1 – пос. Новая Ропша; 2 – парк Александрия, г. Петергоф; 3 – парк Ораниенбаумский, г. Ломоносов; 4 – парк Дубки, г. Сестрорецк
Fig. 1. Map scheme of observation sites: 1 – village New Ropsha, 2 – park Alexandria, Peterhof; 3 – Oranienbaum park at the city of Lomonosov; 4 – park Dubki, Sestroretsk

Пробирки с образцами нагревали в сушильном шкафу при температуре 90 °С до полной минерализации образцов. После остывания пробы доводили до объёмов 2 или 5 мл деминерализованной водой, полученной с помощью прибора «Millipore Milli-Q» А-10 производства «Merck» (Германия).

Для определения содержания подвижных форм ТМ в почве сухие пробы грунта помещали в 0,1М HNO₃, нагревали в течение 2–3 ч, интенсивно перемешивая. После охлаждения и отстаивания в течение 2–3 сут при комнатной температуре, надосадочный раствор отделяли от осадка и фильтровали. Измерение концентрации ТМ в тканях улиток и пробах почвы осуществляли на атомно-абсорбционном спектрофотометре (ААС) фирмы «SHINADZUA-7000» (Япония) с термоатомизатором и микродозатором проб, а также атомно-эмиссионном спектрометре «SHINADZU ICPE-9000» (Япония) с использованием индуктивно-связанной плазменной эмиссии (ИСП АЭС). Перед измерением строили калибровочную кривую мультикомпонентного стандарта производства «MERCCK» в 0,1н HNO₃. Результаты выражали в миллиграммах на килограмм влажного веса (мг/кг в. в.).

Определение индекса потенциального экологического риска проводили с использованием метода Хакансона [10] по формуле:

$$E_{ir} = \frac{T_{ir} \cdot C_{if}}{C_{if}}, \quad C_{if} = \frac{C_i}{C_n},$$

где E_{ir} – индекс потенциального экологического риска для отдельного металла; C_{if} – фактор загрязнения, вычисленный как отношение концентрации металла в объекте (C_i) к референтной концентрации металла в почве (C_n); T_{ir} – токсический фактор отдельного металла, адаптированный Хакансоном [10] (5 – для Pb и Cu; 1 – для Zn; 30 – для Cd; 6 – для Ni). Индекс потенциального экологического риска (RI) всех факторов вычислялся как сумма отдельных индексов E_{ir} .

Метод регистрации кардиоактивности.

Кардиоактивность записывали в режиме online, используя оригинальный неинвазивный метод [12]. К раковине моллюска над областью сердца прикрепляли миниатюрный датчик, соединявшийся волоконно-оптическим кабелем с фотоплетизмографом, аналоговый сигнал с которого через аналого-цифровой преобразователь поступал на персональный компьютер, в котором с помощью программы «VarPulse» в реальном времени измеряли временные тренды частоты сердечных сокращений (ЧСС). Полученные значения архивировались в виде TXT файлов [12].

Метод стандартизованной функциональной нагрузки (теплового шока). Экспериментальная установка для тестирования моллюсков с использованием теплового воздействия (так называемого «теплового шока») в качестве функциональной нагрузки моллюсков состояла из цилиндрического прозрачного террариума диаметром 30 см и высотой 45 см. Опыты проводили после суточной акклиматации к условиям террариума и температуре в лаборатории 22 °С. Животных кормили свежей зеленью и огурцами *ad libitum*.

В верхней части террариума был вмонтирован модернизированный электрический фен, позволяющий быстро, в течение 5 мин, поднимать температуру воздуха в террариуме от комнатной до 50,0±1,0 °С и поддерживать её длительное время. Контроль над температурой осуществляли с помощью термопары, соединённой милливольтметром.

Статистическая обработка результатов.

