

АННОТИРОВАННЫЙ ОТЧЕТ
о результатах НИР по гранту за 2021 год
Конкурс 2021 года на соискание грантов
для поддержки научно-исследовательской работы
аспирантов и молодых сотрудников ИГУ.

Направление: Биология, почвоведение и биотехнологии

Шифр гранта: № (091-21-313)

1. Наименование НИР по гранту: «МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОПУЛЯЦИИ АРКТИЧЕСКОГО ГОЛЦА ИЗ ВОДОЕМОВ СЕВЕРНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ»

2. Структурное подразделение (кафедра, лаборатория): Биолого-почвенный ф-т, кафедра зоологии позвоночных и экологии

3. Исполнитель НИР: Батранин Дмитрий Александрович

4. Координаты исполнителя НИР: тел. 89500544601, e-mail: badmal3477@gmail.com

5. Ожидаемые результаты в соответствии с заявленным планом работы:

1). Будет произведена первичная обработка генетического материала на базе кафедры зоологии позвоночных и экологии и лаборатории молекулярно-генетических исследований БПФ ИГУ в период 01.07.21 – 01.10.21 гг.

2). Будет осуществлена поездка (20.10.21 – 10.11.21 г.) в лабораторию популяционной генетики им. акад. Ю. П. Алтухова при институте общей генетики им. Н. И. Вавилова РАН, где будут проведены консультации по обработке, обсуждение материалов и подготовлены публикации в журналы из международных баз цитирования под руководством зав. лаборатории д. б. н. Политова Д. В.

3). Подготовка итогового научного отчета по проекту (10 марта – 20 апреля 2022 г.).

6. Основные полученные научные результаты:

1). Произведена первичная обработка генетического материала на базе кафедры зоологии позвоночных и экологии и лаборатории молекулярно-генетических исследований БПФ ИГУ.

2). Осуществлена поездка (08.11.21 – 20.11.21 г.) в лабораторию популяционной генетики им. акад. Ю. П. Алтухова при институте общей генетики им. Н. И. Вавилова РАН, где были освоены методики молекулярно-генетического анализа популяций арктического гольца из водоемов Северного Забайкалья.

3). Проведён анализ литературных данных по объекту исследований. Ниже приведены научные результаты проведённой работы:

Характеристика озера. Озеро Камканда ($57^{\circ}05.5'$ с.ш. $119^{\circ}48.5'$ в.д.; максимальная длина 3.6 км, ширина 0.7 км, площадь поверхности 1.39 км², глубина до 32 м, высота 1119 м над уровнем моря) расположено в долине предгорья хребта Удокан на территории республики Саха (Якутия). Северная и южная части без мелководий с крутыми берегами. Западная часть озера узкая, мелководная (глубина до 0,2 м), заиленная, в восточной части также имеется небольшая мелководная зона (глубина до 1.5–2.0 м), дно покрыто песком и мелким гравием. С запада в озеро впадает ручей, из восточного конца вытекает небольшая протока. Водоём относится к бассейну Лены, с которой соединяется через систему рек Кабакан–Камканда–Эвонокит–Хани–Олекма.

