

## ПЕРВОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ДВУХ ВИДОВ КИТАЙСКОЙ БЕЗЗУБКИ (SINANODONTA) В РЕФТИНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

© 2023 Павлюк Т.Е.<sup>а, \*</sup>, Третьякова А.С.<sup>б, \*\*</sup>, Ковалёв С.Ю.<sup>б, \*\*\*</sup>, Груданов Н.Ю.<sup>с, \*\*\*\*</sup>

<sup>а</sup> Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, г. Екатеринбург, 620049, Россия

<sup>б</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, 620003, Россия

<sup>с</sup> Ботанический сад Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, 620144, Россия

e-mail: \*t.pavluk@mail.ru, \*\*alyona.tretyakova@urfu.ru, \*\*\*sergey.kovalev@urfu.ru,

\*\*\*\*nickolai.grudanoff@yandex.ru

Поступила в редакцию 30.11.2022. После доработки 30.05.2023. Принята к публикации 03.06.2023

В настоящей работе приводятся данные о находке *Sinanodonta woodiana* и *S. lauta* в искусственно прогретом участке Рефтинского водохранилища (Свердловская область, р. Рефт, бассейн р. Иртыш). Популяции *Sinanodonta* представлены инвазивными гаплотипами E3 (*S. woodiana*) и C3 (*S. lauta*). Популяции включают особей различных размерно-возрастных групп, что может косвенно свидетельствовать об успешной натурализации вида. В популяции *S. woodiana* более многочисленна группа старшевозрастных особей (более 10 лет) – 56%. В популяции *S. lauta* преобладают средневозрастные особи, доля которых составляет 48%. Нами не обнаружены экземпляры *Sinanodonta* моложе 1 года (длина раковины менее 25 мм) и малочисленные экземпляры 2–3 лет. На основе молекулярных данных, а также архивных записей по рыбохозяйственному использованию мы предполагаем, что данная инвазия *Sinanodonta woodiana* и *S. lauta* в Рефтинское водохранилище была ассоциирована с интродукцией промысловых рыб, привезённых в конце XX – начале XXI в. из волжских питомников.

**Ключевые слова:** биологические инвазии, китайские беззубки, митохондриальная ДНК, морфология, тепловое загрязнение, *Sinanodonta woodiana*, *Sinanodonta lauta*.

DOI: 10.35885/1996-1499-16-2-124-134

### Введение

Тепловое загрязнение водоёма может оказывать негативное воздействие на биоразнообразие аборигенной фауны. В то же время для теплолюбивых животных из других климатических зон в искусственно подогретой воде создаются подходящие условия для жизнедеятельности. Примером может служить расселение моллюска *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834), имеющего нативный ареал в Азиатско-Тихоокеанском регионе [Soroaka et al., 2014; Pora et al., 2015; Lopes-Lima et al., 2017]. Информация о встречаемости китайской беззубки постоянно расширяется, за последние 60 лет вид отмечен более, чем в 15 странах Европы, а также в Юго-Восточной Азии, Северной Америке и Карибском регионе [Bogan, Schilthuisen, 2004; Bogan et al., 2011; Bolotov et al., 2016; Kondakov et al.,

2018; Konečný et al., 2018; Beran, 2019; Dobler et al., 2022; GBIF..., 2022].

Вероятно, основной вектор инвазии *S. woodiana* в Европу связан с интродукцией восточноазиатских карповых рыб: *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844), *Aristichthys nobilis* (Richardson, 1844) и *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes, 1844). В одном случае молодёжь азиатских карпов была завезена на рыболовные заводы в Румынии из бассейна р. Янцзы в Китае в 1959 и 1962 гг. В другом – азиатские карпы были завезены в Венгрию из бассейна р. Амур в 1963–1965 гг. [Lajtner, Crnčan, 2011; Konečný et al., 2018]. Дополнительные возможности распространения обеспечиваются продажей моллюсков для выращивания искусственного жемчуга, культивирования аквариумистами и др. [Liu et al., 2014; Guarneri et al., 2014; Spyra et al., 2016; Dobler et al., 2022].

Вселение *S. woodiana* в водоём может привести к изменению среды обитания [McDowell, Sousa, 2019], а также к сокращению численности аборигенных видов в результате конкуренции. При этом конкуренция возможна как среди взрослых беззубок за пространство и пищу, так и между личиночными стадиями за рыбу-хозяина [Cappelletti et al., 2009; Poznański-Kakareko et al., 2021]. С другой стороны, по мнению некоторых специалистов, в искусственно подогреваемых водоёмах конкуренция исключена, так как *S. woodiana* предпочитает более высокую температуру воды, чем аборигенные беззубки [Kraszewski, Zdanowski, 2007].

Инвазия китайских беззубок в России впервые была обнаружена в Восточной Сибири на искусственно обогреваемом участке р. Енисей у городского пляжа г. Красноярск [Bespalaya et al., 2018]. Ю.В. Беспалой с соавторами [Bespalaya et al., 2018] было показано, что инвазивное сообщество *Sinanodonta* представляет собой пример симпатрического сосуществования двух криптических видов – *S. woodiana* (Lea, 1834) и *S. lauta* (Martens, 1877). Затем популяции двух чужеродных видов беззубок были отмечены в р. Волга и в Западной Сибири в Беловском водохранилище (вдхр.) на р. Обь [Bolotov et al., 2020; Kondakov et al., 2020]. В настоящее время имеются не подтверждённые генетическими исследованиями сведения о находках китайских беззубок в г. Москве, в оз. Святое Шатурского района Московской обл., в водоёме с. Сарсак-Омга Республики Татарстан [GBIF..., 2022]. Показано, что расселение *Sinanodonta* в России связано с завозом рыбы, заражённой глосидиями, из Казахстана и дальнейшим её распространением рыбохозяйственными предприятиями [Bolotov et al., 2020; Kondakov et al., 2020].

