

На правах рукописи



Калинина Евгения Анатольевна

**ЭКОЛОГО-ПОПУЛЯЦИОННЫЕ И ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ
GLYPTOTENDIPES GLAUCUS MG. (DIPTERA, CHIRONOMIDAE)
ИЗ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

1.5.15 Экология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Калининград – 2025

Работа выполнена в образовательно-научном кластере «Институт медицины и наук о жизни (МЕДБИО)» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» (ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта»)

Научный руководитель:

кандидат биологических наук, доцент,
ВИНОКУРОВА Наталья Владимировна

Официальные оппоненты:

КУЗНЕЦОВА ВАЛЕНТИНА ГРИГОРЬЕВНА, доктор биологических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт Российской академии наук (ЗИН РАН), главный научный сотрудник лаборатории систематики насекомых

ИВИЧЕВА КСЕНИЯ НИКОЛАЕВНА, кандидат биологических наук, Санкт-Петербургский филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (ИЦиГ СО РАН)

Защита диссертации состоится «17» марта 2026 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 37.2.007.05 на базе ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» по адресу: г. Калининград, ул. Профессора Баранова, д. 43, Зал заседаний диссертационных советов (ауд. 101).

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» и на сайте https://klgtu.ru/dissertations/detail/?ELEMENT_ID=4218

Автореферат разослан «___» _____ 20__ г.

Отзывы на автореферат следует посылать по адресу: 236022, Калининград, Советский пр., д.1, ФГБОУ ВО «КГТУ», диссертационный совет Д 37.2.007.05, ученому секретарю, а также по электронной почте: tatyana.troyan@klgtu.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук

Татьяна Николаевна Троян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Техногенное развитие экономики оказывает значительное негативное воздействие на природную среду, создавая высокие риски загрязнения континентальных пресноводных водоемов. Основную опасность для экологического равновесия представляет аккумуляция тяжелых металлов в донных отложениях, которые поступают в организмы гидробионтов через покровы тела и с пищей. Концентрация тяжелых металлов в гидробионтах многократно превышает предельно допустимые концентрации водной среды, что индуцирует хромосомный мутагенез и обуславливает долгосрочные изменения генетической структуры популяций (Michailova, 1989; Hirabayashi, 1991; Клишко и др., 2005; Галатова, 2007; Ferrington, 2008; Провиз, 2012; Влияние ..., 2014; Дурнова и др., 2017; Винокурова и др., 2021).

Личинки семейства Chironomidae – доминанты макрозообентоса, представляющие собой чувствительную модель для биоиндикации и биотестирования воздействия химических антропогенных факторов на биоту водоемов (Ветров, Чугай, 1988; Петрова и др., 2004; Зинченко, 2005; Винокурова и др., 2007; Безматерных, 2008; Luoto, 2009; Винокурова и др., 2013; Мельников, Марцун, 2015). Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) сертифицировала хирономид в качестве рекомендуемых видов для биотестирования загрязнителей водной среды (OECD, 2023). Важнейшим преимуществом хирономид является наличие в клетках слюнных желез политенных хромосом, что позволяет проводить высокоточный кариологический анализ. Данный метод предоставляет уникальную возможность оценивать структурные изменения генома (инверсии, аберрации) в ответ на генотоксический стресс и служит высокочувствительным фенотипическим маркером экологического неблагополучия, дополняя современные молекулярно-генетические подходы (Константинов, 1958; Кариотипы ..., 1991; Кикнадзе, Истомина, 2000; Нарчук, 2003; Petrova et al., 2007; Безматерных, 2008; Чубарева, 2008; Luoto, 2009; Винокурова и др., 2016, 2019; Vinokurova et al., 2018; Петрова, Михайлова, 2021).

Одним из видов, демонстрирующих высокий уровень цитогенетического полиморфизма, является фитофильный вид *Glyptotendipes glaucus* (Meigen, 1818). Исследование инверсионного полиморфизма в природных популяциях данного вида

представляет значительный интерес для выявления механизмов адаптации к антропогенному воздействию и определяет актуальность настоящего исследования.

Степень разработанности темы. Экология, популяционная биология и цитогенетические аспекты *G. glaucus*, как широко распространенного вида хирономид в различных типах водоемов, глубоко исследованы в работах как отечественных ученых так и зарубежных исследователей – Беляниной С.И., Дурновой Н.А., Зинченко Т.Д., Калугиной Н.С., Кикнадзе И.И., Петровой Н.А., Провиз В.И., Жирова С.В, Hoffrichter O., Kownacki A., Michailova P. Исследованию хромосомного полиморфизма *G. glaucus* посвящены работы Беляниной С.И. и Дурновой Н.А. Тем не менее, комплексные эколого-популяционные и цитогенетические региональные исследования этого вида в малых водоемах Калининградской области, оценивающие влияние загрязнения на кариотип, за редким исключением, отсутствуют.

Цель исследования – изучить эколого-популяционные и цитогенетические характеристики природных популяций *G. glaucus* из малых водоемов Калининградской области.

Для достижения цели решались следующие **задачи**:

1. Выявить картографические границы ареала вида *G. glaucus* в России и Европе и оценить его экологическую значимость в исследуемых природных таксоценозах хирономид водоемов Калининградской области (шесть водоемов г. Калининграда и оз. Чайка на Куршской косе).

2. Выявить связь количественного изменения *G. glaucus* с содержанием тяжелых металлов в донных отложениях водоемов Калининградской области.

3. Провести кариологический анализ природных популяций *G. glaucus* из водоемов Калининградской области.

4. Определить качественно-количественные показатели инверсионного полиморфизма политенных хромосом *G. glaucus* из исследуемых водоемов.

5. Выявить зависимость хромосомного инверсионного полиморфизма природных популяций *G. glaucus* от содержания тяжелых металлов в донных отложениях водоемов Калининградской области.

Научная новизна. Впервые для малых водоемов Калининградской области проведено обширное исследование популяций *G. glaucus* и получены данные об естественном хромосомном инверсионном полиморфизме, выявлено и картировано

8 новых последовательностей дисков хромосом. Предложен индекс варибельности для оценки изменчивости структуры политенных хромосом *G. glaucus*. Проведен химический анализ содержания тяжелых металлов в донных отложениях и выявлена зависимость инверсионного полиморфизма *G. glaucus* в таксоценозах хирономид от содержания определенных тяжелых металлов в донных отложениях водоемов Калининградской области.

Теоретическая и практическая значимость работы. Данные о хромосомном инверсионном полиморфизме и экологической значимости *G. glaucus* имеют теоретическое значение для дальнейших исследований и поиска адаптивных маркеров вида. Практическая значимость заключается в возможности использования *G. glaucus* для биомониторинга континентальных водоемов и изучения влияния тяжелых металлов на адаптивный потенциал вида. Данные о содержании тяжелых металлов в донных отложениях исследованных водоемов и их воздействии на политенные хромосомы *G. glaucus* могут служить основой для поиска критериев воздействия ксенобиотиков на кариотип Chironomidae. Обобщенные сведения о распространении *G. glaucus* в странах Евразии и в Великобритании могут быть использованы для прогнозирования изменчивости ареала вида. Также результаты работы вносят вклад в изучение микроэволюционных процессов *G. glaucus*.

Сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов. Результаты диссертационного исследования внедрены и используются в образовательном процессе ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» при подготовке обучающихся по направлениям 06.03.01 Биология, 06.04.01 Биология, программа «Сохранение биоразнообразия и охрана окружающей среды», специальности 06.05.01 Биоинженерия и биоинформатика в рамках учебных дисциплин и практики: «Экологическая генетика», «Популяционная биология», «Практикум по клеточной биологии», «Зоология беспозвоночных», «Биоразнообразие и методы его оценки», «Биоиндикация и биотестирование», «Учебная ознакомительная практика» (акт внедрения от 30.09.2024).

Положения, выносимые на защиту:

1. Личинки *G. glaucus* являются доминантным фитофильным видом природных таксоценозов хирономид перифитона водоемов Калининградской области.

2. Природные популяции *G. glaucus* водоемов Калининградской области демонстрируют увеличение адаптивного потенциала за счет формирования и закрепления новых инверсионных последовательностей дисков хромосом в генофонде популяций.