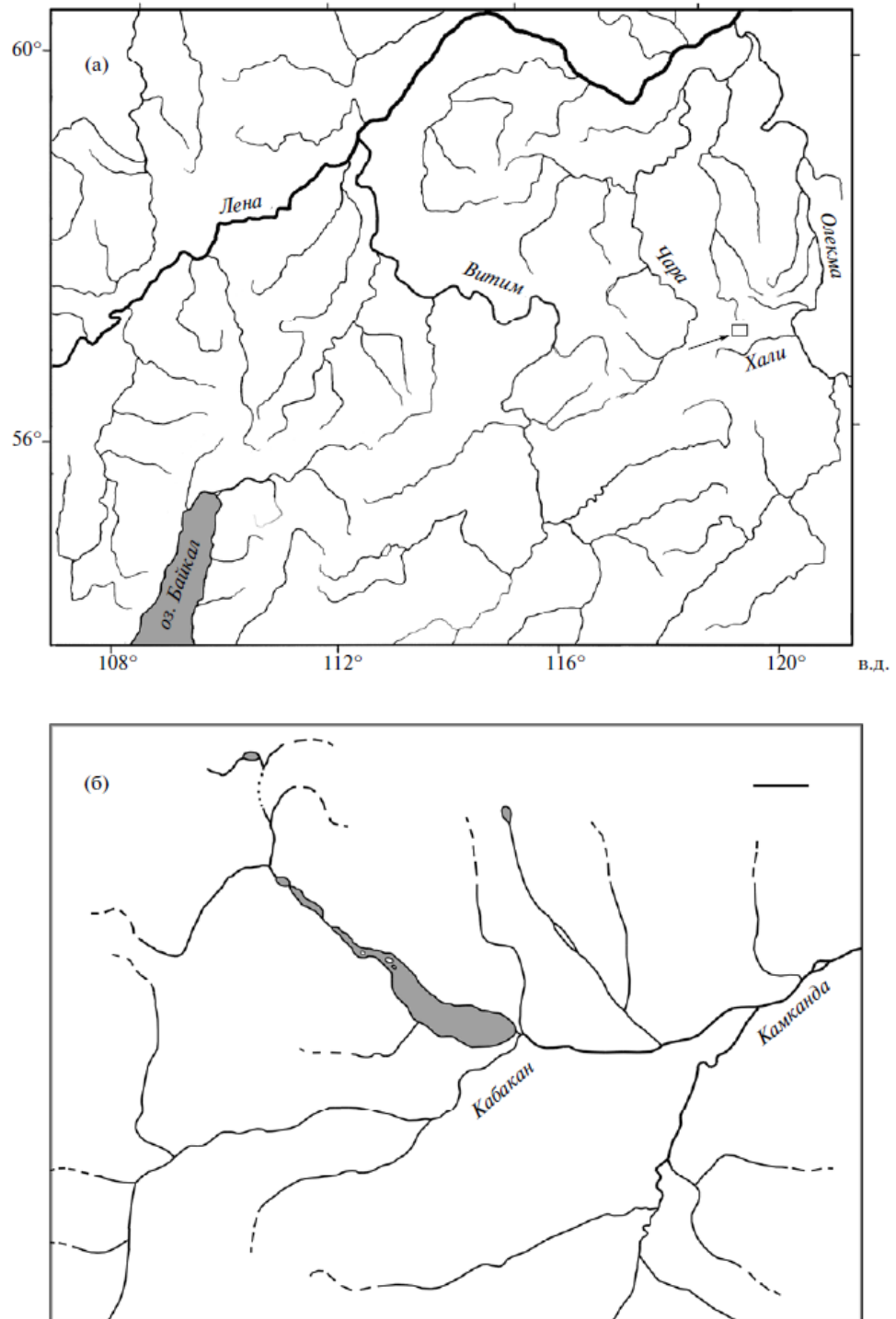


Рис. 1. Географическое положение (а) и карта_схема (б) оз. Камканда. Масштаб: 1 км (С. С. Алексеев и др., 2014).

Одна из основных задач исследования микроэволюции – изучение симпатрического формообразования (Kondrashov, Mina, 1986; Turner, Burrows, 1995; Johnson et al., 1996). Для выяснения его механизмов необходимо исследование случаев симпатрии близких видов и внутривидовых форм (Evolution..., 1984)), находящихся на разных стадиях

расхождения. Удобным объектом для таких исследований является арктический голец *Salvelinus alpinus complex*, признаваемый одним из самых изменчивых позвоночных животных. Область распространения арктического гольца в северном Забайкалье, изолированная от основного северного ареала, включает ряд горных озёр бассейнов Байкала и Лены (Карасев, 1987; Алексеев и др., 1999). В большинстве из них встречаются две или три симпатрические формы гольца, степень их морфологических и экологических различий варьирует между озёрами и в некоторых достигает большой величины (Савваитова и др., 1981; Алексеев и др., 1997, 2000а, 2000б; Алексеев, Пичугин, 1998; Alekseyev et al., 2002; Самусенок и др., 2006).