Цель настоящего исследования – привести сведения о находке *Sinanodonta woodiana* и *S. lauta* на Среднем Урале в Рефтинском вдхр. (Свердловская обл.). Это новый локалитет китайских беззубок в пределах инвазивного ареала рода на территории Российской Федерации. Поскольку род *Sinanodonta* может быть представлен двумя криптическими видами *S. woodiana* и *S. lauta*, определение этих

видов без привлечения молекулярных методов идентификации становится проблематичным. В статье обсуждаются происхождение и морфологические особенности обнаруженных чужеродных популяций по сравнению с аналогичными находками в других регионах России.

## Материал и методика

**Сбор данных.** Рефтинское вдхр. (Свердловская обл.) создано в 1968 г. на р. Рефт, на месте слияния рек Малый и Большой Рефт, относится к Обь-Иртышскому бассейну (рис. 1). На правом берегу водохранилища находится посёлок Рефтинский. По своему основному назначению водохранилище является источником технического водоснабжения и водоёмом-охладителем для Рефтинской ГРЭС. В настоящее время, как и большинство водохранилищ, оно имеет комплексное значение и используется для рыбохозяйственных, промышленных, рекреационных целей. Водохранилище имеет сложную форму. Приплотинная часть наиболее широкая: максимальная ширина 3.8 км, затем следует сужение, в месте слияния Большого и Малого Рефта ширина уменьшается до 1.6 км, далее водохранилище разделяется на два рукава, там, где его подпор распространяется по рекам Малый и Большой Рефт [Лугаськов, Воронин, 2019]. Температура воды Рефтинского вдхр. в период наибольшего прогрева превышает естественную в среднем на 4.3–4.8 °С. В зимний период средняя температура акватории водоёма составляет 12 °С [Любимова и др., 1989; Васильчикова и др., 1989].

Китайские беззубки были обнаружены в ходе обследования устья тёплого канала Рефтинского вдхр. В литоральной зоне на глубине 1.0–1.2 м в нескольких локациях был проведён сбор донных организмов с использованием гидробиологического сачка с укрепленной рамой размером 25×25 см. Всего было собрано 34 экземпляра живых особей *Sinanodonta*, которые помещались в ёмкости с водой и в живом виде были доставлены в лабораторию для дальнейшего анализа.

**Исследование морфологического строения и определение возраста.** В лабораторных условиях выполнены промеры раковин

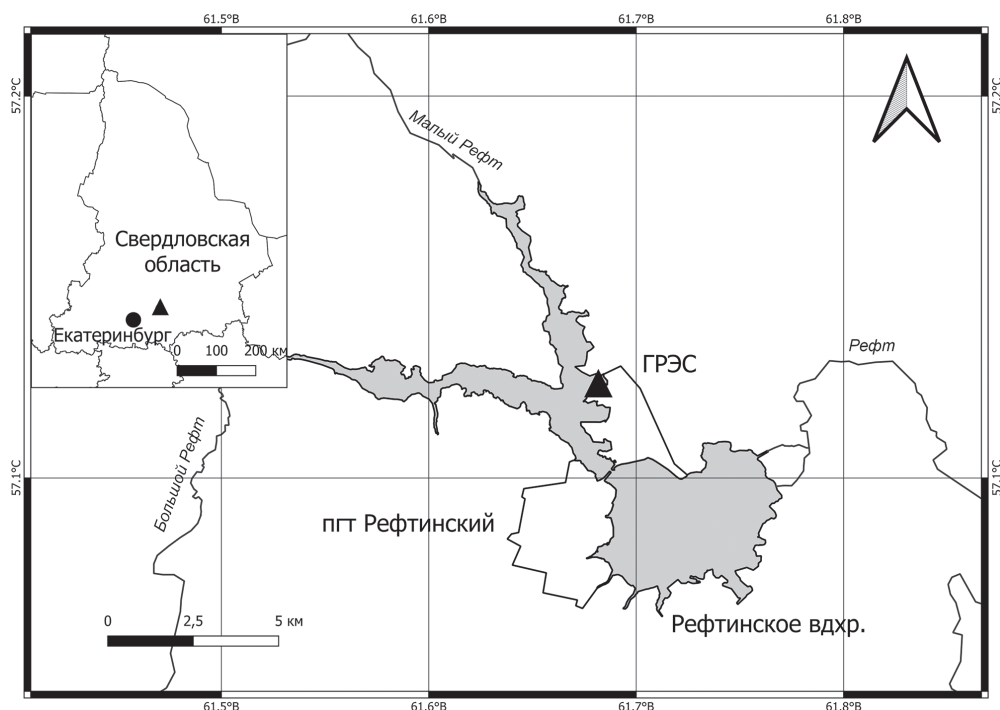


Рис. 1. Географическое положение района исследования (▲ – место отбора проб).

моллюсков (длина, толщина, высота) по общепринятой методике [Старобогатов и др., 2004] с использованием цифрового штангенциркуля, с точностью до 0.1 мм. По данным промеров были рассчитаны два морфологических индекса, широко используемые при определении двустворчатых моллюсков – индекс выпуклости раковины (SCI) и индекс вытянутости раковины (SEI).

$$SCI = \text{толщина} / \text{длина} \times 100$$

$$SEI = \text{высота} / \text{длина} \times 100$$

Для оценки возраста у каждой особи учитывали годовые кольца роста, которые просматривались как на поверхности раковины, так и в проходящем свете сквозь раковину [Шкорбатов, Старобогатов, 1990]. Следует отметить, что у китайских беззубок, обитающих в водоёме-охладителе, рисунок кольцевых линий роста нечёткий, линии либо расходятся, либо сливаются. Поэтому, для некоторых особей возраст указан в диапазоне, когда при подсчёте на разных створках и при осмотре раковин на просвет количество годовых линий роста различалось.