3. Тяжелые металлы – поллютанты донных отложений, стабилизирующие наследственные структуры генома, могут идиопатически и в разной степени оказывать мутагенное влияние на кариотип *G. glaucus*.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов обоснована использованием классических методик отбора материала, кариологическим и морфологическим анализом, объемом материала. Исследования носят комплексный характер и соответствуют сформулированным в данной работе цели и задачам. Выводы основаны на анализе полученных результатов, соответствуют цели и полностью раскрывают задачи, поставленные в диссертации.

Апробация работы. Материалы диссертации были представлены на всероссийской (с международным участием) научной школе-конференции, посвященной 115-летию со дня рождения А. А. Уранова «Современные концепции экологии биосистем и их роль в решении проблем сохранения природы и природопользования» (Пенза, 2016); 11th International scientific conference «European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences» (Вена, 2016); конкурсе научных работ молодых ученых и специалистов Калининградской области (Калининград, 2016); VI международной конференции по кариосистематике беспозвоночных животных (Саратов, 2016); XXIV всероссийской молодежной научной конференции с элементами научной школы «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Сыктывкар, 2017); всероссийской научной конференции «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов» в рамках V международного Балтийского морского форума (Калининград, 2017); XII съезде Гидробиологического Общества при Российской Академии наук (Петрозаводск, 2019); VII международной научно-практической конференции «Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование» (Москва, 2020); IV международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности» (Санкт-Петербург, 2021 г.); международной научно-практической конференции «Инновационное развитие современной науки:

новые подходы и актуальные исследования» (Москва, 2024 г.); 13-ом съезде гидробиологического общества при РАН (Архангельск, 2024 г.).

Личный вклад автора. Сборы полевого материала, кариологический и морфологический анализ материала, обобщение данных, интерпретация полученных результатов, основные положения и выводы выполнены автором.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 22 научных работы, в том числе, 3 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 из которых индексируется в международной базе Scopus.

Связь темы диссертации с плановыми исследованиями. Работа проведена в рамках тематик научных исследований Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский федеральный университет им. И. Канта». Исследование поддержано грантом в рамках проекта повышения конкурентоспособности ведущих российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров «5-100» Балтийского федерального университета им. И. Канта (№ 1063 стс, 2016).

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, трех глав, заключения, выводов и списка литературы из 265 наименований, 67 источников на иностранных языках. Общий объем работы: 166 страниц, 36 рисунков, 29 таблиц, 5 приложений.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.5.15 Экология (п. 3, п.10).

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность к.б.н., доценту Н.В. Винокуровой за научное руководство и поддержку на всем протяжении исследований. Искренне признательна за помощь в выполнении полевых работ и изучении материала к.б.н., Т.А. Червоткиной и А.Ю. Шартон, м.н.с. лаборатории морской экологии Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Выражаю отдельную благодарность руководству и сотрудникам ОНК «Институт медицины и наук о жизни (МЕДБИО)» БФУ им. И. Канта за помощь в выполнении исследований. Особую признательность выражаю своей семье за оказанную поддержку и проявленное терпение.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Обзор литературы

В разделе представлена общая характеристика биологии и экологии личинок хирономид (Diptera, Chironomidae). На основе литературных данных составлен кадастр поверхностных водных объектов ареала *G. glaucus* Mg. Приведено систематическое положение вида, описаны особенности его морфологии, питания, газообмена, а также экологические факторы, определяющие репродуктивную биологию и развитие. Рассмотрена структурно-функциональная организация политенных хромосом хирономид, особенности кариотипа и характерные хромосомные aberrации *G. glaucus*. Представлена информация о тяжелых металлах, как об основных загрязнителях водных экосистем.

Глава 2. Объекты и методы исследования

2.1. Методики исследований личинок хирономид

Объект исследования – 2476 личинок хирономид, в том числе 742 личинки вида *G. glaucus* IV стадии развития из природных популяций 6 водоемов г. Калининграда (озеро Школьное, система прудов Карасевка, пруд Ботанического сада, пруд Нижний, озеро Пеньковое, пруд Чистый) и озера Чайка, расположенного на Куршской косе (территория национального парка). Сбор личинок производился в период 2012-2015 гг. с корней и погруженных в воду листьев *Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Sparganium emersum* Rehmman, *Typha angustifolia* L., *Typha latifolia* L. Собранный материал фиксировали стандартными методами (Калугина, 1975; Панкратова, 1983; Петрова и др., 2004; Голыгина и др., 2013; Kownacki et al., 2016, 2017).

Для оценки экологической значимости *G. glaucus* в таксоценозах хирономид Калининградской области использован индекс доминирования Паляя-Ковнацки (D_i) (Pinder, 1986; Шитиков и др., 2003; Sonoda et al., 2009). Идентификация *G. glaucus* проводилась по морфологическим и кариологическим признакам личинок (Черновский, 1949; Калугина, 1975; Панкратова, 1983; Нарчук, 2003; Петрова и др., 2004; Голыгина и др., 2013; Винокурова и др., 2016; Kownacki et al., 2016, 2017). Временные цитологические препараты политенных хромосом слюнных желез личинок готовили по стандартной ацето-орсеиновой методике (Кариотипы ..., 1991; Кикнадзе и др., 2000; Петрова и др., 2000; Голыгина и др., 2013).

Картирование хромосом *G. glaucus* выполнено по системе Беляниной, Дурновой (1998) (Belyanina, Durnova, 1998). Уровень инверсионного хромосомного полиморфизма популяции рассчитывался по числу гетерозиготных и гомозиготных инверсий. Цитогенетическая структура популяций оценивалась по следующим показателям: среднее число ГИ на особь; количество стандартных и инверсионных последовательностей; количество геномных комбинаций последовательностей дисков; показатель отношения числа инверсионных последовательностей к числу геномных комбинаций (ЧИП/ЧГК) (Петрова и др, 2003, 2004, 2005; Petrova, et al., 2007; Винокурова и др., 2008; Kiknadze et al., 2008; Шартон и др., 2010; Петрова, Жиров, 2011; Голыгина и др., 2013; Белянина, 2014; Дурнова и др., 2014). Оценку уровня генетического разнообразия проводили путем расчета наблюдаемой (H_n) и ожидаемой (H_o) гетерозиготности для каждого хромосомного плеча (Stepanov, Puzyrev, 2000; Шорохова и др., 2005; Oliveira et al., 2005; Wigginton et al., 2005; Edwards, 2008; Andrews, 2010). Для оценки изменчивости структуры политенных хромосом *G. glaucus* разработан новый показатель – индекс вариабельности инверсионного полиморфизма кариотипа, выраженный в отношении суммарных показателей частот инверсий к частотам стандартных последовательностей.

Корреляционный анализ осуществлялся с помощью метода ранговой корреляции Спирмена.

Фотографии кариотипа *G. glaucus* были получены с помощью микроскопа Axio Scope.A1 и фотокамеры AxioCamMRc5 (10x20) (CarlZeiss, Германия) с использованием программы ZEN 2011 (blue edition).

2.2. Методики определения содержания металлов в донных отложениях

Содержание металлов в пробах определялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии в соответствии с методиками ВИМС (№ 450-С, № 155-ХС). Анализ кадмия и свинца проводился на спектрометре Квант-Z.ЭТА с электротермической атомизацией, остальных элементов – на пламенном спектрометре Varian AA240FS. В связи с отсутствием федеральных нормативных документов, устанавливающих значения предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) тяжелых металлов для донных отложений, для сравнительного анализа были использованы значения ПДК и ОДК для почв (ГН ..., 2006, 2009).

2.3. Общая характеристика исследованных водоемов

Приведена краткая характеристика 6 водоемов городской черты г. Калининграда и озера Чайка, расположенного на Куршской косе (территория национального парка) (рисунок 1).

