

К 45-ЛЕТИЮ ЛАБОРАТОРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БИОХИМИИ ВОДНЫХ ОРГАНИЗМОВ

А. М. Андреева

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, e-mail: aam@ibiw.ru*
Поступила в редакцию 10.02.2025

В обзоре представлена история создания, становления и развития лаборатории экологической биохимии водных организмов в период с 1979 по 2024 гг., отмечена ключевая роль ее первого заведующего — Лукьяненко Владимира Ивановича — в формировании стратегии исследований. Перечислены основные направления научных исследований, решаемые в их рамках задачи, а также достижения лаборатории на разных этапах ее деятельности.

Ключевые слова: экологическая биохимия, лаборатория, юбилей, водные организмы, достижения.

DOI: 10.47021/0320-3557-2025-7-22

В 2024 году лаборатории экологической биохимии водных организмов (ЛЭБ) исполнилось 45 лет. Ее появление в Институте биологии внутренних вод АН СССР в 1979 г. неразрывно связано с именем Владимира Ивановича Лукьяненко, ее первого заведующего.



Лукьяненко Владимир Иванович
доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации
(1936–2011)

1. Предыстория создания лаборатории экологической биохимии.

В.И. Лукьяненко является учеником советского нейрофизиолога Александра Осиповича Долина (1897–1969 гг.) — врача, доктора медицинских наук, профессора МГУ. Как и все советские физиологи, Александр Осипович принадлежал научной школе великого русского физиолога Ивана Петровича Павлова.

В 1954 г. после окончания школы с золотой медалью в г. Кисловодске, В.И. Лукьяненко поступил на биолого-почвенный факультет МГУ, где под руководством А.О. Долина сразу

же включился в работу по изучению рефлекторной деятельности и функции внутреннего торможения у гамадрил. В 1959 г. он окончил МГУ с красным дипломом по специальности “физиология человека и животных” и по распределению уехал в Институт экспериментальной биологии и медицины (г. Новосибирск), где продолжил начатые под руководством А.О. Долина исследования. В этот период он встретился с Иваном Дмитриевичем Папаниным. Эта встреча определила дальнейшую судьбу молодого ученого и его решение переехать в поселок Борок для работы в Институте биологии внутренних вод АН СССР. И.Д. Папанин поддержал решение молодого ученого и предложил ему заняться изучением влияния загрязнения воды на здоровье обитателей р. Волги, которая в то время отличалась высокой степенью загрязненности.

В 1962 г. В.И. Лукьяненко переехал в п. Борок. Научную деятельность он начал в лаборатории физиологии водных животных, которую в то время возглавлял д.б.н. Борис Васильевич Краухин, а с конца 1962 г. — д.б.н. Глеб Дмитриевич Гончаров. В это же время Владимир Иванович завершал исследования по рефлекторной деятельности гамадрил и в 1961 г. защитил кандидатскую диссертацию “Роль физиологических механизмов динамического стереотипа в изменении направленности иммунологических и аллергических реакций” (научный руководитель А.О. Долин) [Лукьяненко, 1961 (Luk'yanenko, 1961)].

После защиты диссертации В.И. Лукьяненко приступил к анализу информации по загрязнению р. Волги и ее притоков. На ее основе им была составлена Программа многолетних исследований р. Волги, которую утвердил Ученый совет ИБВВ АН СССР. При одобрении и поддержке И.Д. Папанина и в соответствии с Программой, Владимир Иванович провел три экспедиции по р. Волге с 1962 по 1964 гг.

от п. Борок до г. Астрахань и обратно. В ходе экспедиций был собран материал по загрязненности Волги хозяйственно-бытовыми и промышленными стоками, который лег в основу первой в стране научно-следственной экспертизы. По ее результатам были установлены причины гибели рыб и источник попадания отходов в р. Волгу. Результаты экспедиций — о характере влияния токсических веществ на рыб разного видового и возрастного состава,

оценке резистентности к токсическим соединениям, выраженности токсического эффекта в зависимости от дозы токсиканта, времени его действия и физико-химических условий среды — имели важное значение для создания методологической основы определения ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Именно они заложили основы токсикологического направления в ИБВВ АН СССР [Кузьмин, Андреева, (<https://www.ibiw.ru/index.php?p=about>)].



Слева направо: Сергей Николаевич Давиденков, Иван Петрович Павлов, Александр Осипович Долин, Нина Александровна Крышова [Архивы (https://spbarchives.ru/pavlov_2)].

В 1964 г. в г. Астрахань был создан Центральный НИИ осетрового рыбного хозяйства, в котором была вакантной должность заведующего лаборатории физиологии осетровых рыб. Владимир Иванович подал заявку на ее замещение. При одобрении И.Д. Папанина, который написал рекомендательное письмо в ЦНИОРХ, в конце 1964 г. В.И. Лукьяненко переехал в г. Астрахань. Здесь он собрал коллектив ученых и занялся изучением физиологических, биохимических и иммунологических показателей у осетровых. Это направление сочетало фундаментальный и прикладной аспекты. Результатом этих исследований стало создание физиолого-биохимического стандарта молоди, выпускаемой на волю осетровыми рыбоводными заводами. В 1970 г., в г. Киев, В.И. Лукьяненко защитил докторскую диссертацию по иммунологии рыб на заседании Объединенного Совета биологических наук АН УССР [Лукьяненко, 1970 (Luk'yanenko, 1970)]. А в 1977 г. разработанный под его руководством возрастно-весовой стандарт молоди был одобрен Главрыбводом, утвержден Министерством рыбного хозяйства и зарегистрирован Госкомитетом СССР по стандартам и качеству технических условий на заводскую

молодь осетровых, предназначенную для выпуска в естественные водоемы.

В 1972 г. произошла встреча В.И. Лукьяненко с доктором географических наук Николаем Васильевичем Буториным, возглавившим Институт биологии внутренних вод после ухода И.Д. Папанина на пенсию; он предложил Владимиру Ивановичу создать лабораторию в институте.

Подводя итог деятельности В.И. Лукьяненко в период с 1962 по 1979 гг., можно сказать, что именно в это время им были заложены основы стратегии научных исследований, которые он впоследствии реализовал в лаборатории экологической биохимии в составе ИБВВ АН СССР.

2. Создание, развитие и результаты научной деятельности лаборатории экологической биохимии в период 1979–2013 гг.

2.1. Научный коллектив лаборатории экологической биохимии.

В 1979 г. В.И. Лукьяненко переехал из г. Астрахань в п. Борок со своими учениками — Субботкиными Михаилом Федоровичем и Татьяной Александровной, Поповыми Анатолием

Вавиловичем и Ларисой Борисовной, и Иннокентием Владимировичем Лукьяненко. За короткое время состав лаборатории устроился. С 1979 г. по 1999 г. (в 1999 г. В.И. Лукьяненко уволился из Института) состав лаборатории постоянно менялся и обновлялся.