Числовые значения ЧСС представляли в виде суточных кривых, на которых выбирали участки с термическим воздействием. Для этих участков за 1 ч до воздействия и 2–3 ч после

него записывали максимальные значения ЧСС с кривой с интервалом 5–15 мин, а затем обрабатывали статистически с помощью программ: Microsoft Excel, Статистика 6.0 и Призма 3.0. Средние арифметические значения ЧСС по нескольким моллюскам представляли в виде графиков и гистограмм с нанесёнными значениями стандартной ошибки среднего. В области изменения динамики ЧСС у животных из предположительно загрязнённых биотопов, по сравнению с референтными, контрольными, проводили анализ средних по методу Вилкоксона и используя *t*-тест. За достоверные принимали значения средних при уровне значимости $p \leq 0,05$. Тот же метод, а также критерий *F* Фарадея применяли для определения достоверности различий измеренных концентраций ТМ в гепатопанкреасе улиток.

Результаты и обсуждение

Для мониторинга экологического состояния береговых зон Невской губы были использованы ИСП ФЭС и ААС методы. В таблице 1 представлены результаты этих исследований.

Из данных таблицы 1 видно, что по накоплению ТМ в гепатопанкреасе улиток выделяется парк Ораниенбаум, расположенный в старинной усадьбе А. Меншикова. Здесь у улиток-биоиндикаторов обнаружено достоверное ($p \leq 0,05$) превышение концентрации всех исследованных металлов (Cu, Mn, Zn, Ni, Cd, Pb) по сравнению с концентрациями ТМ в референтной локации в посёлке Новая Ропша. Кроме этого, накопление ТМ в тканях улиток, обитающих здесь, превосходит эти величины и для других локаций. Исключение составляет парк Дубки, где концентрация Zn и Cd выше, чем в парке Ораниенбаум (табл. 1).

Медь является необходимым для жизнедеятельности организмов микроэлементом. Концентрация Cu у улиток *A. arbustorum* составляет 3–12 мг/кг в. в., что соответствует порядку данных, полученных для наземных моллюсков, в частности, для большого слизня [13]. Данная величина, очевидно, отражает количество гемоцианина, примерно одинаковое у моллюсков одного веса – 2,0 г. Найденные концентрации меди не являются токсичными для моллюсков, но при хроническом воздействии (5–6 лет) могут изменять клеточную проницаемость потенциал образующих ионов (Na^+ и K^+) и ингибировать фосфодиэстеразу, включённую в циклы АМР и ГМР_{цикл} [14]. Концентрация Mn в пищеварительной железе моллюсков *A. arbustorum* составляет около 40–80 мг/кг в. в., она примерно такая же, как у *Helix aspersa* (33–130 мг/кг в. в.) при искусственном содержании [15]. Найденные концентрации марганца не являются токсичными для моллюсков.

В референтной локации (пос. Новая Ропша) содержание Cd в пищеварительной железе улитки *A. arbustorum* составляет $0,05 \pm 0,01$ мг/кг, имеет тот же порядок, что в печени моллюска *H. aspersa* [15]. Повышение концентрации Cd в пищеварительной железе моллюсков на всех исследованных локациях не превосходит ОДК для суглинистых почв (1,0 мг/кг). Сравнение с ПДК и ОДК для почв использовали с целью выявления возможного источника поступления ТМ в организм улитки. Это позволяет примерно судить о величине возможного накопления ТМ и степени опасности его для животного. Учитывая, что содержание Cd в пищеварительной железе улитки *A. arbustorum* значительно ниже ОДК, можно предположить, что Cd не проявляет сильного токсического воздействия на *A. arbustorum*. Однако, накапливаясь в тканях в течение жизни, ТМ могут

Таблица 1 / Table 1
Концентрация тяжёлых металлов в пищеварительной железе улиток (мг/кг в. в.)
Heavy metals concentration in the digestive gland of snails (in mg/kg w. w.)