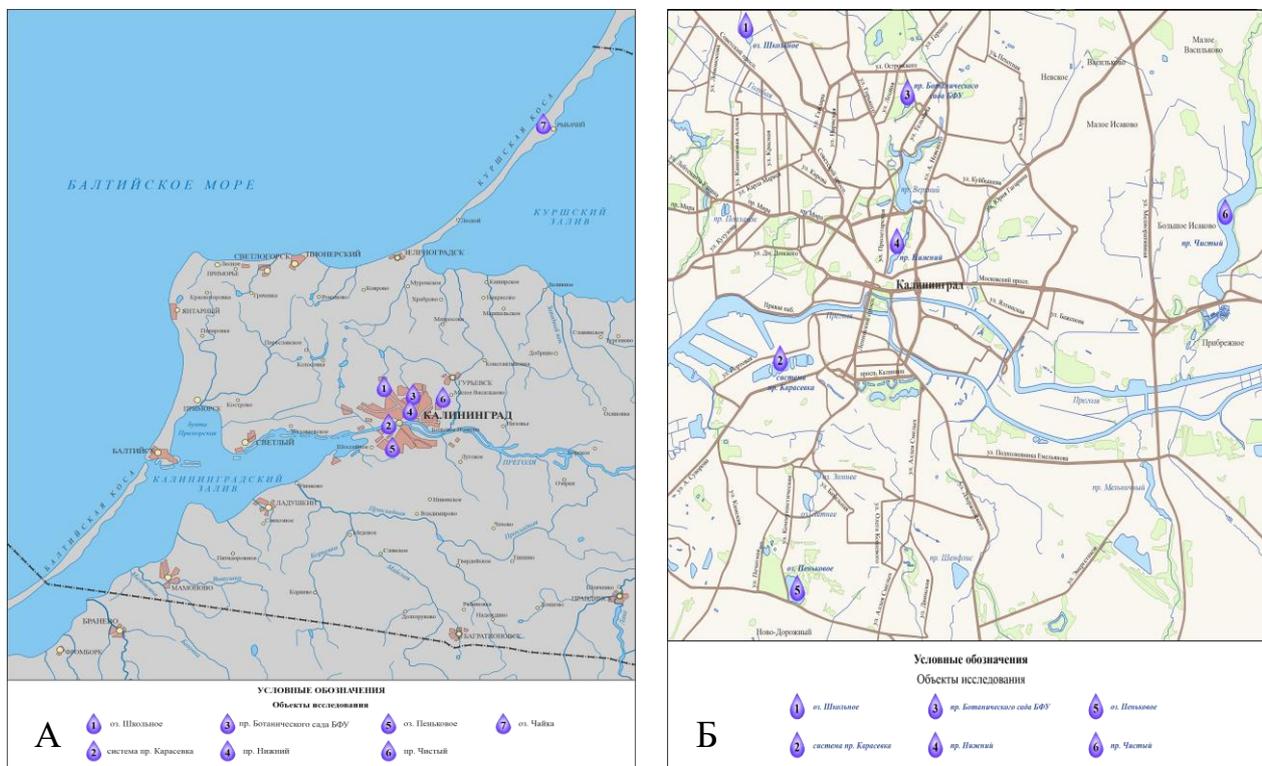


Рисунок 1 – А – Карта-схема расположения объектов исследования; Б – Карта-схема расположения исследованных малых водоемов на территории г. Калининграда (картографическая основа – Географический атлас Калининградской области, 2002)

Исследуемые водоемы испытывают значительную антропогенную нагрузку, преимущественно обусловленную поступлением хозяйственно-бытовых и поверхностных сточных вод.

Глава 3. Результаты исследования и их обсуждение

3.1. Ареал *Glyptotendipes glaucus* в странах Евразии и в Великобритании

На основании литературных данных составлена карта распространения *G. glaucus* в странах Евразии и в Великобритании. Карта включает детально рассмотренные субъекты Северо-Западного федерального округа РФ и страны Европы (Opaliński, 1971; Learner, Potter, 1974; Michailova, 1987, 1995, 1996; Michailova, Contreras-Lichtenberg, 1995; Michailova et al., 2001; Ilkova, 2004; Smiljkov, Slavevska-Stamenkovic, 2006; Михайлина, 2000; Скальская, Жгарева, 2007; Дурнова, 2008, 2010, 2011; 2012; Домбровский, 2009; Петрова, Жиров, 2011; Винокурова,

Шмаров, 2013; Демина, 2013; Зеленцов, 2013; Комулайн и др., 2013; Стрельникова, 2013; Белянина, 2014; Демин, Полуконова, 2014; Дурнова и др., 2014; Морозова и др., 2014; Слуковский, 2014; Бажора, 2015; Барабашова, 2015; Безматерных, Щербина, 2015; Беляков и др., 2015; Винокурова, Гапаненок, 2015; Ивичева, Филоненко, 2015; Беляков, 2016; Винокурова и др., 2016; Жиров, Мыльников, 2016; Vinokurova et al., 2018; Беляков и др., 2019; Шibaева, 2019; Ткачева и др., 2021).

3.2. Оценка экологической значимости *Glyptotendipes glaucus* в природных таксоценозах хирономид

В результате исследований таксоценозов хирономид идентифицировано 23 вида, относящихся к двум подсемействам. Подсемейство *Chironominae* представлено трибой *Chironomini* (8 родов, 18 видов) и трибой *Tanitarsini* (1 вид – *Cladotanytarsus manicus* (Walker)). Подсемейство *Orthoclaadiinae* включало 4 вида. По количеству видов род *Chironomus* (без учета таксонов группы *Chironomus sp.*) и род *Glyptotendipes* представлены равным количеством видов (по 4 вида).

G. glaucus доминировал во всех таксоценозах хирономид, что определило выбор индекса доминирования Палия-Ковнацки для оценки его экологической значимости (Шитиков и др., 2003; Количественные ..., 2005) (рисунок 2).

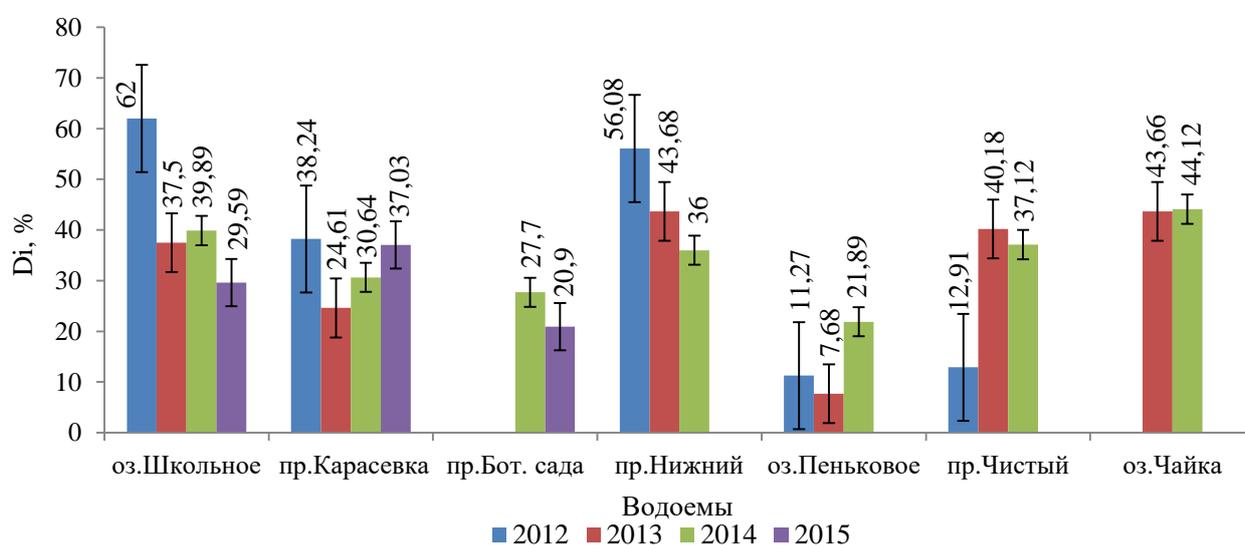


Рисунок 2 – Варьирование значений индекса доминирования Палия-Ковнацки *G. glaucus* в природных таксоценозах хирономид малых водоемов Калининградской области по годам (2012-2015 гг.)

Согласно данным индекса, вид характеризуется как доминантный и эврихорный, за исключением оз. Пеньковое (2013 г.), в котором *G. glaucus* имел статус субдоминанта (рисунок 2). Преобладание фитофильного *G. glaucus* объясняется его

толерантностью к различным типам грунтов и благоприятным аэробным условиям в зарослях макрофитов водоемов.