В период с 1979 по 2013 гг. в составе ЛЭБ работали: Субботкины Михаил Федорович и Татьяна Александровна, Поповы Анатолий Вавилович и Лариса Борисовна, Иннокентий Владимирович Лукьяненко, Кузьмины Евгений Владимирович и Ольга Юрьевна, Мензиков Сергей Арсентьевич, Гремячих Вера Алексеевна, Васильев Алексей Станиславович, Андреева Алла Михайловна, Чалов Юрий Павлович,

Ламаш Нина Евгеньевна, Карпович Татьяна Андреевна, Рябцева Ирина Павловна, Камшилов Игорь Михайлович, Бараев Алексей Александрович, Сенечкина (Бикбулатова) Ирина Эрнстовна, Макрушин Андрей Валентинович, Лаврова Екатерина Ивановна, Столбунова Виктория Владимировна, Хлыстов Дмитрий Николаевич, Силкин Николай Федорович и Хабаров Михаил Валерьевич; менее года в лаборатории работали Козловская Вера Ивановна, Герман Александр Владимирович, Ермолаев Станислав Владимирович, Карнаухов Геннадий Иванович и Васильева Наталья Викторовна.



Попова Л.Б. Попов А.В. Васильев А.С. Лукьяненко И.В. Лукьяненко В.И. Чалов Ю.П. Гремячих В.А. Камшилов И.М.



Кузьмина О.Ю. Кузьмин Е.В. Ламаш Н.Е. Субботкин М.Ф. Субботкина Т.А. Андреева А.М. Мензиков С.А. Хлыстов Д.Н.



Макрушин А.В. Лаврова Е.И. Столбунова В.В. Рябцева И.П. Бараев А.А. Хабаров М.В. Сенечкина И.Э. Карпович Т.А.

Сотрудники лаборатории экологической биохимии 1979–2013 гг.

2.2. Направления исследований.

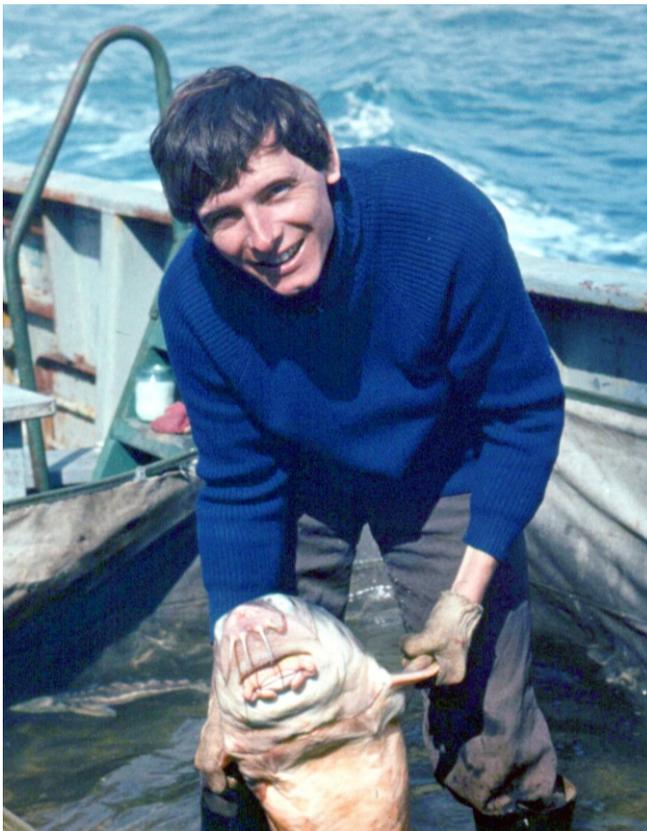
Направления исследований лаборатории остались, в целом, теми же, что и в г. Астрахань — анализ физиологических, биохимических и иммунологических процессов в организме рыб, но с акцентом на использование инструментов экологической биохимии. Классикой отечественных эколого-биохимических исследований рыб являются работы д.б.н., проф. Шульмана Георгия Евгеньевича (ИнБИОМ НАН Украины, после 2015 г. ИнБИОМ РАН). Фундаментальные исследования его научной школы охватывают жизненные циклы массовых видов рыб Черного и Азовского морей, на основе которых он разработал концепцию альтернативных метаболических стратегий, объясняющую биоразнообразие и биологический прогресс группы Pisces. Наиболее чутким показателем у пойкилотермных на изменения среды являются липиды; большой

вклад в их исследования у рыб внесли д.б.н. проф. Сидоров Виктор Сергеевич и его научная школа (Институт биологии КарНЦ РАН) и д.б.н., проф. Шатуновский Михаил Ильич (ИПЭЭ РАН). Выбранный Владимиром Ивановичем формат эколого-биохимических исследований имел свои особенности. В качестве основного объекта он выбрал осетрообразных — стерлядь, осетров, севрюгу, белугу, веслоноса, шипа, лопатоноса (в то время они в изобилии были представлены во внутренних водах СССР) и, в меньшей степени хрящевых и костистых рыб; в качестве основной мишени были выбраны белки, а главного инструмента — электрофорез, который в 1970–80-е гг. считался передовым методом разделения белков.

В 1980 и 1990-е гг. лаборатория имела все необходимое оборудование, в том числе и для электрофореза. Наряду с коммерческими

приборами брендов “Reanal” и “LKB”, сотрудники использовали оригинальные электрофоретические камеры и рамки для сушки гелей, изготовленные в мастерской ИБВВ по чертежам И.В. Лукьяненко и Е.В. Кузьмина. Практически все сотрудники лаборатории владели методом диск-электрофореза. С его помощью Кузьмин Е.В. изучал белковый полиморфизм, а по выбранным маркерам проводил популяционно-генетический анализ; Лукьяненко И.В. изучал электрофоретические фенотипы гемоглобина, а А.В. Попов — динамику белков плазмы крови осетровых рыб в онтогенезе. Позднее в практику исследований вошли изоэлектро-фокусирование (ИЭФ) и двумерные электрофоретические

системы (2D-E): Васильев А.С. с помощью ИЭФ разделял молекулярные формы гемоглобина; Андреева А.М., комбинируя 2D-E в градиенте концентраций полиакриламидного геля (ПААГ), в ПААГ с мочевиной и в ПААГ с додецилсульфатом натрия, анализировала структурную организацию белковых и липопротеиновых комплексов и стабилизирующие их связи. Трудоемкий анализ антигенной структуры белков выполняли Субботкин М.Ф. и Субботкина Т.А.; метод требовал до постановки иммуноэлектрофореза получение антисывороток от иммунизированных кроликов, которых содержали на стационарной базе.



Работа сотрудников лаборатории экологической биохимии в полевых условиях: Субботкин Михаил Федорович с русским осетром (фото *слева*; Южный Каспий; 1981), Лукьяненко Иннокентий Владимирович с белорыбницей (фото *справа*; нижний бьеф Волгоградской плотины; 1993).

Исследования в области иммунохимии и полиморфизма легли в основу изучения популяционной структуры осетровых. Кроме популяционно-генетических исследований, в ЛЭБ развивались и другие направления: анализ осмолитов внутренней среды организма (Кузьмина О.Ю.), организация белков и природа множественности белков-маркеров (Кузьмин Е.В., Андреева А.М.), изучение фактора неспецифической защиты — лизоцима (Мензиков С.А., Ламаш Н.Е., Субботкина Т.А.). Для оценки активности ферментов использовали спектрофотометрические методы, субстрат-

специфическое окрашивание ферментов в ПААГ, для лизоцима — метод диффузии в агаре и турбидиметрический метод. Для дифференциации белков, помимо электрофореза, использовали гель-хроматографию, для разделения липидов — тонкослойную хроматографию. Для очистки индивидуальных белков рыб адаптировали классические протоколы по белкам человека, с помощью которых были получены микрорекристаллы альбумина и трансферрина у осетровых рыб (Андреева А.М.), которые далее использовали в иммунохимических исследованиях (Субботкин М.Ф.). Большой

цикл работ был выполнен по описанию молекулярного разнообразия гемоглобинов рыб (Лукьяненко И.В., Васильев А.С.); получению кристаллических форм гемоглобина у хрящевых и костных рыб и его структурной устойчивости и устойчивости к дегидратации (Андреева А.М.).