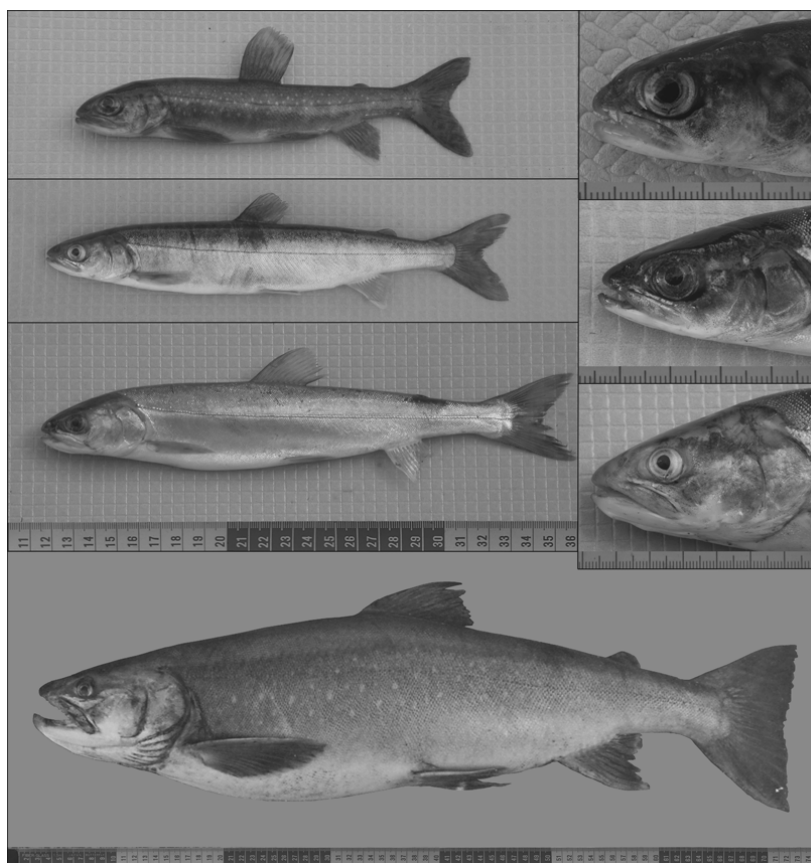


Рис. 2. Формы арктического гольца *Salvelinus alpinus complex* оз. Камканда – общий вид карликовая, мелкая, крупная (сверху вниз) (С. С. Алексеев и др., 2014).

Генетические исследования свидетельствуют о симпатрическом происхождении форм в ряде озёр (Осинов, 2002; Самусенок и др., 2006; Alekseyev et al.). Всё это определяет закономерный интерес к изучению

арктических гольцов Забайкалья и особенностей дивергенции симпатрических форм в разных озёрах. Однако, за немногими исключениями, сведения о гольцах из большинства озёр весьма ограничены. Одним из таких озёр является оз. Камканда. Первые данные (Alekseyev et al., 2002) показали, что в нём встречаются две, а возможно, три симпатрические формы гольца, значительно различающиеся по фенотипу и экологии. Позже существование трёх форм было подтверждено, были изучены изменчивость их мтДНК (Alekseyev et al., 2009a) и возможности трансформаций между формами (Alekseyev et al., 2009b), однако подробные сведения о генетической изменчивости отсутствовали. Цель настоящей работы – провести анализ изменчивости микросателлитных локусов симпатрических форм гольцов из оз. Камканда для оценки их взаимоотношений и степени репродуктивной изоляции между ними.

Результаты.

Анализ изменчивости по микросателлитным локусам позволяет получить генотипы, отображающие индивидуальный генетический портрет каждой особи. Для определения гибридных форм гольцов нами предварительно были отобраны восемь высокополиморфных микросателлитных локусов: Smm10, smm17, smm21, smm22, smm24, sco19, ssa197, ssosl. Высокие уровни генетического разнообразия по каждому из восьми выбранных локусов показывают, что определение вида каждой отдельной особи, особенно на территории, где возможна гибридизация, затруднительно.