Название Designation	<i>n</i>	Cu	Mn	Zn	Ni	Cd	Pb
Пос. Новая Ропша Village New Ropsha	10	3,8±1,8	43,0±1,4	6,4±0,8	0,3±0,1	0,05±0,01	0,33±0,18
Парк Александрия Park Alexandria	10	6,0±0,6	57,0±3,3	5,7±1,4	0,26±0,01	0,15±0,01	0,39±0,11
Парк Ораниенбаум Park Oranienbaum	10	12,0±0,5	80,0±0,7	6,8±0,4	1,20±0,06	0,49±0,20	0,49±0,16
Парк Дубки Park Dubki	5	5,6±0,2	37,7±0,6	21,0±2,5	0,52±0,10	1,10±0,05	0,76±0,16

Таблица 2 / Table 2

Концентрация подвижных соединений тяжёлых металлов в почве исследованных локаций в мг/кг с. в.
Concentration of heavy metals mobile compounds in the soil of the studied locations in mg/kg d. w.

Название Designation	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb
Посёлок Новая Ропша Village New Ropsha	2,8±1,2	1,5±0,7	0,22±0,07	0,06±0,01	0,24±0,12
Парк Александрия Park Alexandria	2,8±0,8	1,3±0,5	0,17±0,01	0,22±0,01	0,20±0,10
Парк Ораниенбаум Park Oranienbaum	1,4±0,5	0,15±0,10	1,71±0,05	0,06±0,01	0,18±0,09
Парк Дубки Park Dubki	5,4±1,0	1,8±0,5	0,73±0,10	0,20±0,03	0,20±0,08

Таблица 3 / Table 3

Потенциальный экологический риск / Potential environmental risk (RI)

Название Designation	C_i/C_n					RI
	Cu	Zn	Ni	Cd	Pb	
Посёлок Новая Ропша Village New Ropsha	3,04	4,2	1,36	0,83	1,35	53,96
Парк Александрия Park Alexandria	2,14	4,56	1,52	0,68	1,95	54,53
Парк Ораниенбаум Park Oranienbaum	8,57	45,3	0,70	8,16	2,72	350,7
Парк Дубки Park Dubki	1,04	11,19	0,71	1,83	3,8	94,3

вызвать явные нарушения в ферментативной деятельности и синтезе ДНК.

Известно, что Ni принимает участие в ферментативных реакциях у животных и растений. Повышенное содержание Ni в почвах приводит к заболеваниям растений: изменению цвета листьев, плодов, а у животных – к замедлению роста и размножения, увеличению смертности [16]. Повышение концентрации Ni в пищеварительной железе улиток на всех исследованных участках не превосходит ОДК для суглинистых почв (20 мг/кг) и, следовательно, не вызывает заметных физиологических изменений. Однако нельзя пренебрегать синергетическим эффектом всех обнаруженных у улиток ТМ, которые в отдельности не превосходят допустимых концентраций, но, суммируясь, могут приводить к видимым нарушениям жизненно важных функций, таких как сердечная активность и систем её регуляции.

Для определения потенциального экологического риска (RI) мы использовали метод, предложенный в [10]. Для этого необходимы данные о загрязнении почвы. В таблице 2 представлены данные концентрации подвижных форм ТМ в почве локаций, где были собраны улитки.

Порядок данных, полученных нами, соответствует опубликованному ранее для почв районов г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области [17].

Соотношение C_i/C_n – загрязняющий фактор и RI – коэффициент потенциального экологического риска представлены в таблице 3. По данным Хакансона [10], основывающимся на вычислении RI в данной локации, при $RI \leq 100$ потенциальный риск низкий, при $100 \leq RI \leq 220$ – умеренный, при $220 \leq RI \leq 440$ – высокий, а при $RI > 440$ – очень высокий. В таблице 3 представлены значения RI для исследованных локаций. Во всех парках потенциальный экологический риск низкий, кроме парка Ораниенбаум, где он может быть оценён как высокий (табл. 3).