Таким образом, вариативность индекса доминирования Паляя-Ковнацки для *G. glaucus* позволяет выделить три комплекса водоемов. Первый комплекс составляют водоемы – оз. Школьное, пр. Ботанического сада и пр. Нижний, в которых уровень доминирования *G. glaucus* снижается по годам исследования. В состав второго комплекса входят оз. Пеньковое и пр. Чистый с увеличивающимся уровнем доминирования вида. Третий комплекс представлен двумя водоемами, системой пр. Карасевка и оз. Чайка, и характеризуется константным доминированием *G. glaucus* (рисунок 2). В данном разделе проанализировано влияние концентраций тяжелых металлов в донных отложениях водоемов Калининградской области на вариативность значений доминантного статуса *G. glaucus* (таблица 1). В оз. Пеньковое зарегистрировано превышение ПДК по Zn, Cr, Co, Ni, Cu и Fe в 2013-2014 гг., что сопровождалось минимальными значениями индекса Паляя-Ковнацки. В прудах (пр. Ботанического сада, система пр. Карасевка, пр. Чистый и пр. Нижний) и оз. Школьное выявлено превышение ПДК по тому же спектру тяжелых металлов, наряду с варьированием избыточного содержания Zn и Ni по годам. Динамика значений индекса Паляя-Ковнацки для *G. glaucus* в данных водоемах соответствует выявленной тенденции (таблица 1, рисунок 3).

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов в донных отложениях водоемов Калининградской области

Название водоема	Год	Элемент, мг/кг				
		I класс опасности			II класс опасности	
		Pb 32,0*	Zn 23,0*	Cd 2,0**	Cr 6,0*	Co 5,0*
Школьное озеро	2014	25,3 ± 2,7	55,2 ± 5,9	0,42 ± 0,04	20,3 ± 2,2	7,6 ± 0,8
	2015	10,5 ± 1,1	41,3 ± 4,4	0,15 ± 0,02	25,4 ± 2,7	15,3 ± 1,6
Карасевка система прудов	2014	3,1 ± 0,3	17,2 ± 1,8	0,11 ± 0,01	11,2 ± 1,2	7,4 ± 0,8
	2015	17,2 ± 1,8	24,4 ± 2,6	0,11 ± 0,01	8,3 ± 0,9	8,2 ± 0,9
пруд Ботанического сада	2014	10,1 ± 1,1	44,5 ± 4,7	0,33 ± 0,04	8,2 ± 0,9	12,4 ± 1,3
	2015	10,2 ± 1,1	18,7 ± 2	0,25 ± 0,03	10,4 ± 1,1	10,6 ± 1,1
Нижний пруд	2013	18,6 ± 2,0	20,3 ± 2,2	0,11 ± 0,01	11,3 ± 1,2	7,6 ± 0,8
	2014	13,2 ± 1,4	36,6 ± 3,9	0,11 ± 0,01	15,6 ± 1,7	8,5 ± 0,9
Пеньковое озеро	2013	20,1 ± 2,1	48,3 ± 5,1	0,11 ± 0,01	12,4 ± 1,3	7,2 ± 0,8
	2014	13,7 ± 1,5	60,1 ± 6,4	0,11 ± 0,01	18,6 ± 2,0	7,3 ± 0,8
Чистый пруд	2013	5,4 ± 0,6	38,4 ± 4,1	0,21 ± 0,02	10,7 ± 1,1	9,3 ± 1,0
	2014	8,3 ± 0,9	41,3 ± 4,4	0,43 ± 0,05	16,6 ± 1,8	8,3 ± 0,9
озеро Чайка	2013	9,2 ± 1,0	12,5 ± 1,3	0,11 ± 0,01	2,2 ± 0,2	3,3 ± 0,4
	2014	6,5 ± 0,7	10,3 ± 1,1	0,21 ± 0,02	1,4 ± 0,1	2,1 ± 0,2

Продолжение таблицы 1

Название водоема	Год	Элемент, мг/кг			
		II класс опасности		III класс опасности	
		Ni 4,0*	Cu 3,0*	Fe 3800*	Mn 1500*
Школьное озеро	2014	10,7 ± 1,1	20,2 ± 2,1	12600 ± 1340,4	400 ± 42,6
	2015	14,1 ± 1,5	20,3 ± 2,2	16600 ± 1766	400 ± 42,6
Карасевка система прудов	2014	5,3 ± 0,6	7,3 ± 0,8	9300 ± 989,4	300 ± 31,9
	2015	3,4 ± 0,4	14,5 ± 1,5	6000 ± 638,3	200 ± 21,3
пруд Ботанического сада	2014	17,3 ± 1,8	14,6 ± 1,6	11800 ± 1255,3	300 ± 31,9
	2015	14,6 ± 1,6	9,6 ± 1,0	8700 ± 925,5	300 ± 31,9
Нижний пруд	2013	5,6 ± 0,6	9,3 ± 1,0	9500 ± 1010,6	200 ± 21,3
	2014	4,0 ± 0,4	16,1 ± 1,7	7000 ± 744,7	200 ± 21,3
Пеньковое озеро	2013	5,9 ± 0,6	10,5 ± 1,1	5200 ± 553,2	100 ± 10,6
	2014	9,1 ± 1,0	18,3 ± 1,9	6000 ± 638,3	200 ± 21,3
Чистый пруд	2013	6,3 ± 0,7	16,4 ± 1,7	10000 ± 1063,8	300 ± 31,9
	2014	4,0 ± 0,4	15,6 ± 1,7	6000 ± 638,3	300 ± 31,9
озеро Чайка	2013	3,2 ± 0,3	9,3 ± 1,0	2800 ± 297,9	100 ± 10,6
	2014	3,1 ± 0,3	9,3 ± 1,0	2200 ± 234	100 ± 10,6

Примечания: * - Предельно допустимые концентрации (ПДК);

** - Ориентировочно допустимая концентрация (ОДК);

Текстом красного цвета выделены значения, превышающие ПДК.

Когерентный анализ данных индекса Паляя-Ковнацки для *G. glaucus* и концентраций тяжелых металлов, превышающих ПДК в семи водоемах, выявил отрицательную зависимость между логарифмами этих показателей для оз. Чайка. (таблица 1, рисунок 3).

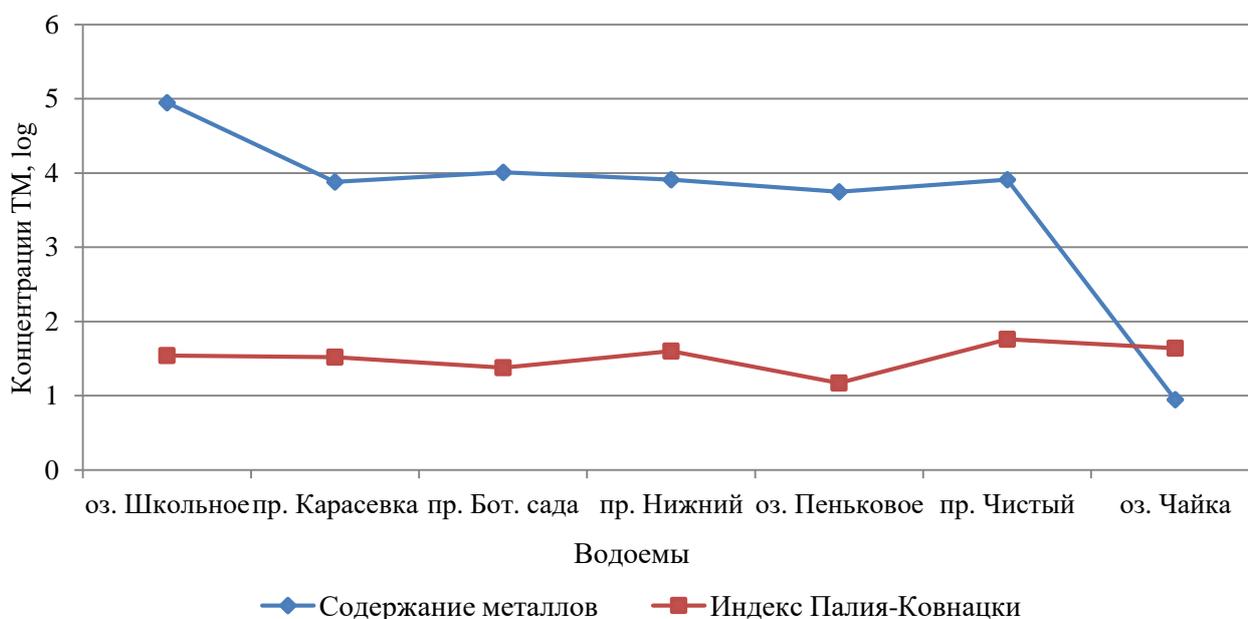


Рисунок 3 – Зависимость значений индекса доминирования Паляя-Ковнацки *G. glaucus* от логарифма концентраций тяжелых металлов в донных отложениях водоемов Калининградской области

Следует отметить, что в оз. Чайка суммарное содержание металлов минимальное по сравнению с другими водоемами, превышение ПДК зафиксировано только по Cu и установлены минимальные значения содержания Zn, Cr, Co, Fe, Mn

Таким образом, величина индекса Паляя-Ковнацки может служить показателем отрицательного влияния тяжелых металлов на таксоценозы хирономид исследованных гидроэкосистем.