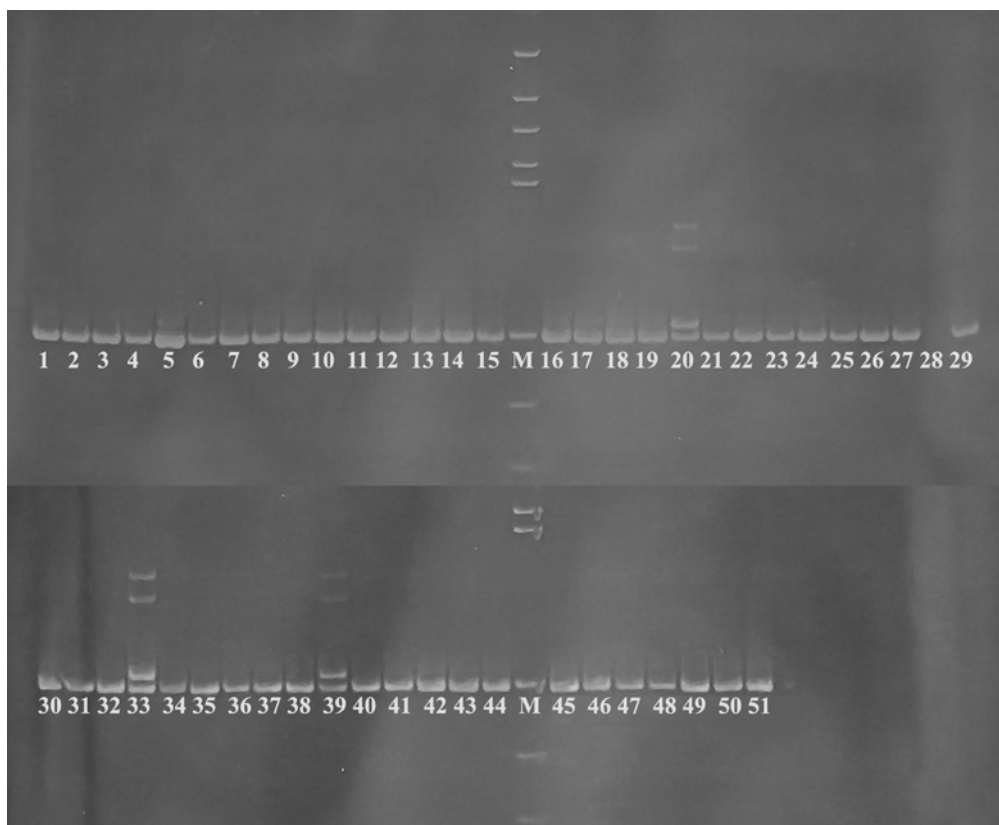


Рис. 3. Электрофореграмма продуктов амплификации микросателлитных локуса Ssa196 арктического гольца. Обозначения: цифрами обозначены аллели каждой особи в п.н.; М – маркер длин фрагментов ДНК.

Статистически значимые отклонения генотипических распределений от равновесия Харди–Вайнберга, связанные с дефицитом гетерозигот, выявлены в локусах Smm10 и Smm17 в выборке карликовой формы; случаи неравновесия по сцеплению не выявлены. С наибольшим генетическим разнообразием отмечаются выборки карликовых и мелких гольцов, тогда как оценки разнообразия у крупной формы намного ниже, в частности, в этой выборке практически отсутствуют уникальные аллели (рис. 3). Все исследуемые особи значительно отличаются друг от друга по аллельным и генотипическим признакам нескольких локусов, выборки мелких и крупных форм отличаются по наибольшему количеству локусов. Факторный анализ подтверждает значительное обособление симпатрических форм. Наиболее обособлена мелкая форма, отличающаяся с хиатусом от двух других; скаттеры карликовой и крупной форм соприкасаются. Оценки генетической дифференциации F_{ST} между всеми выборками оказались значительны и достигают 0.299 между мелкой и крупной формами. Оценки величины

генетической миграции между популяциями симпатрических форм, вычисленные разными способами, в целом оказались сходными. При этом во всех случаях потоки генов оказываются асимметричными; самый значительный поток направлен в популяцию карликов из популяций соседних форм. Согласно результатам анализа, интенсивность миграции может меняться во времени.

