

УДК 594.1-113.9(571.63:282)

ЗАМОР КРУПНЫХ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ В РЕКАХ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ СЕЗОН 2021 г.

© 2023 г. В. В. Богатов^а, *, Л. А. Прозорова^а, Т. В. Никулина^а

^аФедеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Россия 690022 Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159

*e-mail: vibogotov@mail.ru

Поступила в редакцию 18.08.2022 г.

После доработки 25.08.2022 г.

Принята к публикации 01.09.2022 г.

В аномально жаркий и маловодный летне-осенний сезон 2021 г. в равнинных реках юга Приморского края (юг Дальнего Востока России) отмечена массовая гибель Unionidae из родов *Middendorffinaia*, *Buldowskia* и *Sinanodontia*. Наиболее выносливыми к высокой температуре воды оказались *Nodularia douglasiae* (Griffith et Pidgeon, 1833), наименее выносливыми — виды из родов *Sinanodontia* и *Middendorffinaia*.

Ключевые слова: Приморский край, реки, Bivalvia, *Nodularia*, *Middendorffinaia*, *Buldowskia*, *Margaritifera*, замор Unionidae, изменение климата, высокая температура воды, антропогенное загрязнение

DOI: 10.31857/S0367059723010031, **EDN:** GYJBSP

В последние несколько десятилетий природа нашей планеты разрушается с невероятной скоростью, причем пресноводные экосистемы относятся к числу наиболее уязвимых. По прогнозам в ближайшем будущем воздействие климатических факторов на экосистемы земного шара усилится [1]. Изменение климата влияет на природные циклы наводнений: увеличивается сила паводка, однако вероятность ливней в сухой сезон уменьшается (т.е. наблюдается больше крайностей) [2]. В частности, на юге Дальнего Востока в августе и сентябре 2020 г. в Приморье прошли сильные дожди, в том числе вызванные двумя тайфунами, в то же время летне-осенний сезон 2021 г. обошелся без тайфунов, и по сведениям синоптиков подобной длительной межени в Приморье не случилось уже более 10 лет (последний раз длительный период без влияния тайфунов в регионе наблюдался до 2010 г.).

В сильный паводок происходит количественное истощение фито- и зообентоса вплоть до разрушения речных бентических сообществ, а при низкой водности усиливается прогрев воды, при этом активно развиваются личинки некоторых амфибиотических насекомых, брюхоногие моллюски и другие беспозвоночные. На фоне длительной межени и при высоких температурах воды активизируется бактериальное разложение органических веществ, например захороненного на дне водоема листового опада. Высокие температуры воды снижают парциальное давление кис-

лорода, что вызывает гибель реофильных организмов. От насыщения воды кислородом зависит устойчивость гидробионтов ко многим неблагоприятным факторам внешней среды, включая антропогенные загрязнения.

При низком уровне воды удобно проводить исследование крупных Bivalvia и других донных организмов, поскольку эти гидробионты становятся доступны для прямого сбора и учета. Принимая во внимание сложившуюся в регионе в 2021 г. маловодность речных систем, было принято решение провести оценку современного состояния популяций крупных двустворчатых моллюсков, особенно видов, включенных в последнее издание “Красной книги России”: *Middendorffinaia mongolica* (Middendorff, 1851), *Middendorffinaia suffunensis* Moskvicheva et Starobogatov, 1973, *Buldowskia cylindrica* Moskvicheva, 1973 (все из семейства Unionidae) и *Dahurinaia dahurica* (Middendorff, 1850) (сем. Margaritiferidae) [3], проследить их способность к выживанию в экстремальных условиях маловодного сезона.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в июне–ноябре 2021 г. и апреле–июне 2022 г. на юге Приморского края в бассейнах рек Кневичанка (площадь бассейна 476 км², правый приток р. Артемовка, которая в свою очередь впадает в Уссурийский залив Японского моря) и Раздольная (площадь бассейна