3.3. Общая характеристика кариотипов *Glyptotendipes glaucus* природных популяций из водоемов Калининградской области

В разделе описаны особенности структурно-функциональной организации политенных хромосом *G. glaucus* из водоемов Калининградской области. В результате исследования политенных хромосом *G. glaucus* идентифицировано 35 последовательностей дисков хромосом (ПДХ), из них 8 новых для вида: glaC4, glaD6, glaD7, glaD8, glaE9, glaG6, glaG7, glaG8 (таблица 2).

Таблица 2 – Идентифицированные новые последовательности дисков хромосом (ПДХ) природных популяций *G. glaucus* из водоемов Калининградской области

ПДХ	Порядок отделов дисков хромосом
<i>glaC4</i>	1 2 <u>4b-a</u> 3 4c-e 5 6 7 8 9 10 12 13 14 15 16...
<i>glaD6</i>	...17 18 19 20 21 22 <u>23b-a</u> <u>23c-g</u> 24 25 26 27 28 29 30
<i>glaD7</i>	...17 18 19 20 21 22 23ab <u>23e-c</u> 23fg 24 25 26 27 28 29 30
<i>glaD8</i>	...17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 <u>28c-a</u> 28d-l 29 30
<i>glaE9</i>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <u>11abcd</u> <u>12a-f</u> <u>11 ef</u> 12 13 14...
<i>glaG6</i>	дубликация отдела 5-7d
<i>glaG7</i>	1 2 3 4 6 7 6 5 4 8
<i>glaG8</i>	1 2 3 4 5 6 <u>7jihgf</u> 8

Некоторые новые последовательности зарегистрированы неоднократно, что свидетельствует об их постепенном закреплении в генофонде природных популяций *G. glaucus* водоемов Калининградской области.

3.4. Сравнительный анализ данных инверсионного полиморфизма природных популяций *Glyptotendipes glaucus*

Основной показатель естественного инверсионного хромосомного полиморфизма популяций *G. glaucus* – число гетерозиготных инверсий на особь. В популяциях *G. glaucus* водоемов Калининградской области показатель естественного полиморфизма не превысил известного уровня для популяций Саратовской и

Брянской областей и варьировал от 0,84 (пруд Чистый) до 1,61 (пруд Ботанического сада), составляя в среднем 1,11 (Belyanina, Durnova, 1998; Белянина, 2014) (таблица 3).

Таблица 3 – Средние показатели инверсионного полиморфизма популяций *G. glaucus* малых водоемов Калининградской области (2012-2015 гг.)

Водоемы	Озеро Школьное	Система прудов Карасевка	Пруд Ботанического сада	Пруд Нижний	Озеро Пеньковое	Пруд Чистый	Озеро Чайка
Показатели полиморфизма							
Количество исследованных особей (абсолютное число)	200	112	45	100	60	113	112
Количество особей со стандартным кариотипом (абсолютное число)	51	21	3	8	6	32	34
Процент особей со стандартным кариотипом, %	25,5	18,75	6,66	8	10	28,31	30,35
Число гетерозиготных инверсий на особь	1,04	1,24	1,61	1,08	0,89	0,84	1,08
Число гомозиготных инверсий на особь	0,26	0,23	0,66	0,28	0,22	0,13	0,15
Число гомо- и гетерозиготных инверсий на особь	1,3	1,47	2,27	1,36	1,11	0,97	1,23
Число инверсионных последовательностей	11	9	6	7	5	6	13
Число геномных комбинаций	23	17	16	14	11	13	26
Отношение числа инверсионных последовательностей к числу геномных комбинаций (ЧИП/ЧГК)	0,48	0,53	0,38	0,50	0,45	0,46	0,50
Индекс инверсионного полиморфизма кариотипа, %	24,03	26,44	49,96	25,54	21,24	16,12	21,3

Выявлены высокие показатели числа гомо- и гетерозиготных инверсий на особь в популяциях *G. glaucus* Калининградской области – от 0,97 (пр. Чистый) до 2,27 (пр. Ботанического сада), в среднем 1,38. Значение этого показателя для пр. Ботанического сада превышало до двух раз этот показатель для других водоемов, как и значение уровня инверсионного полиморфизма (таблица 3). Высокие значения данных показателей, как и значительно меньший процент особей со стандартным кариотипом (от 6,66 до 30,35%), обусловлены преобладанием во всех природных популяциях *G. glaucus* водоемов г. Калининграда и оз. Чайка инвертированной

последовательности *glaB2* в гомо- и гетерозиготных генотипических комбинациях (*glaB1.2*, *glaB2.2*) над стандартной последовательностью *glaB1*. Относительно низкая частота *glaB1*, возможно, является результатом внутривидовой дивергенции с закреплением гомозиготной инверсии *glaB2* при образовании инверсионных комплексов с последовательностями *glaB3*, *glaB5* и *glaB6*.

В популяциях *G. glaucus* установлена эврихорность *glaB2*, *glaA2*, *glaB3*, *glaD2*, *glaG4*, которая демонстрирует вариативность и динамичность данной части генома, обнаруженной в более ранних исследованиях (Шартон и др., 2010). Следует отметить, неоднократную встречаемость *glaC4*, *glaD6*, *glaD7* и *glaE9* в нескольких исследованных водоемах, что указывает на постепенное закрепление данных последовательностей в популяциях Калининградской области. Необходимо подчеркнуть факт пролонгированного закрепления последовательностей *glaB5*, *glaB6* и *glaE6+glaF7* в генофонде популяции *G. glaucus* региона, в связи с тем, что данные последовательности дисков были зафиксированы в нем 2010 г. и продолжают присутствовать.

Для выявления взаимосвязи между показателями уровня естественного хромосомного полиморфизма *G. glaucus* и качественно-количественным содержанием тяжелых металлов выполнен химический анализ донных отложений водоемов. В качестве исходных концентраций, оказывающих влияние на популяцию, приняты константные превышения ПДК почв для Zn, Cr, Co, Ni, Cu, Fe (таблица 1).

Из рисунка 4 следует, что прямая зависимость среднего числа гетерозиготных инверсий на особь от концентрации металлов прослеживается только в трех из семи водоемов: оз. Школьное и оз. Пеньковое – число гетерозиготных инверсий на особь увеличивается в связи с возрастанием концентраций металлов; системе пр. Карасевка – число гетерозиготных инверсий на особь уменьшается вместе со снижением концентрации металлов. В прудах Ботанического сада, Нижнем и Чистом данные показатели указывают на обратно пропорциональную зависимость.

В изменяющихся условиях популяция *G. glaucus* использует все инверсионные последовательности для формирования максимально возможного числа генотипических сочетаний. Таким образом, величина показателя ЧИП/ЧГК отражает пластичность популяции: и чем меньше этот показатель, тем выше пластичность и наоборот (Винокурова и др., 2008; Шартон и др., 2010; Калинина, Винокурова, 2017,

2017(1); Vinokurova et al., 2018). В популяциях *G. glaucus* показатель ЧИП/ЧГК варьировал от 0,38 (пр. Ботанического сада) до 0,53 (система пр. Карасевка) (таблица 3).