Результаты были проанализированы с помощью пакета программ статистической обработки данных PAST version 2.17c (February 2013) [Hammer et al., 2001]. Для определения наиболее возможного значимого статисти-

ческого решения при распределении моллюсков по группам, использовался кластерный анализ на основе метода корреляции 10 морфометрических признаков: длина (см), высота (см), ширина (см), масса (г), возраст (лет), объём (см<sup>3</sup>), соотношение толщина/высота, соотношение масса/объём, индекс SEI и индекс SCI. Объединение групп происходило по признаку простой связи с расчётом уровня бутстреп поддержки узлов по 100 репликациям. При смене количества репликаций (до 1000) существенного изменения уровней поддержки узлов не происходило.

**Установление видовой принадлежности.** Для установления видовой принадлежности от каждого моллюска был собран участок ткани ноги (примерно 1 см<sup>2</sup>), который фиксировался 96%-м этиловым спиртом. Геномную ДНК экстрагировали из консервированной в спирте ткани ноги каждого образца с использованием набора «РеалБест экстракция 100» (АО «Вектор-Бест», Россия), согласно протоколу производителя. Последовательности праймеров для амплификации фрагмента митохондриального гена COI LCO1490 и HCO2198 были взяты из работы [Folmer et al., 1994]. Смесь для ПЦР содержала приблизительно 100–200 нг ДНК, 10 пмоль каждого праймера, 200 ммоль каждого

dNTP, 5 мкл 5x-ПЦР-буфера (с 15 mM MgCl<sub>2</sub>), 1.0 ед. ДНК-полимеразы TaqF (ООО «Интерлабсервис», Россия) и H<sub>2</sub>O, которую добавляли до конечного объёма 25 мкл.

ПЦР проводили на амплификаторе Veriti 60 Well Thermal Cycler (Applied Biosystem, USA). Условия амплификации соответствовали тем, что были использованы в работе [Bolotov et al., 2016]. Определение нуклеотидной последовательности фрагмента гена COI осуществляли в двух направлениях непосредственно на очищенных продуктах ПЦР с использованием набора реагентов PRISM<sup>®</sup> BigDye<sup>™</sup> Terminator v. 3.1. на генетическом анализаторе DNA Analyzer 3500 (Applied Biosystem, USA).

Полученные последовательности проверяли с помощью редактора выравнивания последовательностей SeqScape Software v4 (Thermo Fisher Scientific, USA). Выравнивание последовательностей проводили в программе MEGA11 с использованием алгоритма MUSCLE [Tamura et al., 2021]. Все последовательности длиной 660 п. н. размещены в GenBank (NCBI, USA) под номерами доступа OP861439–OP861472. Филогенетический анализ и построение дендрограммы проводили NJ методом в программе MEGA11. Эволюционные дистанции были рассчитаны с использованием p-distance метода [Nei, Kumar, 2000].

Раковины моллюсков высушивались и протирались глицерином для снижения ломкости. Собранные образцы размещены для хранения в коллекции Музея Института экологии растений и животных УрО РАН (г. Екатеринбург): 9 экземпляров *Sinanodonta woodiana* (№ 25289) и 25 экземпляров *Sinanodonta lauta* (№ 25290).

## Результаты

Новым обнаруженным местонахождением *Sinanodonta* в России является Рефтинское вдхр., созданное на р. Рефт (Свердловская обл., Средний Урал). Это самое северное из известных местонахождений в России (57.12494° с. ш., 61.68216° в. д.) [Kondakov et al., 2020; GBIF..., 2022]. Китайские беззубки были найдены в устьевой части сбросного канала, в зоне выхода канала в водоём, обогреваемой

тёплыми водами и не покрывающейся льдом в зимний период (см. рис. 1). Моллюски были обнаружены на глубинах 1.0–1.2 м на песчаном грунте с наилком до 10–20 см и с вкраплениями крупных камней (до 50 см в диаметре).

Среди изученных 9 (26.5%) особей представители вида *S. woodiana*, остальные 25 (73.5%) особей – вида *S. lauta*. Между особями внутри вида нами не обнаружено генетической изменчивости. Сравнительный анализ с последовательностями фрагмента гена COI, размещёнными в GeneBank показал, что последовательности, принадлежащие *S. woodiana* идентичны последовательности KY978735 (Енисей, Красноярск), KJ125079 (Польша), MN594536 (Италия) и принадлежат гаплотипу E3. Последовательности, принадлежащие *S. lauta* идентичны последовательностям KY561633 (Енисей, Красноярск) и принадлежат гаплотипу C3.

Таким образом, в Рефтинском вдхр. представлены два криптических вида *Sinanodonta*: *S. woodiana* и *S. lauta*. В месте обитания китайских беззубок не были отмечены виды аборигенной малакофауны (виды родов *Anodonta*, *Pseudanodonta* и *Unio*). Проведённые пробные сборы в литоральной зоне залива Рефтинского вдхр. с естественным термальным режимом подтвердили присутствие живых экземпляров *Anodonta*, *Pseudanodonta* и *Unio* при полном отсутствии раковин *Sinanodonta*. Например, нами обнаружены множественные створки раковин *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758) в восточной части водохранилища.

Максимальный возраст живых изученных особей составлял 13–14 лет. Вероятно, инвазия и формирование популяции *Sinanodonta* в Рефтинском вдхр. (как минимум) начинается приблизительно в 2005–2006 гг. В то же время, на берегу водоёма обнаружены крупные пустые раковины, принадлежащие старшевозрастным особям *Sinanodonta* (приблизительный возраст обнаруженной пустой раковины составлял порядка 16 лет). Кроме того, имеются сведения, что в конце 1990-х гг. в водохранилище был завезён европейский сом из волжских питомников [Лугаськов, Воронин, 2019]. Это позволяет предположить более раннее появление *Sinanodonta* spp. в Рефтинском вдхр. – уже в конце XX в.

