

изоляции лобовых частей их обмоток с открытыми головками секций. Так как эти двигатели работают в тяжелых природных условиях (дождь, снег, перепады температур и т. д.)

### Литература

1. Смирнов, В. П. Непрерывный контроль температуры предельно нагруженного оборудования электровоза / В. П. Смирнов. – Иркутск: Изд-во иркутского гос. ун-та, 2003. – 328 с.

2. Худоногов, А. М. Анализ надежности изоляции обмоток электрических машин тягового подвижного состава с учетом особенностей климатических условий внешней среды / А. М. Худоногов, Д. А. Оленцевич, В. В. Сидоров, Е. М. Лыткина // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2009. – № 2. – С. 232–236.

3. Инструкция по ремонту завода «Ўзтемирйўлмаштамир» УК в АО «УзЖД» от 16.01.2016, № 74. – 2016. – 13 с.

4. Иванов, В. Н. Надежность электрических машин тягового подвижного состава / В. Н. Иванов, Д. В. Коноваленко, Д. А. Оленцевич, В. В. Сидоров, Е. М. Лыткина // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2008. – № 1. – С. 196–198.

УДК 556.5:556.114:001.891

### Использование легочных пресноводных моллюсков для биомониторинга поверхностных вод

Чиркин А. А., Балаева-Тихомирова О. М., Кацнельсон Е. И., Пинчук П. Ю.  
Витебский государственный университет им. П. М. Машерова,  
Витебск, Республика Беларусь

*Легочные пресноводные моллюски *Lymnaea stagnalis* и *Planorbis* чувствительны к действию неблагоприятных экологических факторов в водных средах обитания. Впервые у них описаны изменения по типу метаболического синдрома, развивающегося у человека при действии стрессовых факторов. Выявленные реакции у моллюсков могут моделировать метаболические изменения у человека от загрязненных поверхностных вод благодаря гомологии 120 ферментов у человека и моллюска *Biomphalaria glabrata*, имеющего аннотированный геном.*

С 12.04.2022 г. вступают в силу изменения в Водный кодекс Республики Беларусь. Существующая законодательная база обеспечивает надлежащий контроль за сохранением экологического и биоэкологического кон-

троля поверхностных вод Республики Беларусь. В последние годы наметился подход к более широкому использованию гидробионтов для оценки биологического компонента экологического состояния водных сред их обитания. Так в Европейском Союзе в 2010 году в качестве тест-организма для биоиндикации химического и иного загрязнения природных вод принят легочной пресноводный моллюск *Lymnaea stagnalis*, у которого многие метаболические процессы, например, синтез стероидных гормонов, аналогичны таковым у человека [1]. Недостатком этого тест-организма является то, что транспорт кислорода в гемолимфе осуществляется медьсодержащим гемоцианином, который обладает худшими по сравнению с железосодержащим гемоглобином свойствами. Поэтому на протяжении последних семи лет в нашей лаборатории разрабатывался способ оценки биоэкологического состояния водоемов посредством анализа биохимических показателей гемолимфы и гепатопанкреаса двух видов легочных пресноводных моллюсков *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus*. У последнего вида транспорт кислорода в гемолимфе осуществляется железосодержащим гемоглобином, т. е. как у человека.

Было проведено одновременное биохимическое исследование образцов гемолимфы и тканей гепатопанкреаса у этих двух видов легочных пресноводных моллюсков с последующей оценкой биоэкологического состояния водоемов путем их ранжирования в зависимости от биохимических показателей гемолимфы и гепатопанкреаса в пределах 7 рангов (от 1 – самое низкое значение показателя, до 7 – самое высокое значение показателя). В результате обследованные озера можно было сравнить по суммарной величине рангов группы показателей. Однако остался нерешенным вопрос о том, насколько специфичны выявленные биохимические изменения у моллюсков для человека [2, 3].

При анализе результатов было обращено внимание, что в гемолимфе некоторых моллюсков обнаруживались изменения, похожие на признаки метаболического синдрома у человека. Метаболический синдром (МС) является одной из ведущих причин случаев внезапной смерти в состоянии видимого здоровья. Расшифровка биохимических механизмов развития и создания критериев выявления МС рассматривается скорее, как биологическая проблема, поскольку возникновение компонентов этого синдрома тесно сопряжено с общими негативными явлениями урбанизации общества, в том числе и загрязнений поверхностных вод. Минимальный перечень рутинных признаков метаболического синдрома у человека включает повышенную массу тела, повышенное артериальное давление, повышенное содержание в крови глюкозы и триглицеридов и сниженное содержание липопротеинов высокой плотности. В качестве экспериментальных моделей МС используются животные с каким-либо генетическим дефек-

том, приводящим к развитию различных патологических изменений, характерных для МС у людей. Чаще всего используют следующих животных: крысы Zucker с ожирением и сахарным диабетом 2-го типа, спонтанно-гипертензивные крысы с ожирением, мыши *db/db* и другие млекопитающие. Кроме того, существуют методики по индукции этих нарушений путем внешних воздействий – химических препаратов и/или диеты [4].