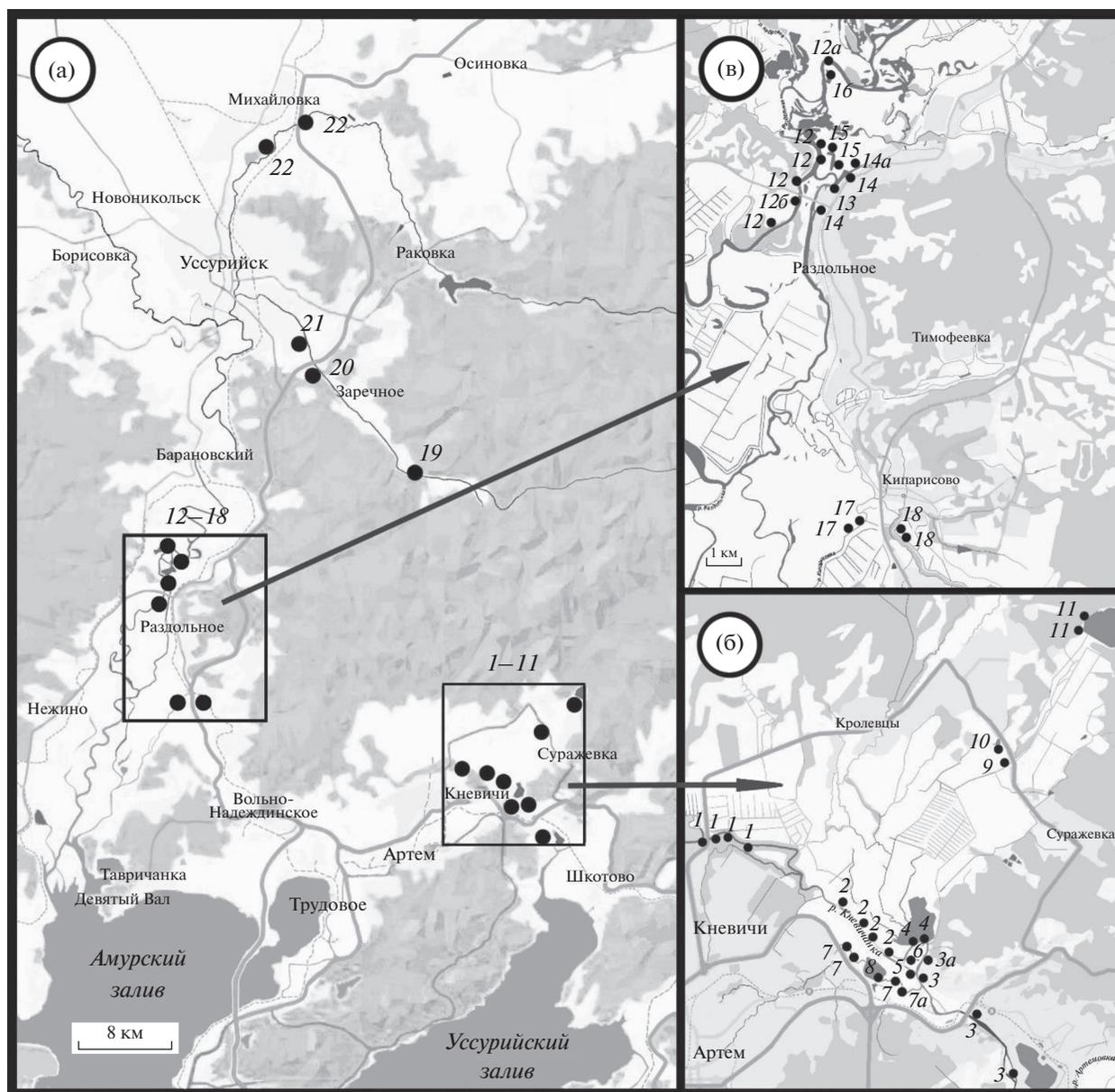


Рис. 1. Карта-схема района сбора материала (а), в том числе в бассейне рек Кневичанка (зона б) и Раздольная (зона в): 1–3 – русло р. Кневичанка (лесной участок – 1, луговая местность выше оз. Кролевецкое – 2, луговая местность ниже оз. Кролевецкое – 3); 4 – оз. Кролевецкое; 5 – действующий водоотводный канал; 6 – водоотводный канал, отшнурованный земляной дамбой; 7 – р. Орловка; 8 – оз. Орловское; 9 – р. Ивнянка (загрязненное русло); 10 – озерцо на р. Ивнянка у пос. Заводской; 11 – водохранилище; 12 – основное русло р. Раздольной; 13 – левое ответвление русла р. Раздольной; 14 – затоны р. Раздольной; 15 – старица; 16 – карьеры; 17 – р. Кипарисовка; 18 – оросительный канал у пос. Кипарисово; 19 – р. Комаровка ниже пос. Кондратеновка; 20 – оз. Банеурово; 21 – затон р. Комаровки у спорт-комплекса Радужное; 22 – р. Раковка.