Громадный вклад в исследования функциональных свойств гемоглобина внес Юрий Павлович Чалов, талантливый ученый, врач, преподаватель ЯрГУ. Он создал оригинальную установку из спектрофотометра, кислородомера и источника питания для изучения спектральных характеристик мет-, окси- и дезоксиформ гемоглобина, влияния различных факторов на сродство гемоглобина к O_2 , кооперативным взаимодействием субъединиц в процессе оксигенации. С помощью математического аппарата были рассчитаны эффекты Бора и Рута. Единственный ученик Юрия Павловича — Камшилов Игорь Михайлович, продолжил эти работы. Еще одним вкладом Юрия Павловича в исследования лаборатории был разработанный им метод прижизненного получения образцов тканевой лимфы и измерения коллоидно-осмотического давления плазмы крови. Работу по созданию установки для облегченного получения образцов лимфы он так и не завершил из-за ухода из лаборатории.

Еще один самобытный ученый, проработавший в лаборатории пять лет, — Татьяна Андреевна Карпович. Ее работы охватывали оценку токсичности веществ по кардио-респираторным реакциям рыб. Татьяна Андреевна создала оригинальную установку для оценки внешнего дыхания и сердечной деятельности. Ею опубликованы работы по хариусу при его отравлении сульфатом меди и по окуню, помещенном в токсичную среду.

В целом, исследования периода 1979–2013 гг. группируются в четыре направления:

(1) **иммунология**; разделы по антигенной структуре белков сыворотки крови осетровых (ответственные исполнители Субботкин М.Ф., Субботкина Т.А.), по иммуно-физиологическим показателям крови костистых (Силкин Н.Ф.) и по факторам неспецифического иммунитета (Мензиков С.А., Ламаш Н.Е., Субботкина Т.А.)

(2) **генетика**; раздел по полиморфизму белков и генетической структуре популяций осетровых и костистых рыб (Кузьмин Е.В., Кузьмина О.Ю., Васильев А.С., Лукьяненко И.В., Бараев А.А., Лаврова Е.И., Хлыстов Д.Н., Столбунова В.В.)

(3) **организация белков и белковых систем**; разделы по динамике белковых систем плазмы крови в онтогенезе осетровых рыб

(Попов А.В., Попова Л.Б.), по структурно-функциональной организации белков-маркеров и белковых систем плазмы крови у хрящевых и костных рыб (Чалов Ю.П., Камшилов И.М., Андреева А.М.) и по изучению множественности белков и ее природы (Кузьмин Е.В., Лукьяненко И.В., Васильев А.С., Андреева А.М.)

(4) **оценка влияния факторов среды**, в т.ч. загрязняющих веществ, на состояние водных организмов, в т.ч. у рыб — по белкам-маркерам, сердечному ритму, респираторной реакции, тканевым изоферментам (Карпович Т.А., Васильев А.С., Кузьмин Е.В., Лукьяненко И.В., Чалов Ю.П., Камшилов И.М., Субботкин М.Ф., Субботкина Т.А., Ламаш Н.Е., Гремячих В.А., Андреева А.М., Макрушин А.В.)

2.3. Итоги исследований периода 1979–2013 гг.

(1) Итоги работ по антигенной структуре белков и генетической структуре популяций позволили установить привязанность локальных стад каспийских осетровых к родным рекам во время нереста, а также заход на нерест отдельных особей русского осетра северо-каспийской популяции в р. Куру, персидского осетра — в р. Волгу, и волжской севрюги — в р. Урал; сложную внутривидовую структуру каспийских осетровых из генетически самостоятельных (изолированных) популяций, субпопуляций и экологических рас; также они позволили описать специфические антигены сезонных рас и получить доказательства репродуктивной самостоятельности ярового и озимого осетров северо-каспийской популяции, выяснить динамику их захода в р. Волгу и длительность нахождения в приплотинной зоне Волгоградского гидроузла.

(2) Работы по изучению структурно-функциональной организации и динамики белков и белковых систем выявили высокую степень молекулярного разнообразия альбумина, трансферрина, гемоглобина и ряда ферментов, обусловленную полиморфизмом и посттрансляционными модификациями. Было установлено, что белки плазмы рыб наращивают свою молекулярную массу за счет углеводов, а множественность трансферринов обусловлена сиаловыми кислотами. Была выявлена связь размеров и сингонии кристаллов гемоглобинов с видовой принадлежностью осетрообразных и зависимой от условий среды структурной устойчивостью связи гемоглобин; что широкий функциональный диапазон гемоглобинов рыб обеспечен высочайшим уровнем молекулярного разнообразия. Были получены и сравнены тканевые профили по активности лизоцима у 48 видов из 12 отрядов костных

рыб из пресных и соленых вод, северных и южных широт. Было установлено, что формирование белковых систем плазмы крови приходится на ранние онтогенетические стадии развития и динамичные преобразования этих систем происходят в ходе репродуктивного цикла половозрелых рыб.

(3) Результаты по четвертому направлению исследований включают разработку экспресс-тестов для оценки состояния организма по устойчивости гемоглобина к дегидратации (Андреева А.М.) и прочности оболочки икры осетровых (Кузьмин Е.В.), способы оценки токсичности веществ по кардио-респираторным реакциям рыб (Карпович Т.А.), способ оценки степени расслоения мышечной ткани рыб при хроническим политоксикозе (Кузьмин Е.В.) и другие.

(4) По итогам исследований лаборатории В.И. Лукьяненко подготовил ряд экспертных заключений в Министерство рыбного хозяйства СССР: о нарастающем пестицидном загрязнении Волго-Каспийского бассейна и угрозе осетровому хозяйству (1981); о необходимости срочного внедрения рационального промысла северо-каспийских осетровых (1984); о стратегии крупных водохозяйственных мероприятий на европейской территории страны в рыбохозяйственных целях (1984); об экологических последствиях строительства каналов Волга-Чограй и Волга-Дон для воспроизводства осетровых рыб (1987) и др.

(5) За период 1979–1999 гг. сотрудниками лаборатории были получены 3 свидетельства об изобретении, более 30 рационализаторских предложений, проведено более 30 конференций и совещаний; семь сотрудников лаборатории защитили кандидатские диссертации, опубликовано 14 монографий, включая коллективные.

(6) За 20 лет под руководством В.И. Лукьяненко было организовано участие сотрудников лаборатории в более чем 150 экспедициях по территории бывшего Советского Союза для сбора биоматериала рыб — на реках Волге, Оке, Каме, Куре, Урале, Аму-Дарье, Оби, Енисее, Лене, Ангаре, Амуре, Тумнине, в Каспийском и Азовском морях, Амурском лимане, оз. Байкал.