**Таблица 1.** Размеры и возраст (среднее значение ± стандартная ошибка среднего) *Sinanodonta woodiana* и *S. lauta* из чужеродных популяций России и Казахстана

Вид/река	N	Размеры раковины (мм)		Индекс вытянутости раковины (SEI)	Индекс выпуклости раковины (SCI)	Возраст	Максимальный возраст	Год рождения самой старовозрастной <i>Sinanodonta</i> в выборке	
		длина	высота						ширина
<i>Sinanodonta woodiana</i>									
р. Волга	15	106.3±7.0	68.4±3.8	46.4±5.4	66.1±2.4	42.1±2.2	8.9±1.1	17	2002
р. Обь	8	116.3±10.8	73.8±7.7	40.5±4.1	63.0±1.3	34.7±0.9	6.5±0.4	8	2011
р. Енисей	3	129.2±9.9	75.5±5.2	44.5±4.4	58.6±0.8	34.3±1.1	10.3±1.3	13	2004
р. Или	10	155.9±8.1	99.6±4.5	54.6±2.8	64.2±1.1	35.2±1.3	7.6±0.8	10	2009
р. Рефт	9	137.2±3.7	83.3±1.9	48.2±1.4	61.9±3.5	35.0±1.6	9.9±2.8	14	2008
<i>Sinanodonta lauta</i>									
р. Волга	6	114.5±8.3	78.8±5.8	46.1±3.8	68.9±0.7	40.3±1.9	9.7±1.2	15	2004
р. Обь	12	124.1±9.3	78.1±5.4	42.4±3.5	63.8±2.2	34.0±0.9	7.3±0.7	12	2007
р. Енисей	4	128.3±1.9	75.8±1.4	41.8±0.5	59.1±1.0	32.6±0.8	11.0±0.8	13	2004
р. Или	20	116.7±7.7	76.1±4.1	44.2±2.5	66.4±1.2	38.4±0.9	5.4±0.5	9	2010
р. Рефт	25	104.2±3.8	66.6±2.1	34.6±1.3	65.9±3.9	33.0±2.9	6.9±3.2	14	2008

*Примечание.* Данные по размерам и возрасту популяций в реках Обь, Енисей, Или и Волга взяты по материалам А.В. Кондакова с соавторами [Kondakov et al., 2020].

У исследованных особей *S. woodiana* и *S. lauta* раковина неправильно ромбической формы, умеренно выпуклая, твердостенная, но хрупкая. Передний край суженный, закругленный, задний – в виде закругленного клюва. Спинной (верхний) край с передним и задним образует тупые углы. Нижний край выгнутый. Макушка не выступающая. Внешний рисунок раковин *S. woodiana* и *S. lauta* сходен: у молодых особей створки раковин (2–4 года) относительно прозрачные, с возрастом периостракум раковин приобретает бурый, темно-коричневый оттенок с зеленоватым отливом.

Морфометрический анализ раковин *S. lauta* из российских и казахстанских популяций [Kondakov et al., 2020] показал, что наибольшая средняя длина раковины отмечена в енисейской популяции, высота и толщина – в волжской популяции, а наименьшие средние значения анализируемых параметров зарегистрированы в популяции из Рефтинского вдхр. (табл. 1). Отметим, что максимальные и минимальные значения размеров раковины среди всех популяций *S. lauta* были определены у среднеуральских особей (см. табл. 1).

Для *S. woodiana* максимальные и наибольшие средние значения длины, высоты и толщины раковины отмечены в казахстанской популяции. При этом, по размерам среднеуральские *S. woodiana* не существенно уступают казахстанским. Минимальные и наименьшие средние размеры раковины зарегистрированы в волжской популяции (см. табл. 1).

В большинстве природных водоёмов у унионид в умеренном климате чётко определяется сезон покоя, зимнего анабиоза, когда рост раковины останавливается и сам моллюск замирает, закопавшись в ил. Это формирует ясные линии роста на раковине моллюсков. В случае же с *Sinanodonta* годовые кольца роста не имеют чётких линий. Вероятно, это связано с отсутствием периода анабиоза: зимой *Sinanodonta* могут мигрировать ближе к тёплым потокам воды у сбросных каналов генерирующих станций и продолжать

**Таблица 2.** Соотношение размерно-возрастных групп в популяциях *S. woodiana* и *S. lauta* в Рефтинском водохранилище

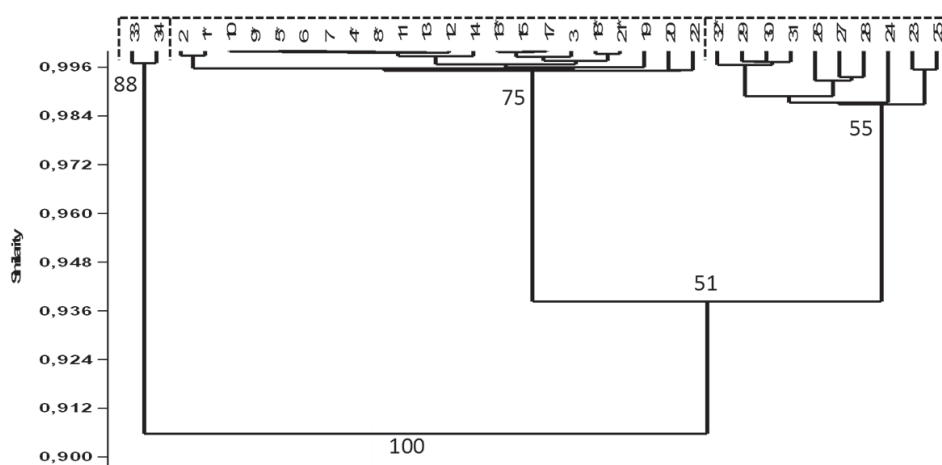
Возрастные группы по размерам раковины	Количество <i>S. lauta</i>		Количество <i>S. woodiana</i>	
	шт.	%	шт.	%
Маленькие (до 5 см)	2	8.0	0	0.0
Средние (до 10 см)	11	44.0	1	11.1
Большие (10–15 см)	7	28.0	3	33.3
Крупные, свыше 15 см	5	20.0	5	55.6
Всего	25	100	9	100

активную жизнедеятельность. В связи с этим, линии роста на раковинах формируются без чёткой дифференциации по годам.