16830 км², впадает в Амурский залив Японского моря), включая реки Комаровка (площадь бассейна 1490 км², левый приток р. Раздольной, Уссурийский район), Раковка (площадь бассейна 812 км², правый приток р. Комаровка, Михайловский район) и Кипарисовка (левый приток р. Раздольной, Надеждинский район) (рис. 1а). Вся исследованная территория входит в экорегион “уссу-

рийские широколиственные и смешанные леса умеренного климата”, относящийся к биому “широколиственные и смешанные леса умеренного климата” (<https://ecoregions2017.appspot.com/>).

В бассейне р. Кневичанка обследовано русло в пределах речной долины примерно до 15 км выше слияния Кневичанки с р. Артемовка, два водоотводных канала (действующий и ныне отшнуро-

ванный земляной дамбой), р. Орловка (правый приток р. Кневичанка), озера Орловское и Кролевецкое, р. Ивнянка (впадает в оз. Кролевецкое), включая озерцо близ пос. Заводской и водохранилище в горной части речного бассейна. В нижнем течении р. Кневичанки были выделены три участка: верхний, расположенный в пределах широколиственного леса (11–15 км от впадения в р. Артемовка), и два нижних, расположенных в открытой луговой местности, соответственно выше и ниже оз. Кролевецкое (рис. 1б).

В низовьях р. Раздольной сбор моллюсков проводился у пос. Раздольное в основном русле на участке около 8 км длиной, левом ответвлении русла реки (около 300 м ниже станции Раздольная), а также в затонах, старицах и карьерах. В р. Кипарисовка исследованы русло и оросительный канал у пос. Кипарисово (рис. 1в), в р. Комаровка – предгорный участок русла у пос. Кондратеновка, оз. Баневурово и затоны реки у спорткомплекса Радужное, в р. Раковка – русло в окрестностях пос. Михайловское (рис. 1а).

Необходимо подчеркнуть, что все исследованные водные объекты еще 3–4 десятилетия назад отличались высоким разнообразием и значительной плотностью поселения крупных двустворчатых моллюсков из семейства Unionidae [4–15]. В частности, р. Раздольную и ее пойменные водоемы, а также р. Кипарисовку с мелиоративным каналом у пос. Кипарисово населяли многочисленные представители родов *Nodularia*, *Middendorffinaia*, *Buldowskia* и *Sinanodonta*, причем вышеназванный канал является типовым местонахождением *Anemina (Buldowskia) zatrawkini* Martynov et Tshernyshev, 1992 [11], позднее переопределенного как *Buldowskia suifunica suifunensis* (Shadin, 1938) [16]. Низовья рек Комаровка и Раковка, а также их пойменные водоемы населяли моллюски из родов *Buldowskia* и *Sinanodonta*, а в среднем течении этих рек доминировали виды из рода *Middendorffinaia*. Кроме того, в верховьях р. Комаровки, в пределах Уссурийского заповедника, обитала крупная популяция даурской жемчужницы *Margaritifera dahurica* (Middendorff, 1850) (сем. Margaritiferidae) [15] (ныне в р. Комаровке эти жемчужницы сохранились лишь в среднем течении, близ пос. Кондратеновка [17]). В нижней части бассейна р. Кневичанки, включая оз. Кролевецкое, преобладали беззубки из рода *Buldowskia*, в том числе *B. cylindrica*, для которого один из затонов реки ниже оз. Кролевецкое обозначен как типовое местонахождение [12]. Реже в низовьях р. Кневичанки встречались представители родов *Middendorffinaia*, *Sinanodonta* и солоноватоводные моллюски *Corbicula japonica* Prime, 1864 (сем. Cyrenidae). Река Орловка в свою очередь была обильно населена *Buldowskia suifunica* (Lindholm, 1925) [16, табл. 65, 68].