В 1995 г. Лукьяненко В.И. организовал общественную организацию Верхневолжское отделение Российской экологической академии (РЭА), а с 1999 г. совмещал работу в РЭА с работой в администрации губернатора Ярославской области Лисицына Анатолия Ивановича в качестве советника по вопросам экологии. Таким образом, к 1999 г. этап работы лаборатории под руководством В.И. Лукьяненко

завершился. С 1999 г. по 2013 г. работа была продолжена под руководством ученика В.И. Лукьяненко — д.б.н. А.С. Васильева. В этот период, работы коллектива были поддержаны двумя грантами — грантом РФФИ (2006–2008) “Изучение дыхательных функций эритроцитов рыб в различных экологических условиях” (рук. к.б.н. Камшилов И.М.) и губернаторским грантом (2004–2005) “Оценка состояния популяции леща верхневолжских водохранилищ на территории Ярославской области” (рук. д.б.н. Васильев А.С.).

Важнейшим результатом деятельности Владимира Ивановича Лукьяненко как первого заведующего лаборатории экологической биохимии, можно считать создание технологической платформы для запуска протеомных исследований. Термина “протеом” в 1980-е гг. еще не существовало; он появился в 1994 г., но в 1990-е гг. еще не получил широкого распространения. Внедрение электрофореза в практику научных исследований лаборатории, все сотрудники которой владели тем или иным методом электрофоретического разделения белков, позволило коллективу в дальнейшем естественным образом перейти к работе в протеомном формате, для чего потребовалось недостающее звено в виде масс-спектрометрии MALDI, с помощью которой оказалась возможной массовая идентификация белков в составе тканевых протеомов. Такая работа была начата на базе ЦКП “Молекулярные технологии” (2004–2013 гг.) и продолжена в составе объединенной с ЦКП лаборатории (2013–2025 гг.); с этого момента работа с белками проходит уже не “вслепую”, и все используемые белковые маркеры были установлены. К итогам научно-организационной деятельности В.И. Лукьяненко в ИБВВ АН СССР (РАН) относится действующая и поныне, разработанная им в 1962 г. Программа исследований р. Волги и ее обитателей.

3. Развитие эколого-биохимических исследований на базе Центра коллективного пользования “Молекулярные технологии” в период 2004–2013 гг.

3.1. Коллектив ЦКП-МТ.

Ряд направлений эколого-биохимических исследований получили развитие на базе научно-вспомогательного Центра коллективного пользования “Молекулярные технологии” (ЦКП-МТ), созданного по приказу директора ИБВВ РАН д.б.н., проф. Копылова А.И. в 2004 г. для активного внедрения молекулярно-генетических методов в практику исследований лабораторий ИБВВ РАН.

Научный состав ЦКП включал д.б.н. Андрееву А.М. (рук.), аспирантов Рябцеву Ирину Павловну и Федорова Романа Александровича, ст. лаборанта Дмитриеву Александру Эльдаровну; вспомогательный состав — инженера Кузьмину Валентину Александровну и лаборанта Шарапову Ольгу Анатольевну. Также на базе ЦКП проходил обучение методам работы с белками в рамках аспирантуры сотрудник лаборатории биологии и систематики Большаков Виктор Викторович, который в 2013 г. вошел в состав ЦКП-МТ.

Кроме штатных сотрудников, в составе ЦКП работали бывшие и действующие

сотрудники ЛЭБ: к.б.н. Лукьяненко И.В. выполнял работы по техническому обеспечению исследований в лабораторных, полевых и аквариальных условиях, создавал оригинальные и совместимые с коммерческими приборами камеры для электрофореза, поддерживал рабочее состояние прудов на базе “Сунога” для содержания потомства внутривидовых скрещиваний леща и плотвы; к.б.н. Камшилов И.М. участвовал в спектрофотометрической обработке биоматериала от потомства внутривидовых скрещиваний леща и плотвы; к.б.н. Кузьмин Е.В. участвовал в гранте РФФИ 2013–2016 гг. (рук. Андреева А.М.).



д.б.н. Андреева А.М.



Рябцева И.П.



Федоров Р.А.



к.б.н. Большаков В.В.



к.б.н. Лукьяненко И.В.



Кузьмина В.А.



Шарапова О.А.



Филиппова А.Э.



к.б.н. Кузьмин Е.В.



к.б.н. Камшилов И.М.

Сотрудники ЦКП “Молекулярные технологии” 2004–2013 гг.

3.2. Направления исследований. Традиция проведения регулярных научно-практических школ по проблемам молекулярной экологии и эволюции водных организмов.

Параллельно изучению, освоению и использованию молекулярно-генетических методов, в центре продолжалась текущая работа по разделам экологической биохимии.

Исследования периода 2004–2013 гг. проводились в рамках двух основных направлений:

(1) экологическая биохимия

– работа по диссертационным темам аспирантов Рябцевой И.П. и Федорова Р.А. “Дыхательные адаптации крови у пресноводных и морских костистых рыб”, “Закономерности капиллярного обмена белков плазмы у пресноводных костистых рыб” (рук. д.б.н. Андреева А.М.), и аспиранта Большакова В.В. “Адаптивная роль хромосомных инверсий у личинок рода *Chironomus*” (рук. д.б.н. Шобанов Н.А., д.б.н. Андреева А.М.),

– работа по разработке показателя оценки энергетического статуса фитопланктона по

содержанию свободных суммарных нуклеотидов (рук. темы д.б.н. Минеева Н.М., лаб. альгологии, ИБВВ РАН),

- по анализу динамики фракции иммуноглобулинов в сыворотке карпа и стерляди под влиянием ряда факторов — аэромоназа, антибиотиков, пробиотиков, гормонов (рук. темы к.б.н. Микряков Д.В., лаб. иммунологии, ИБВВ РАН),

- по анализу динамики белков в онтогенезе пресноводных ракообразных с диминуцией хроматина (рук. темы д.б.н. Гришанин А.К., лаб. экспериментальной экологии, ИБВВ РАН).

(2) молекулярная экология водных организмов

- оценка видового состава микробных сообществ из пресноводных, морских и гидротермальных источников европейской части РФ, Сибири и Дальнего востока,

- оценка видового состава простейших, водорослей, нематод из авторских коллекций (ИБВВ РАН, НИИ ФХБ им. А.Н. Белозерского МГУ, ИФХБПП РАН,

- анализ экспрессии генома дафний под влиянием электромагнитного поля (рук. темы д.б.н. Крылова В.В., ИБВВ РАН).

(3) протеомные исследования белков плазмы крови пресноводных и морских костистых рыб

- идентификация белков с высокой осмотической активностью в плазме крови рыб из бассейна Белого, Черного и Японского морей, бассейна р. Волга.

Молекулярно-генетические исследования включали этап обучения сотрудников ЦКП современным методам работы с нуклеиновыми кислотами и белками. Обучение проходило в формате школ с приглашением ведущих специалистов: к.б.н. Бельковой Натальи Леонидовны (молекулярная экология микроорганизмов) и д.б.н. Алешина В.В. (молекулярная эволюция простейших); к.б.н. Юрковой М.С. (биотехнологии). Большую профессиональную

поддержку в организации школ оказала к.б.н. Нина Андреевна Лаптева — признанный специалист в области экологии микроорганизмов. Обучение методам протеомики включало освоение разных систем 2D-электрофореза (д.б.н. Андреева А.М.); далее белки-маркеры передавали для идентификации с помощью MALDI к.б.н. Серебряковой М.В. (НИИ ФХБ им. А.Н. Белозерского МГУ) и к.б.н. Торопыгину И.Ю. (ИБМХ им. В.Н. Ореховича).