Сложность с определением возраста по годичным кольцам отмечена другими исследователями *Sinanodonta* [Afanasjev et al., 2001; Spuga et al., 2012; 2016]. В связи с этим предложено связывать возраст китайских беззубок с длиной раковины и анализировать возрастную структуру популяций по соотношению особей со сходными размерами раковины [Afanasjev et al., 2001; Spuga et al., 2012]. Например, по длине раковины беззубки распределены на четыре категории [Afanasjev et al., 2001]: маленькие (до 5 см), средние (до 10 см), большие (10–15 см) и крупные, свыше 15 см (табл. 2). Согласно предложенному подходу, в популяции *S. lauta* в Рефтинском вдхр. представлены особи всех возрастных категорий, при этом около половины особей имеют средние размеры раковины и возраст 3–6 лет. В популяции *S.*

*woodiana* полностью отсутствуют маленькие двулетние особи, одна особь имеет раковину длиной 6.2 см и возраст 2–3 года. Наиболее многочисленны крупные особи, имеющие возраст старше 8 лет (см. табл. 2).

Анализ сходства раковин беззубок из Рефтинского вдхр. по морфологическим параметрам также убедительно показал, что возраст (а не видовая принадлежность) определяет сходство в строении раковин моллюсков. Кластерный анализ на основе коэффициента корреляции (рис. 2), с оценкой уровня бутстреп поддержки узлов (100 репликаций) однозначно продемонстрировал выделение трёх возрастных групп моллюсков, условно молодые, средневозрастные и старшевозрастные особи. При смене количества бут-репликаций (до 1000) существенного изменения уровней поддержки не происходит, первые две группы всегда выше 70, а третья группа выше 70 так и не поднимается.



**Рис. 2.** Сходство морфометрических и возрастных характеристик моллюсков *S. woodiana* и *S. lauta* Рефтинского водохранилища (мера сходства – коэффициент корреляции, объединение – простая связь): слева направо пунктиром выделены возрастные кластеры: 2 года; 6–14 лет; 3–5 лет. Указано значение бутстреп поддержки узлов выше критического уровня (более 70) и в ключевых узлах (более 50) для 100 репликаций. На оси абсцисс указаны индивидуальные номера экземпляров *S. woodiana* (со звездочкой\*) и *S. lauta* (простой номер).

## Обсуждение

Нами охарактеризовано заселение китайскими беззубками участка Рефтинского вдхр., характеризующегося искусственно подогретой водой сбросного канала Рефтинской ГРЭС. В водохранилище совместно встречаются два криптических вида *S. woodiana* (9 особей) и *S. lauta* (25 особей), что подтверждает их сцепленное расселение [Kondakov et al., 2020].

Первые находки *S. woodiana* за пределами природного ареала были связаны с изменёнными человеком местообитаниями и искусственно подогретыми водоёмами [Konečný et al., 2018; Urbańska et al., 2021]. Это термофильный вид, населяющий водоёмы с температурой воды от 10 до 30 °С [Kraszewski, Zdanowski, 2007], и обнаружена положительная корреляция между среднегодовой температурой и его встречаемостью [Spyra et al., 2016]. На наш взгляд, дальнейшее расширение ареала *Sinanodonta* на Урале и в Западной Сибири возможно за счёт непреднамеренной интродукции в новые водоёмы с рыбопосадочным материалом, но оно ограничено участками, подверженными влиянию сброса тёплых вод с электростанций или других постоянных источников теплового загрязнения. За пределами прогреваемых зон водоёмов-охладителей расселение моллюсков ограничено неблагоприятными температурными условиями водотоков, поскольку в зимний период они промерзают (температура воды 0–2 °С) и на протяжении 5–6 месяцев покрыты льдом. В то же время, в литературе отмечена способность *S. woodiana* переживать зимы, когда температура воды опускается ниже 0 °С [Lajtner, Crnčan, 2011; Labecka, Domagala, 2018; Urbańska et al., 2021], и её популяции зарегистрированы в регионах с относительно продолжительной зимой (юг Швеции в 2005 г) [Konečný et al., 2018]. Напротив, *S. lauta* характеризуется большей холодостойкостью в сравнении с *S. woodiana* и встречается в естественных условиях на юге Западной Сибири и на Дальнем Востоке [Bespalaya et al., 2018; Bolotov et al., 2020; Kondakov et al., 2020].

Основной способ инвазии *Sinanodonta* повсеместно вероятно связан с массовой

интродукцией молоди азиатских карповых рыб [Bogan et al., 2011; Konečný et al., 2018; Kondakov et al., 2020; и др.]. Вероятно, инвазия двух криптических видов *Sinanodonta* в Рефтинское вдхр. произошла в конце XX в. и также связана с его рыбохозяйственным использованием. В современном составе ихтиофауны водохранилища представлены азиатские карповые и другие виды-вселенцы, привезённые в конце 1990-х гг. из волжских питомников [Лугаськов, Воронин, 2019].

В исследованном местообитании отсутствовали нативные двустворчатые моллюски – перловицы и беззубки. Аналогичная ситуация с полным отсутствием местной малакофауны показана для Беловского вдхр. [Kondakov et al., 2020]. Наши данные не позволяют однозначно сделать вывод о вытеснении китайской беззубкой аборигенных видов. В условиях неподогретых вод китайские беззубки могут сосуществовать с местной малакофауной, которая, как правило, сохраняется и может составлять до 60–80% от общего количества выловленных моллюсков [Spyra et al., 2012; Szlauer-Lukaszewska et al., 2017; Kondakov et al., 2020; Dobler et al., 2022]. Возможно, отсутствие аборигенных видов в пробах из Рефтинского вдхр. связано с повышенной температурой воды как неблагоприятным фактором для их существования. Отношения между аборигенными и чужеродными видами моллюсков нуждаются в более детальном изучении.