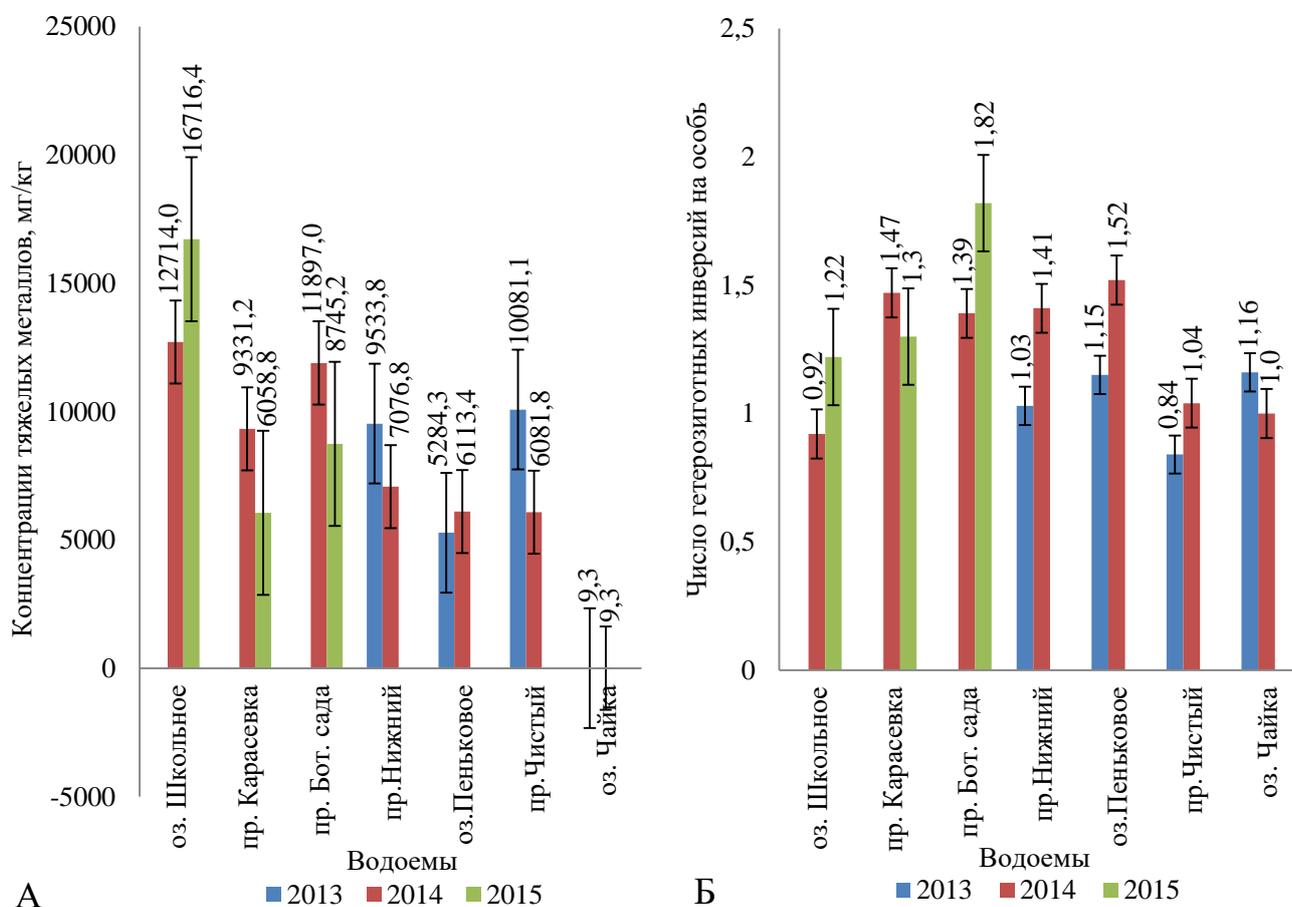


Рисунок 4 – Концентрации металлов, превышающих ПДК в донных отложениях (А), и число гетерозиготных инверсий на особь в природных популяциях *G. glaucus* (Б) водоемов Калининградской области 2013-2015 гг.

При сопоставлении данных химического анализа донных отложений водоемов и показателей ЧИП/ЧГК установлена обратно пропорциональная зависимость. Зафиксировано увеличение показателя ЧИП/ЧГК при уменьшении общего уровня содержания металлов, превышающих ПДК, в трех водоемах: пр. Ботанического сада, пр. Нижний и пр. Чистый по годам (рисунок 5). Изменчивость вышеуказанных показателей инверсионного полиморфизма, возможно, связана с дифференцированной ответной реакцией природных популяций *G. glaucus* на воздействие определенных металлов (Zn, Cr, Cu), участвующих в процессах стабилизации белковых структур, в том числе и в хромосомах (Белоногова, Белянина, 2003; Винокурова и др., 2008; Голованова, 2008; Полуконова, 2015; Винокурова, Калинина, 2019). Так, в пр. Ботанического сада наблюдалось увеличение числа

гетеризиготных инверсий на особь и ЧИП/ЧГК при превышении ПДК по Cr и Cu, в пр. Нижний – при превышении ПДК по Zn, Cr и Cu, в пр. Чистый – по Zn и Cr (рисунки 4, 5). Следует отметить, что в популяции *G. glaucus* оз. Чайка зафиксировано превышение Cu в донных отложениях в 2013 и 2014 гг. в 3 раза, среднее число гетерозиготных инверсий и показатель ЧИП/ЧГК уменьшились с 1,16 до 1,0 и с 0,58 до 0,39 соответственно (рисунки 4, 5).

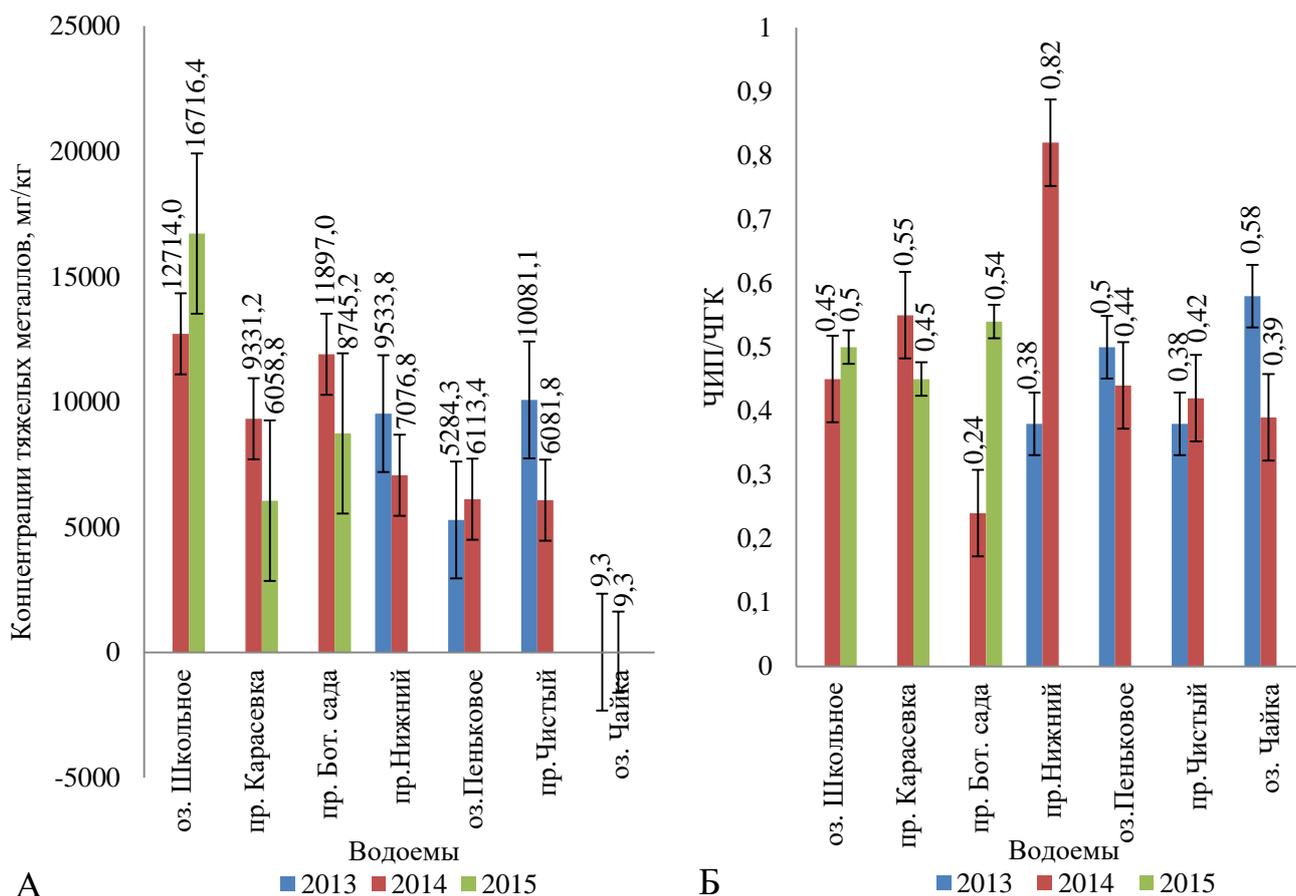


Рисунок 5 – Концентрации металлов, превышающих ПДК в донных отложениях (А), и отношение числа инверсионных последовательностей к числу геномных комбинаций в природных популяциях *G. glaucus* (Б) водоемов Калининградской области 2013-2015 гг.