За период с 2006 по 2013 гг. на базе ЦКП-МТ было проведено 6 школ. Начиная с 6-й школы, обучение молодых ученых методам практической работы с белками и ДНК сотрудники Центра (далее — сотрудники объединенной с Центром лаборатории экологической биохимии) проводили самостоятельно, приглашая ведущих специалистов для проведения лекционных курсов, круглых столов, чтения докладов.



Лаптева Н.А.

К.б.н., ИБВВ РАН
лаб. микробиологии



Белькова Н.Л.

К.б.н., ЛИН РАН, ИГУ,
Рук. лаб. микробиома
и микрoэкологии
НЦПЗС



Алешин В.В.

Д.б.н., МГУ, НИИ Физико-
химической биологии
им. А. Н. Белозерского
Отд. эвол. биохимии



Юркова М.С.

К.б.н., ФИЦ «Фундаментальные
основы биотехнологии» РАН
Зав. лаб. молекулярной
биотехнологии

Специалисты в области молекулярной биологии и биотехнологий, внесшие бесценный вклад в обучение сотрудников ЦКП-МТ методам молекулярной генетики.

4. Научно-практические школы по методам молекулярной генетики на базе объединенной с Центром “Молекулярные технологии” лаборатории экологической биохимии.

Традиция проведения школ сохранилась и после объединения ЦКП и ЛЭБ в 2014 г. В 2014, 2015 и 2019 гг. было проведено еще три школы (7-я, 8-я, 9-я) с постепенным смещением акцентов с геномики на протеомику. Две школы получили финансовую поддержку РФФИ (7-я школа, 2014 г.; 8-я школа, 2015 г.; рук. д.б.н. Андреева А.М.), ФАНО, компаний Биорад, ДиаМ, Скайджин и фонда Династия. В научные комитеты этих школ вошли известные специалисты из МГУ им. М.В. Ломоносова, ВНИРО, ЛИН СО РАН, ИОГена, ИБХ, Центра биотехнологий, ИБМХ и ИФХБПП РАН —

к.б.н. Мюге Н.С., к.б.н. Белькова Н.Л., д.б.н. Алешин В.В. к.б.н. Букин Ю.С., к.б.н. Юркова М.С., к.б.н. Махров А.А., д.б.н. Политов Д.В. и другие, а также специалисты из нашего института — д.б.н. Тихоненков Д.В., к.б.н. Карabanов Д.П., к.б.н. Бобров А.А., выступившие с докладами и лекциями.

На 7-й и 8-й школах сотрудники объединенной лаборатории экологической биохимии ИБВВ РАН и ЦКП “Протеом человека” ИБМХ им. В.Н. Ореховича (к.б.н. Торопыгин И.Ю.) провели практические занятия для молодых ученых: (1) по методам протеомного анализа (ИЭФ, 2D-E; MALDI) и работе в специализированных программных пакетах; (2) по методам работы с ДНК (выделение ДНК, постановка ПЦР), фрагментному анализу ДНК; (3) по генетике изоферментов. На 9-й школе к.б.н. Торопыгин И.Ю.

провел занятие с молодыми учеными по ознакомлению с работой масс-спектрометра, приведенного в ИБВВ РАН.

Ниже представлено несколько фотографий из фотолетописи школ.



(а)



(б), (в)



(г)



(д)

Сотрудники ЦКП “Молекулярные технологии” Рябцева И.П., Федоров Р.А. и Большаков В.В. (а); рук. 3-й школы к.б.н. Белькова Н.Л. (б, в) и участница школы Данилова Э.В. (б); участники школ из ЯрГУ, СО и ДВО РАН, НАНУ (Украина), НАНА (Азербайджан), АНМ (Молдова), НЦ Приднестровья (г, д).

5. Итоги молекулярно-генетических школ за период с 2007 по 2019 гг.

Через 9 школ, организованных ЦКП-МТ и объединенной с ЦКП-МТ лабораторией экологической биохимии, прошли обучение методам молекулярной генетики молодые ученые и специалисты из более чем 20 учреждений РАН, ВНИРО, Высшей школы, из ближнего и дальнего зарубежья. На привезенных участниками школ биоматериалах и коллекциях были выполнены практические работы:

(1) по видовому составу микробных сообществ (в т.ч. некультивируемых видов) из пресноводных, морских и гидротермальных источников, бактериальных матов и микроорганизменных ассоциаций с высшими животными и растениями Рыбинского водохранилища, содово-соленого оз. Доронинское и пресного оз. Арахлей (Забайкалье), термальных источников Восточных Саян (Бурятия) и оз. Байкал; в GenBank.ncbi зарегистрированы последовательности фрагментов 16S рДНК бактериальных клонов с перифитона рдеста;

(2) по видовому составу нематод из коллекции д.б.н. Гагарина В.Г. (лаб. экологии водных беспозвоночных ИБВВ РАН);

(3) по видовому составу простейших из коллекции д.б.н. Алешина В.В. (НИИ ФХБ им. А.Н. Белозерского МГУ);

(4) по видовому составу зеленых водорослей из разных сред обитания — планктонные и бентосные, почвенные и аэрофильные, из экстремальных мест обитания из коллекции к.б.н. Темралеевой А.Д. (ИФХБПП РАН);

(5) по экспрессии генома дафний под воздействием электромагнитного поля по биоматериалу д.б.н. Крылова В.В. (лаб. популяционной биологии и генетики ИБВВ РАН).

Значение этих школ для развития направления экологической биохимии заключалось в освоении сотрудниками Центра и объединенной лаборатории экологической биохимии методов геномики, протеомики и биоинформатики для их активного использования в практике исследований ЛЭБ.

6. Сотрудники объединенной лаборатории экологической биохимии и развитие научных исследований в период 2013–2024 гг.

В состав объединенной лаборатории вошли новые научные сотрудники: к.б.н. Гарина Д.В., к.б.н. Павлова В.В., д.б.н. Ламаш Н.Е., к.б.н. Столбунова В.В., к.б.н. Халько В.В., к.б.н. Запруднова Р.А., д.б.н. Гришанин А.К., к.б.н. Торопыгин И.Ю., выпускница Тимирязевской аграрной академии (РГАУ МСХА) Базарова З.М., а также инженер Земницкая Марина Анатольевна и лаборант Зенкова Виктория Владимировна.

В 2018 г. ушел из жизни Халько Владимир Вячеславович — признанный специалист

в области липидного обмена рыб, а в 2023 г. — Камшилов Игорь Михайлович — специалист по функциональным свойствам гемоглобинов рыб, проработавший в лаборатории 37 лет.

В 2024 г. в составе ЛЭБ насчитывалось 13 научных сотрудников, из них 5 докторов (Макрушин А.В., Васильев А.С., Ламаш Н.Е., Гришанин А.К., Андреева А.М.) и 6 кандидатов биологических наук (Кузьмин Е.В., Большаков В.В., Столбунова В.В., Гарина Д.В., Запруднова Р.А., Торопыгин И.Ю.). В научно-вспомогательный состав входят инженер Земницкая М.А. и лаборант Зенкова В.В.



Состав сотрудников объединенной с ЦКП «Молекулярные технологии» лаборатории экологической биохимии (2016 г.). *Верхний ряд* (слева направо): Халько В.В., Макрушин А.В., Васильев А.С., Камшилов И.М., Ламаш Н.Е., Кузьмин Е.В., Большаков В.В.; *Средний ряд* (слева направо): Шарапова О.А., Павлова В.В., Кузьмина В.А., Гарина Д.В., Андреева А.М., Запруднова Р.А.; *Нижний ряд* (слева направо): Филиппова А.Э., Земницкая М.А., Столбунова В.В., Рябцева И.П.