Продолжительность жизни *S. lauta* и *S. woodiana* оценивается в 13–14 лет, и максимальная длина раковины составила 180.5 мм и 177.6 мм, соответственно. В популяции *S. lauta* самая многочисленная группа, особи 2–5 лет, составляет 48%. Группы средневозрастных особей 6–10 лет и старшевозрастных особей 11–14 лет представлены примерно в равном количестве – 7 особей (28%) и 6 особей (24%), соответственно. В популяции *S. woodiana* более многочисленна группа старшевозрастных особей – 5 особей, или 56%. Нами не обнаружены экземпляры *Sinanodonta* моложе 1 года (длина раковины менее 25 мм) и малочисленны экземпляры 2–3 лет. Длина раковины самых мелких экземпляров *S. lauta* составила 38.9 мм, а *S. woodiana* – 62.2 мм.

Принимая во внимание возрастную структуру популяций китайских беззубок, можно с высокой вероятностью заключить, что популяция *S. woodiana* находится в Рефтинском вдхр. в стадии регресса (особи 2–5 лет – 10%), тогда как популяция *S. lauta* прогрессирует (доля молодых особей около 50%). Наличие молоди в водоёме и особей различных размерно-возрастных групп может свидетельствовать о наличии естественного воспроизводства моллюсков в водохранилище. В то же время необходимо провести детальные исследования биологии беззубок для выяснения особенностей их размножения в условиях теплового загрязнения.

Факт отсутствия в наших сборах самых молодых моллюсков возрастом 1 год достаточно примечателен и подтверждается исследованиями других авторов [Янович, Пампура, 2012; Sryga et al., 2012; Павлюченко, Ермошина, 2019; Yermoshyna, Pavliuchenko, 2021]. Однозначного объяснения этому пока не найдено. Вероятно, молодые активно растущие моллюски *Sinanodonta*, размером до 30 мм, ещё не достигшие половозрелости, могут обитать в иных биотопах, чем половозрелая часть популяции, например, на иных глубинах или на грунтах отличного состава. Данный аспект требует дополнительного исследования.

### Заключение

Впервые на Среднем Урале обнаружены китайские беззубки *Sinanodonta* spp. Моллюски обитают на участке Рефтинского вдхр., характеризующегося подогревом воды за счёт сброса с Рефтинской ГРЭС. В Рефтинском вдхр. представлены два криптических вида: *Sinanodonta woodiana* и *S. lauta*. Приведённые данные подтверждают симпатрическое сосуществование двух видов *Sinanodonta* и их сцепленное расселение [Bespalaya et al., 2018; Kondakov et al., 2020].

Сравнительный анализ последовательностей фрагмента гена COI моллюсков из Рефтинского вдхр. показал их идентичность последовательностям образцов из Западной Сибири и Волги. Полученные данные подтверждают гипотезу происхождения инвазивных популяций китайских беззубок *Sinanodonta*

spp. из одного источника [Kondakov et al., 2020]. На основе молекулярных данных, а также архивных записей по рыбохозяйственному использованию мы предполагаем, что данная инвазия *Sinanodonta woodiana* и *S. lauta* в Рефтинское вдхр. была ассоциирована с интродукцией промысловых рыб, привезённых в конце XX – начале XXI в. из волжских питомников.

В рассмотренной выборке содержатся особи *S. woodiana* и *S. lauta* различных размерно-возрастных групп, что косвенно свидетельствует об успешной натурализации вида в водоёме-охладителе Рефтинской ГРЭС. В выборке *S. woodiana* более многочисленна группа старшевозрастных особей, а в выборке *S. lauta*, наоборот, преобладает группа средневозрастных особей.

На наш взгляд, дальнейшее расширение ареала *Sinanodonta* на Урале и в Западной Сибири возможно только за счёт непреднамеренной интродукции в новые водоёмы-охладители с рыбопосадочным материалом, так как расселение моллюсков ограничено участками водоёмов с искусственным термическим режимом. В то же время, очевидна необходимость более детального исследования влияния *S. woodiana* и *S. lauta* на аборигенную малакофауну и особенностей существования китайских беззубок в условиях теплового загрязнения, так как невозможно полностью исключить вероятность их вселения в водоёмы с естественным термическим режимом в будущем. Кроме того, эти сведения расширят наши представления о биологии видов в условиях вторичного ареала.

### Финансирование работы

Исследования, анализ данных и подготовка рукописи выполнены за счёт собственных средств авторов.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### Соблюдение этических стандартов

Статья не содержит никаких исследований с участием животных в экспериментах, выполненных кем-либо из авторов.