Индекс варибельности инверсионного полиморфизма кариотипа демонстрирует переходную степень изменчивости генетической структуры исследованных популяций (16%-49%) и указывает на способность генома к модификации и, следовательно, на расширение адаптивных возможностей популяций *G. glaucus*.

Для установления корреляции между кариотипическими показателями популяций *G. glaucus* с тяжелыми металлами, превышающими ПДК в донных

отложениях водоемов Калининградской области, проведен корреляционный анализ Спирмена (таблица 4).

Таблица 4 – Корреляция интегральных кариотипических показателей природных популяций *G. glaucus* и тяжелых металлов, превышающих ПДК в донных отложениях водоемов Калининградской области

Последовательность	Элемент, мг/кг						Суммарный уровень содержания металлов, превышающих ПДК, мг/кг	Среднее число гетерозиготных инверсий на особь	Среднее значение ЧИП/ЧГК
	Zn	Cr	Co	Ni	Cu	Fe			
glaA1	-0,21	0,27	-0,21	-0,43*	-0,21	-0,17	-0,18	-0,04	0,43
glaA2	0,30	-0,17	0,23	0,58**	0,21	0,32	0,34	-0,01	-0,51*
glaA3 и другие	-0,40	-0,39	-0,24	-0,68**	-0,10	-0,60**	-0,65**	0,03	0,28
glaB1	-0,36	-0,48*	-0,28	-0,42	-0,19	-0,19	-0,22	-0,72**	-0,31
glaB2	0,36	0,41	0,22	0,47*	0,13	0,22	0,26	0,60**	0,15
glaB3 и другие	-0,31	0,19	0,26	-0,29	-0,12	-0,12	-0,15	0,54*	0,82**
glaC1	0,03	-0,24	-0,10	0,58**	-0,35	0,33	0,32	0,18	-0,26
glaC2	-0,27	-0,21	0,06	-0,57**	0,09	-0,41	-0,42	-0,08	0,08
glaC3 и другие	0,09	0,31	-0,13	-0,26	0,22	-0,11	-0,11	-0,36	0,09
glaD1	-0,21	0,06	-0,34	-0,07	-0,06	-0,09	-0,07	-0,46*	-0,13
glaD2	0,40	0,16	0,50*	0,21	0,21	0,14	0,17	0,50*	0,07
glaD3 и другие	-0,61**	-0,27	-0,41	-0,44*	-0,45*	-0,21	-0,28	0,05	0,35
glaE1	-0,54*	-0,20	-0,48*	-0,56**	-0,26	-0,32	-0,38	0,03	0,28
glaE3 и другие	0,54*	0,20	0,48*	0,56**	0,26	0,32	0,38	-0,03	-0,28
glaF1	-0,10	-0,14	0,02	-0,02	-0,04	-0,18	-0,16	0,14	-0,21
glaF3 и другие	0,10	0,14	-0,02	0,02	0,04	0,18	0,16	-0,14	0,21
glaG1	-0,16	0,26	-0,01	-0,36	0,12	-0,08	-0,04	-0,30	0,24
glaG3 и другие	0,16	-0,26	0,01	0,36	-0,12	0,08	0,04	0,30	-0,24

Примечания: * - статистическая значимость на уровне $p \leq 0,05$;

** - статистическая значимость на уровне $p \leq 0,01$.

Корреляционный анализ данных интегральных показателей естественного хромосомного полиморфизма природных популяций *G. glaucus* показал следующие закономерности. Показатель среднего числа гетерозиготных инверсий на особь отрицательно сильно коррелирует с последовательностями glaB1 и glaD1: чем больше значение показателя среднего числа гетерозиготных инверсий на особь, тем меньше значение последовательностей glaB1 и glaD1. Показатель среднего числа гетерозиготных инверсий на особь положительно умеренно коррелирует с последовательностями glaB2, glaD2 и последовательностями группы «glaB3 и

другие»: чем больше значение показателя среднего числа гетерозиготных инверсий на особь, тем больше значение показателей *glaB2*, *glaD2* и «*glaB3* и другие».

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что показатель среднего значения ЧИП/ЧГК отрицательно умеренно коррелирует с последовательностью *glaA2* и положительно сильно коррелирует с последовательностями группы «*glaB3* и другие».

Можно предположить, что популяции *G. glaucus* создают цитогенетические комплексы систем регулирования ответных реакций к содержанию тяжелых металлов в донных отложениях для стабильного функционирования организма. Одним из факторов, воздействующих на экосистемы водоемов Калининградской области, являются тяжелые металлы, которые наряду с другими стресс-факторами изменяют показатели кариотипа *G. glaucus* и формируют адаптивные механизмы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование подтверждает, что кариотипы личинок вида *G. glaucus* могут быть использованы как цитогенетическая модель для экологического мониторинга качества водной среды. Анализ хромосомного инверсионного полиморфизма позволяет оценивать внутривидовые адаптивные процессы.

На основании полученных данных сформулированы следующие **выводы**:

1. Выявлен широкий ареал фитофильного вида *G. glaucus* в странах Евразии, Великобритании, Северо-Западных и Центральных регионах России. В таксоценозах хирономид водоемов Калининградской области *G. glaucus* – преимущественно доминантный и эврихорный вид. Преобладание фитофильного *G. glaucus* связано с толерантностью к разным грунтам и благоприятным аэробным условиям в зарослях макрофитов водоемов.

2. Установлена отрицательная логарифмическая зависимость индекса доминирования Палия-Ковнацки *G. glaucus* и показателей концентраций тяжелых металлов для оз. Чайка. Суммарное содержание тяжелых металлов (Zn, Cr, Co, Fe, Mn, Cu) в данном водоеме было минимальным, превышение ПДК отмечено только по Cu, а также установлены минимальные значения по Zn, Cr, Co, Fe, Mn по сравнению с водоемами городской черты.

3. Выявлено и картировано 8 новых инверсионных последовательностей дисков хромосом *G. glaucus*. Четыре последовательности (glaC4, glaD6, glaD7 и glaE9) детектированы неоднократно, что указывает на постепенное закрепление данных последовательностей в геномах популяций Калининградской области.

4. Уровень естественного хромосомного полиморфизма популяции *G. glaucus* водоемов Калининградской области соответствовал известному уровню европейских популяций.

5. Вариативность индексов исследованных геномных показателей, в том числе, новые виды инверсий и эктопических контактов коррелирует с концентрациями Zn, Cr и Cu, демонстрируя среднюю степень изменчивости генетической структуры популяций (16%-49%) и потенциальную способность модифицирования генома в расширении адаптивных возможностей исследованных популяций *G. glaucus*.

Рекомендации. Глубокое изучение и сравнительный анализ популяционных характеристик *G. glaucus* новых водоемов Калининградской области. Поиск наиболее чувствительных показателей инверсионного и неинверсионного хромосомного полиморфизма *G. glaucus* для биомониторинга континентальных водоемов. Создание актуального кадастра хромосомных инверсий. Исследование влияния тяжелых металлов на геном *G. glaucus* в условиях эксперимента.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Получение и использование массива данных эколого-популяционных показателей и геномной вариабельности *G. glaucus* для оценки воздействия ряда токсикантов на вид в водоемах Калининградской области. Изучение качественно-количественных показателей хромосомного полиморфизма для оценки особенностей микроэволюционных процессов популяций *G. glaucus* Калининградской области.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ по профилю специальности¹

1. Винокурова, Н. В. Характеристики сообществ хирономид водоемов Калининграда / Н. В. Винокурова, А. С. Васильев, Е. А. Калинина, Э. Э. Столь, Н. О. Углицких // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. – 2013. – № 7. – С. 63-69.