Состав сотрудников лаборатории экологической биохимии (2024 г.).

7. Направления исследований объединенной с ЦКП-МТ лаборатории экологической биохимии.

После объединения ЛЭБ с ЦКП-МТ основные направления эколого-биохимических исследований были сохранены (кроме раздела иммунологии), а некоторые существенно расширились:

(1) биохимия:

- темы “Структурно-функциональная организация белков и белковых систем хрящевых и костных рыб” и “Белки и осморегуляция”, (д.б.н. Андреева А.М. (рук.), д.б.н. Васильев А.С., д.б.н. Ламаш Н.Е., к.б.н. Гарина Д.В., к.б.н. Торопыгин И.Ю., Рябцева И.П., Базарова З.М., Филиппова А.Э.);

- тема “Адаптации дыхательной функции крови рыб на примере группы Teleostei” (д.б.н. Андреева А.М. (рук.), Рябцева И.П.);

- тема “Функциональные свойства гемоглобинов костных рыб” (рук. к.б.н. Камшилов И.М.);

- тема “Влияние нейроактивного фактора из мозга быка на долговременную память рыб” (к.б.н. Гарина Д.В. (рук.), к.б.н. Большаков В.В., к.б.н. Торопыгин И.Ю., д.б.н. Мехтиев Ариф, д.б.н. Андреева А.М.).

(2) генетика:

- тема “Генетика изоферментов осетрообразных” (рук. к.б.н. Кузьмин Е.В.);

- тема “Адаптивные эффекты хромосомных инверсий на примере группы *Chironomus*” (рук. к.б.н. Большаков В.В.),

- тема “Адаптивные эффектам отдаленной гибридизации на примере леща и плотвы” (рук. к.б.н. Столбунова В.В.),

- тема “Диминуция хроматина у пресноводных ракообразных” (рук. д.б.н. Гришанин А.К.);

- тема “Поиск маркеров мелководных и глубоководных экотипов *Dreissena bugensis*” (к.б.н. Павлова В.В. (рук.), к.б.н. Столбунова В.В., к.б.н. Кузьмин Е.В.).

(3) экологический мониторинг:

- тема “Хромосомные инверсии в модельной группе *Chironomus* как биоиндикаторы состояния среды” (рук. к.б.н. Большакова В.В.);

- темы “Влияние загрязнений на ветвистоусых ракообразных” и “Старение и канцерогенез” (рук. д.б.н. Макрушин А.В.);

- тема “Изучение влияния гипернатремии на ремоделирование белков плазмы у рыб как модельных позвоночных” (д.б.н. Андреева А.М. (рук.), Васильев В.А., Ламаш Н.Е., Гарина Д.В., Торопыгин И.Ю.).

В отличие от периода 1979–1999 гг., к 2024 г. расширился перечень объектов исследований, которые помимо рыб (костные, хрящевые) включают двукрылых, моллюсков и

пресноводных ракообразных. Также расширился перечень используемых подходов, в основном, за счет молекулярно-генетических методов. Это позволило вывести на качественно новый уровень работы по хромосомному полиморфизму в модельной группе *Chironomus* (к.б.н. Большаков В.В.), по поиску маркеров мелководных и глубоководных экотипов *D. bugensis* (к.б.н. Павлова В.В.).

Освоение разных 2D-E-систем и методов масс-спектрометрии МАЛДИ простимулировало развертывание полномасштабных и систематических работ в области экологической и эволюционной протеомики рыб по теме “Белки и осморегуляция”, а также в идентификации действующего компонента внешнего нейроактивного фактора СМАБ, негативно влияющего на долговременную память у рыб (работы по тестированию препарата нейроактивного фактора СМАБ из мозга быка; препарат получен д.б.н. А. Мехтиевым; Институт физиологии, г. Баку).

8. Результаты научной деятельности объединенной лаборатории экологической биохимии в период 2013–2024 гг.

Основные результаты периода 2013–2024 гг. получены в рамках направлений биохимии, генетики и экологического мониторинга. Некоторые из них приведены ниже:

(1) Биохимия

- темы “Белки и осморегуляция” и “Структурно-функциональная организация белков и протеомов рыб”

(а) На основе анализа протеомных карт плазмы и других жидкостей организма рыб (около 2000 ед.) и массовой идентификации белков разработан ряд гипотез. Разработана и тестируется гипотеза о липопротеинах (ЛПВП) как ключевых факторах осмотического гомеостаза в организме Teleostei. Установлена связь между зарядом белка и его водосвязывающей активностью;

(б) Разработана и тестируется “безальбуминовая” модель капиллярного обмена (КО) белков на примере группы Teleostei. Описаны древние черты протеома плазмы и КО белков рыб: обилие общего белка в тканевой жидкости, обилие олигомеров в плазме, слабая барьерная функция стенки капилляра. Модель рассматривает белки тканевой жидкости как протекторы, снижающие риски осмотического шока при колебаниях солености и температуры воды, в т.ч. и за счет ремоделирования олигомеров;

(в) Обоснованы критерии поиска белков плазмы, замесивших сывороточный альбумин у безальбуминовых рыб; важная роль отводится

высокому отрицательному заряду белков как показателю осмотической активности. На примере модельных видов установлено, что высокой осмотической активностью обладают липопротеины (ЛПВП), гемопексин и ингибиторы протеиназ;

(г) Впервые идентифицирован и охарактеризован как фактор нерестовой миграции рыб белок эпендимин (Ер) из спинномозговой жидкости (СПМЖ) проходных дальневосточных красноперок. Установлено, что концентрация Ер резко меняется накануне нерестовой миграции, вследствие чего Ер охарактеризован как внутренний нейроактивный фактор нерестовой миграции. В то же время, его высокий титр в СПМЖ указывает на его значимый вклад в осмотические свойства СПМЖ.

- тема “Адаптации дыхательной функции крови рыб на примере группы Teleostei”: протестировано более 20 видов пресноводных и морских Teleostei по параметрам устойчивости гемоглобина (к дегидратации; по связи гем-глобин) и резистентности эритроцитов (осмотической; кислотной); изучена динамика в онтогенезе данных параметров на потомстве внутривидовых скрещиваний леща и плотвы. Результаты показали наличие у рыб *in vivo* (1) разнокачественности эритроцитов и гемоглобинов по тестируемым признакам, (2) взаимосвязь компенсаторного типа между устойчивостью гемоглобина и резистентностью эритроцитов с инверсией типа связи в онтогенезе (лещ, плотва), (3) у пресноводных видов выявлены более широкий диапазон всех параметров и их зависимость от экологии: у активных хищников гемоглобин и эритроциты отличает устойчивость, у других видов отмечены перманентный гемолиз эритроцитов и быстрое разрушение гемоглобинов, (4) у морских видов обнаружена сверхустойчивость гемоглобинов, возможно, по причине общей стратегии на усиление прочности макромолекул у морских видов, (6) обнаружен механизм поддержания гомеостаза при стрессе в виде одновременной замены пула эритроцитов.

- тема “Адаптивные эффекты хромосомных инверсий”: исследования развиваются в направлении развития гипотезы д.б.н. Шобанова Н.А., согласно которой, хромосомные инверсии у хирономид контролируют работу гемоглобинов, на которые приходится свыше 90% общего белка гемолимфы личинок мотыля. Проведена оценка вариабельности структурных вариантов гемоглобина у личинок разных видов мотыля из разных биотопов. Установлена множественность гемоглобиновых субъединиц, организованных в олигомерные формы от мономеров до октамеров включительно.