## Литература

- Васильчикова А.П., Попов А.Н., Бердышева Г.В. Фитопланктон как показатель качества воды водохранилищ-охладителей на Урале // В сб.: Гидробиологическая характеристика водоёмов Урала. Свердловск, 1989. С. 13–22.
- Лугаськов А.В., Воронин В.П. Долгосрочные изменения состава и структуры ихтиофауны водоёма-охладителя Рефтинской ГРЭС // Вестник рыбохозяйственной науки. 2019. Т. 6. № 4. С. 30–37.
- Любимова Т.С., Васильчикова А.П., Матюхин В.П., Силивров С.П. Продуктивность фитопланктона Рефтинского водохранилища в связи с выращиванием растительных рыб в поликультуре // В сб.: Гидробиологическая характеристика водоёмов Урала. Свердловск, 1989. С. 103–112.
- Павлюченко О.В., Ермошина Т.В. Внутрішньовидова мінливість і популяційна екологія *Sinanodonta woodiana* (Bivalvia, Unionidae) у зв'язку з інтродукцією цього виду в Україні // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Біологія». 2019. Vol. 32. P. 90–98.
- Старобогатов Я.И., Прозорова Л.А., Богатов В.В., Саенко Е.М. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 6. Моллюски, Полихеты, Немертины. СПб.: Наука, 2004. 528 с.
- Шкорбатов Г.Л., Старобогатов Я.И. Методы изучения двустворчатых моллюсков // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. 1990. Т. 219. 208 с.
- Янович Л.Н., Пампура М. Новая находка *Sinanodonta woodiana* (Bivalvia, Unionidae) в бассейне Дуная Украины (морфобиологическая характеристика) // Науковий вісник УжНУ. Серія: біологія. 2012. Vol. 32. P. 145–149.
- Afanasjev S.A., Zdanowski B., Kraszewski A. Growth and population structure of the mussel *Anodonta woodiana* (Lea, 1834) (Bivalvia, Unionidae) in the heated Konin lake system // Archives of Polish Fisheries. 2001. Vol. 9. No. 1. P. 123–134.
- Beran L. Distribution and recent status of freshwater mussels of family Unionidae (Bivalvia) in the Czech Republic // Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems. 2019. Vol. 420. P. 45.
- Bespalaya Y.V., Bolotov I.N., Aksenova O.V., Gofarov M.Y., Kondakov A.V., Vikhrev I.V., Vinarski M.V. DNA barcoding reveals invasion of two cryptic *Sinanodonta* mussel species (Bivalvia: Unionidae) into the largest Siberian river // Limnologia. 2018. Vol. 69. P. 94–102.
- Bogan A.E., Bowers-Altman J., Raley M.E. The first confirmed record of the Chinese Pond Mussel (*Sinanodonta woodiana*) (Bivalvia: Unionidae) in the United States // The Nautilus. 2011. Vol. 125. No. 1. P. 41–43.
- Bogan A.E., Schilthuizen M. First report of the introduced freshwater bivalve, *Anodonta woodiana* (Lea, 1834) from the island of Borneo, Sabah, Malaysia // Ellipsaria. 2004. Vol. 6. No. 1. P. 5.
- Bolotov I.N., Bespalaya Y.V., Gofarov M.Y., Kondakov A.V., Konopleva E.S., Vikhrev I.V. Spreading of the Chinese pond mussel, *Sinanodonta woodiana*, across Wallacea: One or more lineages invade tropical islands and Europe // Biochemical Systematics and Ecology. 2016. Vol. 67. P. 58–64.
- Bolotov I.N., Kondakov A.V., Konopleva E.S., Vikhrev I.V., Aksenova O.V., Aksenov A.S., Bespalaya Y.V., Borovskoy A.V., Danilov P.P., Dvoryankin G.A., Gofarov M.Y., Kabakov M.B., Klishko O.K., Kolosova Y.S., Lyubas A.A., Novoselov A.P., Palatov D.M., Savvinov G.N., Solomonov N.M., Spitsyn V.M., Sokolova S.E., Tomilova A.A., Froufe E., Bogan A.E., Lopes-Lima M., Makhrov A.A., Vinarski M.V. Integrative taxonomy, biogeography and conservation of freshwater mussels (Unionidae) in Russia // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. P. 1–20.
- Cappelletti C., Cianfanelli S., Beltrami M.E., Ciutti F. *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) (Bivalvia: Unionidae): a new non-indigenous species in Lake Garda (Italy) // Aquatic Invasions. 2009. Vol. 4. No. 4. P. 685–688.
- Dobler A.H., Hoos P., Geist J. Distribution and potential impacts of nonnative Chinese pond mussels *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) in Bavaria, Germany // Biological Invasions. 2022. Vol. 4. P. 1689–1706.
- Folmer O., Black M., Hoeh W., Lutz R., Vrijenhoek R. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates // Molecular Marine Biology and Biotechnology. 1994. Vol. 3. No. 5. P. 294–299.
- GBIF.org (20 October 2022) GBIF Occurrence Download. <https://doi.org/10.15468/dl.x8bwxy>
- Guarneri I., Popa O.P., Gola L., Kamburska L., Lauceri R., Lopes-Lima M., Popa L.O., Riccardi N. A morphometric and genetic comparison of *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) populations: Does shape really matter? // Aquatic Invasions. 2014. Vol. 9. No. 2. P. 183–194.
- Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis // Paleontologia Electronica. 2001. Vol. 4. No. 1. 9 p.
- Kondakov A.V., Bespalaya Y.V., Vikhrev I.V., Konopleva E.S., Gofarov M.Yu., Tomilova A.A., Vinarski M.V., Bolotov I.N. The Asian pond mussels rapidly colonize Russia: successful invasions of two cryptic species to the Volga and Ob rivers // BioInvasions Records. 2020. Vol. 9. No. 3. P. 504–518.
- Kondakov A.V., Palatov D.M., Rajabov Z.P., Gofarov M.Yu., Konopleva E.S., Tomilova A.A., Vikhrev I.V., Bolotov I.N. DNA analysis of a non-native lineage of *Sinanodonta woodiana* species complex (Bivalvia: Unionidae) from Middle Asia supports the Chinese origin of the European invaders // Zootaxa. 2018. Vol. 4462. No. 4. P. 511–522.
- Konečný A., Popa O.P., Bartáková V., Douda K., Bryja J., Smith C., Popa L.O., Reichard M. Modelling the invasion history of *Sinanodonta woodiana* in Europe: Tracking the routes of a sedentary aquatic invader with mobile parasitic larvae // Evolutionary Applications. 2018. Vol. 11. No. 10. P. 1975–1989.
- Kraszewski A., Zdanowski B. *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) (Mollusca) – a new mussel species in Poland: occurrence and habitat preference in a heated lake sys-