Физиологические опыты проводили в сентябре – октябре 2018 г. Улитки *A. arbustorum* крупного размера (2,0–2,5 см) полосатой морфы с коричнево-красной окраской раковины преобладают в этой популяции. После отбора и взвешивания на моллюсков наклеивали миниатюрные держатели, в которые закрепляли волоконно-оптические датчики для измерения ЧСС, и помещали в экспериментальную установку.

Парк Ораниенбаум (г. Ломоносов). При температуре в помещении 22 °С, средняя

ЧСС варьировала от 30 до 50 уд./мин и была относительно стабильна. Включение воздушного нагрева приводит к повышению ЧСС у улиток *A. arbustorum* из референтной точки (п. Новая Ропша), которое сохраняется всё время воздействия тепла (высокая терморезистентность). Выключение нагрева постепенно снижает температуру в террариуме и приводит к восстановлению ЧСС (рис. 2). Иначе реагируют на тепловой шок животные из парка Ораниенбаум. Эти моллюски хуже переносят кратковременный нагрев, начиная снижать ЧСС, часто ещё до выключения теплового стресса (рис. 2). Причём такая реакция наблюдается у большинства животных группы, которые демонстрируют пониженную терморезистентность. Статистическая обработка данных показала высокую достоверность ($p \leq 0,01$) реакции снижения ЧСС на момент выключения тепла у животных из загрязнённого биотопа (канал парка Ораниенбаум).

В момент выключения нагрева величины средней арифметической по 6 моллюскам из п. Новая Ропша (референтный участок) составила 87 ± 4 уд./мин, а животных из предположительно загрязнённого биотопа (берега канала парка Ораниенбаум) – 50 ± 5 уд./мин. Средние достоверно отличаются по t -тесту при уровне значимости $p \leq 0,05$ и критерию Вилкоксона при $p \leq 0,01$.

Парк Александрия (г. Петродворец). Моллюски *A. arbustorum*, собранные в траве около

павильона Коттедж, характеризуются преобладанием монохромных (коричневых) полосных форм. Незначительное накопление ТМ в тканях улиток и высокая терморезистентность показывают, что их функциональное состояние лучше, чем у животных из парка Ораниенбаум. В момент выключения нагрева величина средней арифметической по 6 моллюскам из парка Александрия составила 65 ± 11 уд./мин, а у животных из загрязнённого биотопа (парк Ораниенбаум) – 50 ± 7 уд./мин. Средние достоверно отличаются по t -тесту при уровне значимости $p \leq 0,05$ и критерию Вилкоксона при $p \leq 0,05$.

Парк Дубки. Парк Дубки располагается на северо-восточном побережье Финского залива. Растительный покров не отличается от парка Петродворца. Улитки *A. arbustorum* имели крупный размер (2–2,5 см) и коричнево-красную окраску раковины. Включение воздушного нагрева приводит к повышению ЧСС у улиток из парка Дубки, так и из п. Новая Ропша, которое сохраняется всё время воздействия тепла, демонстрируя высокую терморезистентность у животных из обеих групп. Выключение нагрева приводит к снижению ЧСС. Величины средних ЧСС после выключения тепла достоверно не отличаются.