- тема “Нейроактивный фактор СМАБ и его влияние на формирование долговременной памяти у рыб”: установлено действующее вещество в составе внешнего нейроактивного негативного фактора долговременной памяти у рыб (*in exp*) препарата СМАБ. Это соединение — дигидропиримидиназа — входит в состав препарата СМАБ, полученного из мозга быка и предоставленного для тестирования Арифом Мехтиевым из Института физиологии г. Баку (Азербайджан);

- тема “Функциональным свойствам гемоглобина костных рыб”: проведены исследования O₂-связывающей функции гемоглобина и снабжения кислородом тканей у более чем трех десятков видов хрящевых, хряще-костных и костистых рыб из пресных и морских вод; изучено влияние внешних и внутренних факторов, в том числе стрессовой природы (температура, загрязнение, голод) на эффекты Бора и Рута;

(2) Генетика:

- тема “Генетика изоферментов осетрообразных рыб”: продолжена обработка, анализ белкового полиморфизма и популяционно-генетический анализ уникального материала по осетрообразным Европейской части СССР, Сибири, Дальнего Востока и Азиатского региона, собранного в 1980–2000 гг. (по волжской, камской, окской, донской и енисейской стерляди; азовскому осетру и севрюге; обскому, енисейскому и амурскому осетрам; калуге, белуге и амударьинскому лопатоносу и шипу; многие из этих видов входят в Красную книгу). Результаты анализа выявили характер реакции стерляди на возведение Чебоксарской ГЭС: обнаружено четкое разделение стерляди на субпопуляции с разными частотами аллелей генов-маркеров; по ряду изоферментов выявлены строгие корреляции с пресными и морскими водами, согласующиеся с данными геологической истории водоемов; предложены гипотезы о генетической детерминации по ряду ферментных локусов у мало- и многохромосомных осетровых;

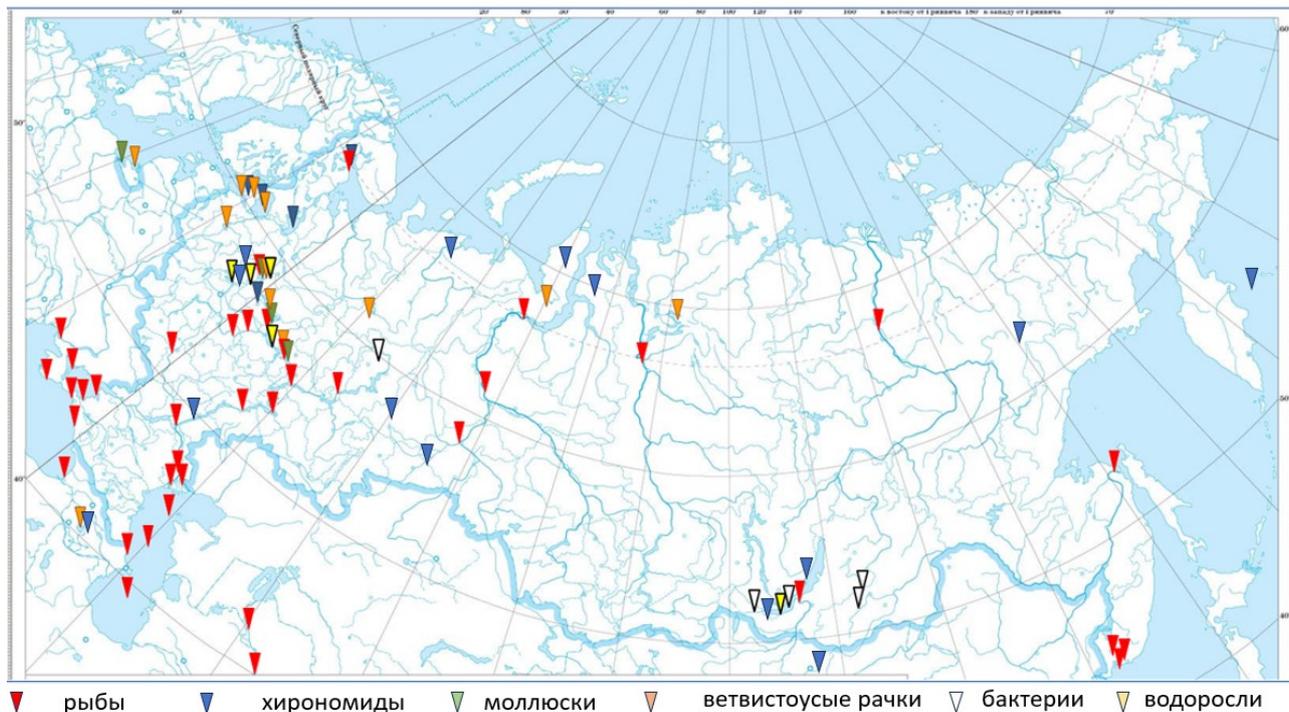
- тема “Адаптивные эффекты хромосомных инверсий”: исследования развиваются в направлении развития гипотезы д.б.н. Шобанова Н.А. о роли хромосомных инверсий в контроле функций гемоглобинов у личинок мотыля. Освоен полный цикл молекулярно-генетического анализа, от выделения ДНК из разных природных объектов до построения эволюционных деревьев, включая работу в GenBank и BOLD. Впервые секвенированы последовательности гена первой субъединицы цитохромоксидазы для некоторых видов Севера, Сибири и юга России и сопредельных стран, включая Армению и Монголию. Установлено, что

Chironomus annularius, не вид, комплекс гомосеквентных криптических видов, хорошо различающихся по нуклеотидной последовательности маркерного гена. Описан новый цитологический комплекс “Ch. laetus”. В результате комплексного анализа, включающего морфологический, цитогенетический и молекулярно-генетический методы, в DB GenBank загружены, многие впервые, последовательности гена первой субъединицы цитохромоксидазы у ряда видов хирономид;

- тема “Адаптивные эффекты отдаленной гибридизации”: продолжены работы по генетике отдаленных гибридов, впервые начатые к.б.н. Слынько Ю.В., но не в формате видообразования, а в формате поиска адаптивных механизмов гибридизации. На примере плотвы, леща и их гибридов установлена отрицательная связь между скоростью замены генов окислительного фосфорилирования и внешними признаками (размер тела, возраст зрелости,

продолжительность жизни), что лежит в основе формирования как изолирующих механизмов, так и полового отбора при однонаправленной гибридизации. Установлено, что вариабельность нуклеотидной последовательности фрагмента гена первой субъединицы цитохромоксидазы мтДНК у леща и плотвы является эффективным показателем скорости аэробного метаболизма и двигательной активности, от которого зависят основные характеристики жизнедеятельности;

- тема “Поиск маркеров мелководных и глубоководных экотипов *Dreissena bugensis*”: проведен поиск маркеров мелководного и глубоководного экотипов дрейссены. Выполнено сравнение изоформентов по ряду локусов из разных экотипов, проведен поиск генетических различий экотипов. Результаты показали, что генетические различия незначительны и между экотипами идет обмен генов.



Регионы отлова водных организмов и сбора биоматериала сотрудниками лаборатории экологической биохимии в период 1979–2024 гг. на территории Российской Федерации, Армении и Монголии.