Цель исследования: 1) выявить особенности транспорта липидов и содержания глюкозы в гемолимфе двух видов легочных пресноводных моллюсков, отличающихся по характеру транспорта кислорода, для оценки биоэкологического состояния водных сред обитания и возможности моделирования метаболического синдрома; 2) провести сравнительный анализ степени гомологии ферментов у человека и ближайшего родственника *Planorbarius corneus* легочного пресноводного моллюска *Biomphalaria glabrata*, для которого известен аннотированный геном.

**Материал и методы.** Опыты поставлены на 100 легочных пресноводных моллюсках, разделенных на две группы: 50 особей *Lymnaea stagnalis* (прудовик) и 50 особей *Planorbarius corneus* (роговая катушка). Моллюски собирались в летне-осеннем периоде, поскольку в это время стабилизируются морфометрические и биохимические параметры животных. Моллюски были собраны в пяти водоемах Витебской области: р. Витьба в черте г. Витебска и в озерах Будовесь, Афанасьевское, Дубровское и Селявское. Река Витьба перегорожена плотиной, что сформировало слабо проточный водоем с очевидными последствиями антропогенной нагрузки. Озеро Селявское отличается чистотой из-за практически полного отсутствия водостоков из ферм и населенных пунктов и рассматривается в данной работе как контрольный водоем. Все моллюски взвешивались на весах Scout Pro и в полученных образцах гемолимфы определяли содержания общего холестерина, холестерина липопротеинов высокой плотности (ХС ЛПВП), триглицеридов и глюкозы с помощью стандартных наборов НТПК «Анализ-Х». Поиск и отбор нуклеотидных последовательностей, кодирующих белки человека, осуществлялся на сервере <https://www.ensembl.org>; поиск гомологичных последовательностей для моллюска *Biomphalaria glabrata* осуществлялся на сервере <https://www.ncbi.nlm.nih.gov> при помощи ресурса BLAST; описание белков для человека было взято с ресурса <https://www.uniprot.org>; парное выравнивание и сравнение последовательностей человека и моллюсков выполнено в программе MEGA 5.2; построение 3D-структур ферментов для моллюсков осуществлялось на сервере <https://swissmodel.expasy.org> по шаблону 3D-структуры ферментов человека, найденных в банке данных трехмерных структур белков и нуклеиновых кислот <http://www.rcsb.org>. В работе использован следующий алгоритм: поиск нуклеотидной последовательности → построение аминокислотных после-

454

довательностей сравниваемых белков → их парное выравнивание и оценка степени гомологии первичных структур NS (нуклеотидные последовательности) AAS (аминокислотные последовательности) → оценка третичных структур по архитектуре молекул и их доменной организации [2, 5]. Содержание исследованных компонентов гемолимфы выражали в ммоль/л, а массы тела в г. Все полученные материалы вводились в электронные таблицы и обрабатывались методом параметрической вариационной статистики по Стьюденту.

**Полученные результаты и обсуждение.** Для общей оценки состояния метаболизма в организме целесообразно определить количество одного из конечных продуктов. Таким продуктом может быть холестерол, который представляет собой конечную молекулу, выделяемую из организма в виде желчных кислот. Следует отметить, что на базе холестерола формируются также важнейшие низкомолекулярные биорегуляторы: глюкокортикоиды, минералокортикоиды, половые гормоны, витамин D и кальцитриол. В конце 60-х и начале 70-х годов XX века было показано, что легочные пресноводные моллюски *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus* способны синтезировать вещества стероидной природы из ацетата [1]. Холестерол плохо растворим в воде, поэтому он выделяется с желчью, а не с мочой. В связи с этим целесообразно определить содержание одной из важнейших транспортных форм данного стероида – липопротеинов высокой плотности. Учитывая, что в данной работе исследуются долгосрочные эффекты адаптации моллюсков к вредным компонентам водной среды обитания, необходимо было также изучить наличие краткосрочных и долгосрочных резервов энергии, а именно содержание глюкозы и триглицеридов [2]. Все эти показатели имеют отношение к метаболическому синдрому, вызванному развитием инсулинорезистентности.

В результате проведенных исследований установлено, что общим типом изменений транспорта липидов у обоих видов легочных пресноводных моллюсков по сравнению с моллюсками из контрольного водоема оз. Селявское является снижение содержания общего холестерола и холестерола липопротеинов высокой плотности. Кроме того, в гемолимфе *Lymnaea stagnalis*, обитающих в обследуемых водоемах по сравнению с обитающими в оз. Селявское повышено содержание триглицеридов. Эти данные свидетельствуют о том, что в обследованных водоемах Витебской области имеются загрязнения, вызывающие, вероятно, усиленный синтез стероидных гормонов из холестерола (признак хронического стресса, направленного на активацию глюконеогенеза) и начальные стадии повреждения печени, ведущие к ослаблению обратного транспорта холестерола из периферических тканей в составе липопротеинов высокой плотности. Повышение уровня триглицеридов в гемолимфе *Lymnaea stagnalis* являет-