- tem // Polish Journal of Ecology. 2007. Vol. 55. No. 2. P. 337–356.
- Labecka A.M., Domagala J. Continuous reproduction of *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1824) females: an invasive mussel species in a female-biased population // Hydrobiologia. 2018. Vol. 810. P. 57–76.
- Lajtner J., Crnčan P. Distribution of the invasive bivalve *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) in Croatia // Aquatic Invasions. 2011. Vol. 6. Supplement 1. P. 119–124.
- Liu Y., Hao A., Iseri Y., Kuba T., Zhanf Z. A comparison of the mussel *Anodonta woodiana*'s acute physiological responses to different algae diets // Journal of Clean Energy Technologies. 2014. Vol. 14. No. 2. P. 126–131.
- Lopes-Lima M., Sousa R., Geist J., Aldridge D.C., Araujo R., Bergengren J., Bernal Y., Bodis E., Burlakova L., Van Damme D., Douda K., Froufe E., Georgiev D., Gumpinger C., Karatayev A., Kebapçı Ü., Kileen I., Lajtner J., Larsen B.M., Rosaria L., Legakis A., Lois S., Lundberg S., Moorkens E., Motte G., Nagel K.-O., Ondina P., Outeiro A., Paunovic M., Prie V., Proschwitz T., Riccardi N., Rudzite M., Rudzitis M., Scheder C., Seddon M., Sereflisan H., Simic V.M., Sokolova S., Stockl K., Taskinen J., Teixeira A., Thielen F., Trichkova T., Varandas S., Vicentini H., Zajac K., Zajac T., Zogaris S. Conservation status of freshwater mussels in Europe: state of the art and future challenges // Biological Reviews. 2017. Vol. 92. P. 572–607.
- McDowell W.G., Sousa R. Mass mortality events of invasive freshwater bivalves: current understanding and potential directions for future research // Frontiers in Ecology and Evolution. 2019. 7: 331.
- Nei M., Kumar S. Molecular Evolution and Phylogenetics. New York: Oxford University Press, 2000. 352 p.
- Popa O.P., Bartáková V., Bryja J., Reichard M., Popa L.O. Characterization of nine microsatellite markers and development of multiplex PCRs for the Chinese huge mussel *Anodonta* (*Sinanodonta*) *woodiana* Lea, 1834 (Mollusca, Bivalvia) // Biochemical Systematics and Ecology. 2015. Vol. 60. P. 234–237.
- Poznańsk-Kakareko M., Wiśniewski K., Szarmach D., Witkowska A., Kakareko T., Jermacz Ł., Kobak J. Importance of substratum quality for potential competitive niche overlap between native and invasive unionid mussels in Europe // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 799. P. 149345.
- Soroka M., Urbańska M., Andrzejewski W. Chinese pond mussel *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834): origin of the Polish population and doubtful GenBank data // Journal of Limnology. 2014. Vol. 73. No. 3. P. 454–458.
- Spyra A., Jędraszewska N., Strzelec M., Krodkiewska M. Further expansion of the invasive mussel *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) in Poland – establishment of a new locality and population features // Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems. 2016. Vol. 417. P. 41.
- Spyra A., Strzelec M., Lewin I., Krodkiewska M., Michalik-Kucharz A., Gara M. Characteristics of *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) populations in fish ponds (Upper Silesia, Southern Poland) in relation to environmental factors // International Review of Hydrobiology. 2012. Vol. 97. P. 12–25.
- Szlauer-Łukaszewska A., Andrzejewski W., Gierszal H., Urbańska M. Co-occurrence of *Sinanodonta woodiana* with native Unionidae in the lower Oder // Oceanological and Hydrobiological Studies. 2017. Vol. 46. No. 2. P. 244–248.
- Tamura K., Stecher G., Kumar S. MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 11. Molecular Biology and Evolution. 2021. Vol. 38. P. 3022–3027.
- Urbańska M., Kamocki A., Kirschenstein M., Ożgo M. The Chinese pond mussel *Sinanodonta woodiana* demographically outperforms European native mussels // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. P. 17058.
- Yermoshyna T., Pavliuchenko O. Population structure and symbiotic relationships of the invasive species *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) in water bodies of Ukraine // In: E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 280. 06006.

# THE FIRST FIND OF TWO SPECIES OF ASIAN POND MUSSELS (SINANODONTA) IN THE REFTINSKY RESERVOIR (CENTRAL URAL)

© 2023 Pavluk T.E.<sup>a, \*</sup>, Tretyakova A.S.<sup>b, \*\*</sup>, Kovalev S.Yu.<sup>b, \*\*\*</sup>,  
Grudanov N.Yu.<sup>c, \*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection; Yekaterinburg, 620049, Russia

<sup>b</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, 620002, Russia

<sup>c</sup> Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, Yekaterinburg, 620144, Russia

e-mail: \*t.pavluk@mail.ru, \*\*alyona.tretyakova@urfu.ru, \*\*\*sergey.kovalev@urfu.ru,

\*\*\*\* nickolai.grudanoff@yandex.ru

This study presents the data on the first record of *Sinanodonta woodiana* and *S. lauta* in artificially heated site of Reftinsky reservoir by warm water discharge of the Reftinsky thermal power plant (Sverdlovsk Region, the Reft River, Ob-Irtysh River Basin). This find is the northernmost habitat of these mussels of all known. The population of this species shares the invasive haplotypes: E3 (*S. woodiana*) and C3 (*S. lauta*). The population of the mussels includes individuals of various size and different age groups, and this fact could be an indirect evidence of successful naturalization of the species. The group of older specimens (over 10 years old) is more numerous in the population of *S. woodiana* (56%). The group of specimens of middle age (3–6 years) is more numerous in the population of *S. lauta*, their share is 48%. Specimens of *Sinanodonta* younger than 1-year-old (shell length less than 25 mm) are absent, and specimens of 2–3 years old are not numerous. Based on molecular data and archival records on fishery use, we assume that the invasion of *S. woodiana* and *S. lauta* in the Reftinsky reservoir is associated with introduction of food fish delivered from the Volga fish-farms at the end of the 20th – the beginning of the 21st century.

**Keywords:** biological invasions, Asian pond mussels, mitochondrial DNA, morphology, thermal pollution, *Sinanodonta woodiana*, *Sinanodonta lauta*.