Заключение

Наши исследования выявили низкую терморезистентность у улиток, собранных

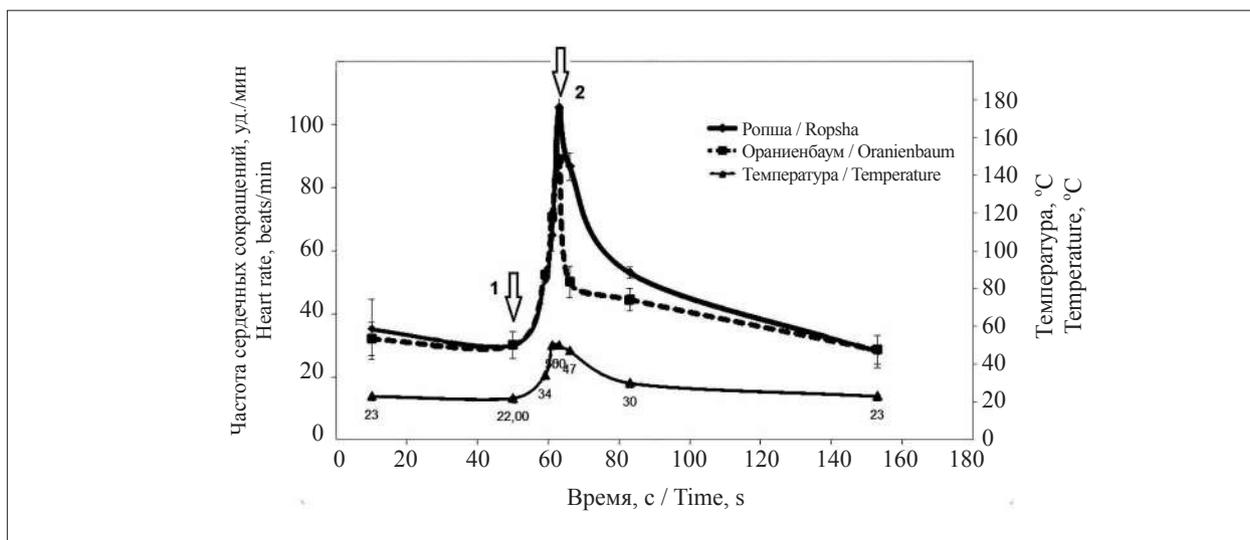


Рис. 2. Изменения средней ЧСС ($n = 6$) при 20 мин тепловом шоке у контрольных моллюсков (п. Новая Ропша) и предположительно загрязнённого биотопа (канал парка Ораниенбаум).

Нижняя кривая – изменение температуры. Вертикальные линии над точками – стандартное отклонение средней. Включение нагрева – 1; выключение нагрева – 2

Fig. 2. Changes in mean heart rate ($n = 6$) at a 20-minute heat shock in control mollusks (village Novaya Ropsha) and presumably contaminated biotope (channel of Oranienbaum park, dashed). The bottom curve is the temperature change. The vertical lines above the dots are the standard deviation of the mean. Heating on – 1; heating off – 2

по берегам канала парка Ораниенбаум, что связано с повышенным содержанием ТМ в гепатопанкреасе улиток, обитающих в зоне потенциально высокого экологического риска. Как правило, ТМ являются не единственными загрязнителями в этой локации. Расположенная недалеко оживлённая автомобильная трасса может являться источником органических загрязнителей, которые, накапливаясь в почве и растительности, также могут попадать в организм улиток.

Таким образом, определение терморезистентности по динамическим параметрам ЧСС является достаточно чувствительным методом определения измерения функционального состояния животных-биоиндикаторов, на основе которого можно, на наш взгляд, судить об антропогенном воздействии в исследованной локации. При этом, как показали наши исследования, полученные данные хорошо коррелируют с данными, полученными стандартными аналитическими методами определения концентрации ТМ в тканях животных-биоиндикаторов и результатами вычисления потенциального экологического риска.

Работа выполнена на научном оборудовании Ресурсного центра «Обсерватория экологической безопасности» и «Центра химического анализа и материаловедения» Научно-исследовательского парка Санкт-Петербургского государственного университета.