ся, по всей видимости, результатом мобилизации долгосрочных липидных резервов в условиях снижения содержания глюкозы. У моллюсков из озера Дубровское выявлены 3 критерия метаболического синдрома: повышение массы тела и уровня триглицеридов на фоне уменьшения холестерина липопротеинов высокой плотности. Проведенные исследования также показали, что у *Planorbarius corneus*, обитающих в оз. Будовесть, выявлены 3 критерия метаболического синдрома – повышение массы тела и уровня глюкозы на фоне снижения холестерина липопротеинов высокой плотности. У моллюсков из оз. Афанасьевское – 2 критерия (повышение уровня триглицеридов и снижение ХС ЛПВП), у моллюсков из оз. Дубровское – 2 критерия (повышенная масса тела на фоне снижения ХС ЛПВП при нормальном уровне глюкозы) и у моллюсков из реки Витьба – 2 критерия (повышенный уровень глюкозы и сниженное содержание ХС ЛПВП при нормальной массе тела). Полученные результаты показывают, что легочные пресноводные моллюски возможно использовать как тест-организмы для изучения управления уровнем холестерина эндогенными и экзогенными биорегуляторами. Тип транспорта кислорода не оказывает влияния на особенности изменений общего холестерина и холестерина липопротеинов высокой плотности. Реактивность процессов транспорта триглицеридов и глюкозы имеет явные видовые различия, что связано, вероятно, с типом транспорта кислорода. Следовательно, *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus* могут явиться перспективными тест-организмами для исследования инсулинорезистентности.

Сравнительный биоинформатический анализ показал, что гомология ферментов нерегулируемого протеолиза составила 66,8 % / 61,9 % (в числителе по нуклеотидным последовательностям, в знаменателе по аминокислотным последовательностям); ферментов регулируемого протеолиза 73,1 % / 64,7 %; убиквитинподобных модификаторов 80,5 % / 66,6 %; внеклеточных ферментов 71,6 % / 37,2 %; внутриклеточных ферментов 67,8 % / 45,2 %. Лизосомальные ферменты имели гомологию от 38 до 70 %. Гомология ферментов по классам: оксидоредуктазы 51,2 % / 51,0 %; трансферазы 54,4 % / 57,4 %; гидролазы 48,0 % / 50,1 %; лиазы 35,7 % / 35,1 %. Таким образом, выявлен средний уровень гомологии ферментов человека и легочного пресноводного моллюска.

**Выводы.** Легочные пресноводные моллюски возможно использовать как тест-организмы для изучения транспорта липидов и глюкозы между тканями организма. Тип транспорта кислорода не оказывает влияния на особенности изменений уровней общего холестерина и холестерина липопротеинов высокой плотности в гемолимфе моллюсков. Тип транспорта кислорода определяет видовые особенности транспорта триглицеридов и глюкозы в гемолимфе моллюсков. В гемолимфе моллюсков, обитающих в

456

разных озерах, удается выявить по 2–3 биохимических признака метаболического синдрома у человека. Использование моллюсков для моделирования допустимо по этическим и экономическим причинам.

### **Литература**

1. Detailed review paper (DRP) on molluscs life-cycle toxicity testing Environment Directorate // Series on Testing and Assessment. – Paris: OECD Environment, Health and Safety Publications. – 2010. – № 121. – 182 p.

2. Чиркин, А. А. Молекулярно-структурная гомология протеолитических ферментов: монография / А. А. Чиркин, О. М. Балаева-Тихомирова. – Чебоксары: Издательский дом «Среда», 2022. – 124 с.

3. Чиркин, А. А. Место биохимических исследований в экологическом ранжировании водоемов / А. А. Чиркин [и др.] // Новости медико-биологических наук. – 2018. – Т. 17, № 2. – С. 45–49.

4. Чиркин, А. А. Моделирование биохимических признаков сахарного диабета у легочных пресноводных моллюсков / А. А. Чиркин [и др.] // Новости медико-биологических наук, 2016. – Т. 14, № 3. – С. 28–32.

5. Чиркин А. А. Молекулярно-структурная гомология протеолитических ферментов в изучении механизма протеолиза и его регуляции / А. А. Чиркин [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хім. навук. – 2021. – Т. 57, №. 2. – С. 206–221.

УДК 621.311.22

### **Methodology of laboratory lessons in electrical engineering**

Khudoyberganov S. B., Kurbanov I. B.  
Tashkent State Transport University  
Tashkent, Republic of Uzbekistan

*A laboratory workshop's goal is usually to: specify abstract educational material and deepen the concepts studied in theoretical courses, teach practical research methods and the ability to use special experimental tools; instill general and specific experimentation skills; and form practical skills in setting up devices and conducting electrical circuit measurements. In most cases, the stated duties can be solved to some degree using the usual method of arranging and conducting laboratory classes. However, this is insufficient, because a modern specialist must be trained to acquire knowledge freely, think creatively, and communicate effectively in the workplace.*

Laboratory classes allow students to integrate theoretical and methodological knowledge and practical skills into a single process of educational and research