Список литературы

1. Алексеев С.С., Пичугин М.Ю. 1998. Новая форма гольца *Salvelinus alpinus* (Salmonidae) из озера Даватчан в Забайкалье и ее морфологические отличия от симпатрических форм // Вопр. ихтиологии. Т. 38. № 3. С. 328–337.
2. Алексеев С.С., Пичугин М.Ю., Крысанов Ю.Е. 1997. Исследования гольцов *Salvelinus alpinus* (Salmonidae) Забайкалья, внесенных в Красную книгу РСФСР: симпатрические формы из озера Большой Намаракит (морфология, экология, кариология) // Там же. Т. 37. № 5. С. 588–602.
3. Алексеев С.С., Булдыгеров В.В., Пичугин М.Ю. и др. 1999. Распространение арктического гольца *Salvelinus alpinus* (Salmonidae) в Забайкалье // Там же. Т. 39. № 1. С. 48–56.
4. Алексеев С.С., Матвеев А.Н., Пичугин М.Ю. и др. 2000а. Биология гольцов *Salvelinus alpinus complex* (Salmonidae) из озер водораздела рек Куанда и Чара (северное Забайкалье) и изменения в структуре их популяций в связи с антропогенным влиянием (1977–1999 гг.) // Бюл. МОИП. Отд. биол. Т. 105. Вып. 4. С. 22–41.
5. Алексеев С.С., Пичугин М.Ю., Самусенок В.П. 2000б. Разнообразие гольцов Забайкалья по меристическим признакам, их положение в комплексе *Salvelinus alpinus* и проблема происхождения симпатрических форм // Вопр. ихтиологии. Т. 40. № 3. С. 293–311. Вейр Б. 1995. Анализ генетических данных. М.: Мир, 400 с.

6. Осинов А.Г. 2002. Арктический голец *Salvelinus alpinus* Забайкалья и Таймыра: генетическая дифференциация и происхождение // Вопр. ихтиологии. Т. 42. № 2. С. 149–160.
7. Самусенок В.П., Алексеев С.С., Матвеев А.Н. и др. 2006. Вторая в бассейне Байкала и самая высокогорная в России популяция арктического гольца *Salvelinus alpinus complex* (Salmoniformes, Salmonidae) // Вопр. ихтиологии. Т. 46. № 5. С. 616–629.
8. Савваитова К.А., Максимов В.А., Мережин В.К. 1981. Гольцы рода *Salvelinus* (Salmonidae, Salmoniformes) Куандо-Чарских горных озер Забайкалья // Экологофаунистические исследования. Биологические ресурсы территории в зоне строительства БАМ. М.: Изд_во МГУ. С. 119–166.
9. Alekseyev S.S., Mina M.V., Smirina E.M. et al. 2009b. Growth acceleration in late ontogeny and size form transformations in the Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.) complex from lakes of Transbaikalia: evidence from growth layers in fin ray cross sections // Environ. Biol. Fish. V. 86. P. 487–505.
10. Johnson P.A., Hoppenstaedt F.C. Smith J.J., Bush G.L. 1996. Conditions for sympatric speciation: a diploid model incorporating habitat fidelity and non_habitat assortative mating // Evol. Ecology. V. 10. P. 187–205. doi: 10.1007/BF01241784.
11. Kondrashov A.S., Kondrashov F.A. 1999. Interactions among quantitative traits in the course of sympatric speciation // Nature. № 400. P. 351–354. doi:10.1038/22514.
12. Turner G.F., Burrows M.T. 1995. A model of sympatric speciation by sexual selection // Proc. Roy. Soc. London. V. 260. P. 287–292. doi: 10.1098/rspb.1995.0093.

7. Предполагаемое использование результатов, в том числе в учебном процессе:

- Полученные результаты в дальнейшем будут использованы для написания научных работ;
- Данные, полученные в результате проведенных исследований, пополнят научную коллекцию лаборатории молекулярно-генетических исследований БПФ ИГУ.

8. Перечень публикаций (***) по результатам работы (статьи, доклады) с приложением оттисков или рукописей, направленных в печать:

- Батрагин Д. А. «Генетическая изменчивость арктического гольца *Salvelinus alpinus complex* (Salmoniformes, Salmonidae) из озера Камканда, Северное Забайкалье». V Всероссийская молодежная научно-практическая конференция с международным участием «Социально-экологические проблемы Байкальского региона и сопредельных территорий», посвященная 120-летию выдающегося исследователя в области физиологии растений и микробиологии, д.б.н., профессора Е. В. Талалаева, 22 апреля 2022 г., г. Иркутск, ФГБОУ ВО ИГУ.

Исполнитель НИР по гранту Батрагин Д. А. Бат (Ф.И.О.)
(подпись)