2*. Калинина, Е. А. Особенности хромосомного полиморфизма *Glyptotendipes*

* Обозначены статьи в изданиях, индексируемых реферативными базами данных и системами цитирования Web of Science и/или Scopus, Chemical Abstracts.

glaucus Meigen, 1818 (Diptera, Chironomidae) из озера Чайка национального парка «Куршская коса» / Е. А. Калинина, Н. В. Винокурова // Экологическая генетика. – 2017. – Т. 15. – № 3. – С. 27-33. DOI:10.17816/ecogen15327-33.

3*. **Калинина, Е. А.** Исследование экологической ценности личинок хирономид на примере *Glyptotendipes glaucus* Mg. (Diptera: Chironomidae) в малых водоемах г. Калининграда / Е. А. Калинина, Н. В. Винокурова, Т. В. Астафьева // Естественные и технические науки. – 2025. – № 2 (201) – С. 81-85. DOI: 10.25633/ETN.2025.02.06.

Публикации в других изданиях

4. **Калинина, Е. А.** Особенности кариотипа *Glyptotendipes glaucus* Mg. водоемов города Калининграда / Е. А. Калинина, Н. В. Винокурова // Наука и образование в XXI веке: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 34 частях, Тамбов, 30 сентября 2013 года. Том Часть 26. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2013. – С. 46-48.

5. Винокурова, Н. В. Новые сведения по фауне комаров-звонцов (Diptera, Chironomidae) Калининградской области / Н. В. Винокурова, **Е. А. Калинина** // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – № 12-1. С. 44-47.

6. **Гапаненок, Е. А. (Калинина Е.А.)** Сравнительные данные по фауне хирономид пруда Школьного города Калининграда / Е. А. Гапаненок, Н. В. Винокурова // Естественные и математические науки в современном мире. – 2015. – № 27. – С. 157-165.

7. Винокурова, Н. В. Первое описание сообщества хирономид озера Чайка национального парка «Куршская коса» / Н. В. Винокурова, **Е. А. Гапаненок (Е.А. Калинина)** // Научные труды SWorld. – 2015. – Т. 22. – № 1 (38). – С. 15-19.

8. Винокурова, Н. В. Тяжелые металлы в донных отложениях некоторых водоемов Калининградской области / Н. В. Винокурова, **Е. А. Калинина**, Э. Э. Столь, М. В. Куркина, А. С. Ващейкин, П. В. Садовников // Вода: химия и экология. – 2016. – № 12 (102). – С. 87-93.

9*. Винокурова, Н. В. Кариотип и инверсионный полиморфизм природных популяций *Glyptotendipes glaucus* (Meigen), 1818 (Diptera, Chironomidae) малых водоемов г. Калининграда / Н. В. Винокурова, **Е. А. Калинина**, Э. Э. Столь // Экологическая генетика. – 2016. – Т. 14. – № 4. – С. 41-51. DOI: 10.17816/ecogen14441-51.

10. Столь, Э. Э. Свинец и цинк в донных отложениях водоемов Калининградской области / Э. Э. Столь, **Е. А. Калинина** // Современные концепции экологии биосистем и их роль в решении проблем сохранения природы и природопользования: материалы Всероссийской (с международным участием) научной школы-конференции, посвященной 115-летию со дня рождения А. А. Уранова, Пенза, 10-14 мая 2016 г. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2016. – С. 173-175.

11. Винокурова, Н. В. Хромосомный инверсионный полиморфизм *Camptochironomus tentans* F. из водоемов Калининградской области / Н. В. Винокурова, Э. Э. Столь, **Е. А. Калинина** // European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences 11th International scientific conference, Vienna, 02 июня

2016 года. – Vienna: «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2016. – С. 9-13.

12. Столь, Э. Э. Структурно-функциональная вариативность политенных хромосом двух видов хирономид из водоемов Калининградской области / Э. Э. Столь, **Е. А. Калинина**, Н. В. Винокурова // Бюллетень медицинских интернет-конференций. – 2016. – Т. 6. – № 9. – С. 1506.

13. **Калинина, Е. А.** Содержание тяжелых металлов в донных отложениях двух водоемов Калининградской области / Е. А. Калинина, Э. Э. Столь // Естественные и математические науки в современном мире. – 2016. – № 41. – С. 155-162.

14. Арамова, О. Ю. Хирономиды (Diptera, Chironomidae) как экспресс – модель оценки экологического состояния водоемов / О. Ю. Арамова, Н. В. Винокурова, **Е. А. Калинина** // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: V Балтийский морской форум. Всероссийская научная конференция. Труды, Калининград, 23–24 мая 2017 года. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2017. – С. 163-167.

15. **Калинина, Е. А.** Кариотип естественной популяции фитофильного *Glyptotendipes glaucus* Mg. (Diptera, Chironomidae) из озера Чайка национального парка «Куршская коса» / Е. А. Калинина, Н. В. Винокурова // Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы докладов: XXIV Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы), посвященная 55-летию Института биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, 03–07 апреля 2017 года. – Сыктывкар: Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук, 2017. – С. 54-56.

16*. Vinokurova, N. V. Karyotype and Inversion Polymorphism of Natural Populations of *Glyptotendipes glaucus* (Meigen, 1818) (Diptera, Chironomidae) from Small Water Bodies of Kaliningrad / N. V. Vinokurova, **Е. А. Kalinina**, E. E. Stol // Russian Journal of Genetics: Applied Research. – 2018. – Vol. 8, No. 1. – P. 65-73. DOI: 10.1134/S2079059718010148

17. Винокурова, Н. В. Хромосомный инверсионный полиморфизм комара-звонца *Chironomus tentans* (Fabricius), 1805 (Diptera, Chironomidae) из водоемов г. Калининграда, Россия / Н. В. Винокурова, Э. Э. Столь, **Е. А. Калинина** // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2019. – № 7. – С. 13-19.

18. Винокурова, Н. В. Разнообразие хромосомного инверсионного полиморфизма *Glyptotendipes glaucus* (Meigen, 1818) и содержание металлов в грунте озера Чайка (Калининградская область) / Н. В. Винокурова, **Е. А. Калинина** // XII Съезд Гидробиологического общества при РАН: тезисы докладов, Петрозаводск, 16–20 сентября 2019 года. – Петрозаводск: Карельский научный центр Российской академии наук, 2019. – С. 86-87.

19. Ван, Е. Ю. Определение подвижных форм меди, цинка и никеля в донных отложениях пресноводных водоемов Калининградской области / Е. Ю. Ван, А. А. Кляшторная, Д. В. Ясногор, Н. В. Винокурова, **Е. А. Калинина**, Э. Э. Столь // Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование: труды

седьмой международной научно-практической конференции: сборник статей, Москва, 25 апреля 2020 года / Московский педагогический государственный университет (МПГУ), Географический факультет. – Москва: ООО «Информационно-издательский дом «Филинь», 2020. – С. 138-143.

20. Винокурова, Н. В. Загрязнение грунтов прибрежной зоны малых водоемов Калининградской области тяжелыми металлами и мышьяком / Н. В. Винокурова, Е. Ю. Ван, **Е. А. Калинина**, А. А. Кляшторная, Э. Э. Столь // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности: Материалы IV Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 30 марта 2021 года. Том 1. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Институт развития дополнительного профессионального образования», 2021. – С. 111-115.

21. Винокурова, Н. В. Некоторые популяционные характеристики таксоценоза хирономид системы прудов «Карасевка» г. Калининграда / Н. В. Винокурова, / **Е. А. Калинина**, Э. Э. Столь // Инновационное развитие современной науки: новые подходы и актуальные исследования: сборник материалов Международной научно-практической конференции, Москва, 31 января 2024 года – Москва: Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Центр развития образования и науки», 2024. – С. 65-69.

22. **Калинина, Е. А.** Популяционные и цитогенетические характеристики *Glyptotendipes glaucus* Mg. (Diptera, Chironomidae) из водоемов Калининградской области / Е. А. Калинина, Н. В. Винокурова // 13-й съезд Гидробиологического общества при Российской академии наук, посвященный 300-летию Российской академии наук, Десятилетию науки и технологий в России и 5-летию Архангельского отделения ГБО при РАН: Тезисы докладов, Архангельск, 16–20 сентября 2024 года. – Архангельск: КИРА, 2024. – С. 215-216.