References

1. Shalanki I. Biomonitoring of the natural environment // Journal of General Biology. 1985. V. 46. No. 9. P. 743–752 (in Russian).
2. Bondareva O.V., Orlova M.I., Abramson N.I. Genetic variability of the wood snail *Arianta arbustorum* L. in the Leningrad region according to the analysis of a fragment of the COI mitochondrial gene sequence // Ecological Genetics. 2016. V. 14. No. 2. P. 19–27 (in Russian). doi: 10.17816/ecogen14219-27
3. Zeifert D.V., Khokhutkin I.M. Ecology of the bush snail *Fruticocola fruticum*. Moskva: KMK Scientific Publishing Association, 2009. 92 p. (in Russian).
4. Makeeva V.M., Belokon M.M., Malyuchenko O.P. Assessment of the state of the gene pool of natural populations of invertebrates in the fragmented landscape of Moscow and the Moscow region (by the example of a bush snail, *Bradybaena fruticum* (Mull.)) // Genetics. 2005. No. 11. P. 1495–1510 (in Russian). doi: 10.1134/S1022795406050073
5. Snegin E.A. Ecological and genetic aspects of the distribution of *Bradybaena fruticum* (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata) in the elements of the forest-steppe landscape // Ecology. 2005. No. 1. P. 39–47 (in Russian). doi: 10.1007/s11184-005-0006-1
6. Kholodkevich S.V., Kamardin N.N., Lyubimtsev V.A., Ivanov A.V., Kornienko E.L. Bioindication of air pollution based on biomarkers of the cardiorespiratory system of the mollusk *Achatina fulica* // Doklady akademii nauk. 2010. V. 430. No. 5. P. 715–717 (in Russian). doi: 10.1134/S0012496610010187
7. Vaufleury A.G.D., Pihan F. Methods for toxicity assessment of contaminated soil by oral or dermal uptake in land snails: metal bioavailability and bioaccumulation // Environ. Toxicol. Chem. 2002. V. 21. P. 820–827. doi: 10.1897/1551-5028(2002)021<0820:mftaoc>2.0.co;2
8. Dallinger R., Berger B., Triebkorn-Köhler R., Köhler H. Soil biology and ecotoxicology // The Biology of Terrestrial Molluscs / Ed. G.M. Barker. Wallingford: CABI Publ., 2001. P. 489–525. doi: 10.1007/s00253-010-2632-1
9. De Vaufleury A., Coeurdassier M., Pandard P., Scheifler R., Lovy C., Crini N., Badot P.M. How terrestrial snails can be used in risk assessment of soils // Environ Toxicol Chem. 2006. V. 25. P. 797–806. doi: 10.1897/04-560r.1
10. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach // Water Res. 1980. V. 14. P. 975–1001. doi: 10.1016/0043-1354(80)90143-8
11. Cook L.M., King J.M.B. Some data on the genetics of shell-character polymorphism in the snail *Arianta arbustorum* // Genetics. 1966. V. 53. No. 3. P. 415–425. doi: 10.1093/genetica/53.3.415
12. 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. V. 3. No. 1. P. 23–34. doi: 10.1080/15555270701885747
13. Oganesyan I.S., Khachatryan K.S., Arutyunova L.D. Dynamics of accumulation of heavy metals in the body of mollusks (Mollusca, Limacidae) in Vanadzor // Biological Journal of Armenia. 2011. V. 3. No. 63. P. 43–48 (in Russian).
14. Berridge M.J., Irvine R.F. Inositol phosphates and cell signalling // Nature. 1989. V. 341. P. 197–205.
15. Bordean D-M., Nika D.V., Yarmanescu M., Banatean-Dunea I., Garsen I.I. Soil manganese enrichment from industrial inputs: A gastropod perspective // PloSONE. 2014. V. 9. No. 1. Article No. e85384. doi: 10.1371/journal.pone.0085384
16. Scott-Fordsmand J.J. Toxicity of nickel to soil organisms in Denmark // Reviews of Environmental Contamination and Toxicology: Continuation of Residue Reviews / Eds. G.W. Ware, H.N. Nigg, A. Bevenue. New York: Springer, 1997. P. 1–34. doi: 10.1007/978-1-4612-2264-4_1
17. Report on the sanitary-epidemic situation in the Leningrad region in 2001. The results of laboratory research of the soil on the territory of the Leningrad region. P. 7–54 [Internet recourse] http://www.medline.ru/public/art/tom3/art4_12.phtml (Accepted: 21.01.2001) (in Russian).