(3) Экологический мониторинг:

К этому разделу можно отнести все проводимые в лаборатории работы по биохимическим показателям крови рыб, влиянию среды на хромосомные инверсии мотыля, токсикологические работы по влиянию загрязнений среды на ракообразных и рыб и некоторые работы биомедицинской направленности. Вкладом в биомедицинский раздел служат работы Макрушина А.В. по старению и канцерогенезу; его книга “Возраст и канцерогенез” переведена

зарубежным издательством на английский язык и опубликована в 2019 г. В ней Андрей Валентинович развивает выдвинутую в 1991 г., совместно с В.В. Худолеем, гипотезу об эволюционном возникновении механизма старения и онкогенеза. К работам биомедицинской направленности относятся также исследования по ремоделированию липопротеинов высокой плотности у модельных видов пресноводных костистых, помещенных в условия критической солености. Осмотические условия

внутренней среды организма у этой группы рыб при критической солености моделируют условия внутренней среды человека при гипернатремии, которая часто встречается у стационарных больных как осложнение с высокой частотой смертельных случаев.

В заключении обзора приводим карту регионов сбора объектов исследования объединенной лаборатории экологической биохимии, которая охватывает территории европейской части, Сибири и Дальнего Востока РФ, а также Армении, Монголии и США.

9. Итоги эколого-биохимических исследований периода 2000–2024 гг.

Итоги эколого-биохимических исследований коллектива в период 2000–2024 гг.:

(1) Исследования этого периода были поддержаны 17 грантами — 16 грантами РФФИ и 1 грантом губернатора Ярославской области; из них, в 11-ти грантах сотрудники коллектива выступали в качестве руководителей. В настоящее время сотрудники лаборатории участвуют в работе 2 грантов РФФИ.

(2) Организация двух Всероссийских конференций по экологической биохимии водных организмов (2012, 2020 гг.) и 9 научно-практических школ по проблемам молекулярной экологии и эволюции (2006–2019 гг.), в т.ч., всероссийского масштаба и с международным участием. В них приняли участие молодые ученые из ближнего и дальнего зарубежья и ведущие специалисты в области геномики, протеомики и биоинформатики.

- Через 9 школ прошли >200 слушателей из >20 учреждений РАН (УрО, СО, ДВО), Высшей школы, ВНИРО; НАН Украины, Азербайджана, Молдовы, Приднестровья, Чехии;

>60 участников школ прошли практическую подготовку по базовым методам работы с ДНК и белками, из них >26 участников обработали в процессе обучения привезенные биоматериалы/коллекции, в их числе сотрудники ИБВВ РАН.

- Результаты, полученные на школах, стали основой для их участников при составлении заявок и получении грантов РФФИ и РФФИ.

- По итогам конференций и школ выпущены сборники материалов, тезисов и статей; опубликовано 6 трудов в виде монографий, глав в монографиях, учебных пособий; одна монография рекомендована в качестве учебника для студентов МГУ.

(3) За период 2000–2024 гг. сотрудниками лаборатории и ЦКП защищено две докторские и одна кандидатская диссертации; на основе результатов, полученных по итогам проведенных научно-практических школ, их участниками защищено более 5 диссертаций на соискание степеней кандидата и доктора биологических наук.

(4) Сотрудниками ЦКП-МТ и лаборатории экологической биохимии создана коллекция из ~3000 протеомных карт по белкам хрящевых и костных рыб из Белого, Черного, Японского, Каспийского и Азовского морей, озера Байкал, рек Волги, Оки, Камы, Кубани, Куры, Урала, Ангары, Аму-Дарьи, Амура, Тумнина; Командорских островов и др.; из них ~2000 единиц с перспективой последующей обработки и идентификации белков с помощью масс-спектрометрии МАЛДИ.

(5) Научным итогом деятельности объединенной лаборатории экологической биохимии можно считать ее вклад в разработку фундаментальных проблем биологии — биохимической генетики полиплоидных видов осетровых рыб; стратегий организации белков/протеомов плазмы и анцестральных механизмов капиллярного обмена у рыб; цитогенетической и биохимической изменчивости и молекулярной филогенетики хирономид; стратегий формирования изолирующих механизмов и полового отбора при однонаправленной гибридизации рыб; об эволюционном возникновении механизма старения и онкогенеза и другие. Результаты исследований представлены и обобщены в публикациях в отечественных и зарубежных журналах, монографиях и других трудах.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания №124032500015-7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архивы Санкт-Петербурга: современники (коллеги, ученики) об И.П. Павлове и его работе: Иван Петрович Павлов, Долин Павел Иванович. https://spbarchives.ru/pavlov_2.
- Кузьмин Е.В., Андреева А.М. Страница памяти ИБВВ РАН им. И.Д. Папанина: Владимир Иванович Лукьяненко. <https://www.ibiw.ru/index.php?p=about>.
- Лукьяненко В.И. Роль физиологических механизмов динамического стереотипа в изменении направленности иммунологических и аллергических реакций: (Эксперим. исследование). Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М.: АН СССР, 1961. 16 с.
- Лукьяненко В.И. Иммунобиология рыб. Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Киев: АН УССР, 1970. 38 с.

REFERENCES

- Arhivy Sankt-Peterburga: sovremenniki (kollegi, ucheniki) ob Ivane Petroviche Pavlove i ego rabote: Ivan Petrovich Pavlov, Dolin Pavel Ivanovich [Archives of St. Petersburg: contemporaries (colleagues, students) about Ivan Petrovich Pavlov and his work: Ivan Petrovich Pavlov, Dolin Pavel Ivanovich]. https://spbarchives.ru/pavlov_2. [In Russian]
- Kuz'min E.V., Andreeva A.M. Stranica pamyati IBVV RAN im. I.D. Papanina: Vladimir Ivanovich Luk'yanenko [Memorial Page of the I.D. Papanin Institute of Higher Education of the Russian Academy of Sciences: Vladimir Ivanovich Lukyanenko]. <https://www.ibiw.ru/index.php?p=about>. [In Russian]
- Luk'yanenko V.I. Rol' fiziologicheskikh mekhanizmov dinamicheskogo stereotipa v izmenenii napravlenosti immunologicheskikh i allergicheskikh reakcij (Eksperim. issledovanie) [The role of physiological mechanisms of the dynamic stereotype in changing the direction of immunological and allergic reactions (Experimental study)]. *Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Diss.* Moscow, 1961. 16 p. [In Russian]
- Luk'yanenko V.I. Immunobiologiya ryb [Immunobiology of fish]. *Extended Abstract of Dr. Biol. Sci. Diss.* Kyiv, 1970. 38 p. [In Russian]

TO THE 45TH ANNIVERSARY OF THE LABORATORY OF ECOLOGICAL BIOCHEMISTRY OF AQUATIC ORGANISMS

A. M. Andreeva

*Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences,
152742 Borok, Russia, e-mail: aam@ibiw.ru*

Revised 10.02.2025

The review presents the history of the creation, formation and development of the laboratory of ecological biochemistry of aquatic organisms in the period from 1979 to 2024, and notes the key role of its first head, Vladimir Ivanovich Lukyanenko, in the formation of the research strategy. The main areas of scientific research, the tasks solved within their framework, as well as the achievements of the laboratory at different stages of its activity are listed.

Keywords: ecological biochemistry, laboratory, anniversary, aquatic organisms, achievements