Важно напомнить, что крупные *Bivalvia* в бассейнах рек Кневичанка и Раздольная sporadически исследовались на протяжении всего XX столетия, при этом в 1980-х годах были предприняты наиболее масштабные сборы моллюсков, в которых участвовал один из авторов статьи (В. Богатов). В последующие годы проводились разовые выезды специалистов на водоемы, в результате чего были получены первые сигналы, указывающие на деградацию местообитаний двустворчатых моллюсков. Например, при обследовании в 2000 и 2008 гг. верховьев р. Комаровки было зафиксировано исчезновение жемчужниц *Dahurinaia dahurica* из донного сообщества, а при обследовании в 2011 г. основного русла р. Раздольной у пос. Раздольное в составе малакофауны не были обнаружены доминировавшие здесь ранее представители рода *Middendorffinaia*. В этот же период отсутствие двустворчатых моллюсков было отмечено в р. Кипарисовка и мелиоративном канале близ пос. Кипарисово.

В 2021 г. сбор моллюсков осуществлялся на тех же водных объектах, что и в 1980-х годах, за исключением озерца и водохранилища на р. Ивнянка, состав малакофауны которых был исследован впервые. Сбор раковин проводился вручную или с применением крупноячеистого сачка и граблевого скребка. Количественный учет моллюсков выполняли путем тотального облова скребком определенной площади грунта до глубины 1.5 или 2 м, а также при ручном сборе на мелководьях. При количественной оценке живых особей поднятых с грунта моллюсков, как правило, возвращали в природу. Всего было собрано около 40 живых двустворок и более 400 пустых раковин. Определение моллюсков и фотографии выполнены В.В. Богатовым. Для оценки степени эвтрофирования водоемов проводился учет доминирующих видов водорослей в поверхностных альгобактериальных пленках. Определение водорослей проведено Т.В. Никулиной.

В 2021 г. в основных точках сбора измеряли температуру воды, определяли уровень pH и содержание в воде аммонийного азота (NH_4) с использованием соответственно Value-Test и Ammonium/Ammonia-Test, производитель – Sera Werke Borsigstr. 49, D-52525 Heinsberg, Germany. Кроме того, в апреле–июне 2022 г. в условиях низкой воды было проведено контрольное обследование точек сбора моллюсков: дополнительно измеряли карбонатную жесткость воды (кН) и содержание в воде фосфатов (PO_4), которые оценивали с использованием тест-систем того же производителя: “кН Test” и “Tetra Test PO_4 ” соответственно (табл. 1, 2).

Таблица 1. Гидрохимические характеристики воды на станциях в бассейне р. Кневичанка

Место сбора (№ станции)	Координаты, с.ш./в.д.	Дата, время сбора	Температура воды, °С	рН	кН	NH ₄ , мг/л	PO ₄ , мг/л
Река Кневичанка, лесная зона (1)	43°25'19"/132°11'82"	20.10.21, 16-30	6.0	6.5–7.0	–	1.0	–
То же	43°25'22"/132°12'11"	25.05.22, 10-00	18.5	7.0	6.0	5.0	5.0
Река Кневичанка, выше озера (2)	43°25'19"/132°11'82"	20.10.21, 11-30	6.0	7.0	–	1.0	–
То же	43°23'54"/132°14'99"	25.10.21, 14-00	7.0	7.0	–	5.0	–
»	43°23'37"/132°15'33"	25.05.22, 15-00	24.0	9.0	3.0	0.5	0.5
Река Кневичанка, у сброса с очистных сооружений (3а)	43°23'18"/132°16'15"	25.05.22, 12-30	21.0	7.5	6.0	>10.0	10.0
Река Кневичанка, ниже очист- ных сооружений (3)	43°23'07"/132°16'08"	20.10.21, 14-00	10.0	7.5–8.0	–	10.0	–
То же	То же	25.05.22, 12-00	23.0	7.5	4.0	5.0	5.0
Канал р. Кневичанка, в устье (5)	43°23'08"/132°16'04"	15.09.21, 11-00	19.5	–	–	–	–
Река Орловка (7а)	43°23'02"/132°15'67"	26.10.21, 10-00	6.0	7.5	–	0.0	–
То же	То же	25.05.22, 14-00	22.0	8.0	5.0	0.0	0.0
Река Ивнянка, загрязненный участок (9)	43°26'30"/132°18'08"	20.10.21, 15-20	8.0	7.5	–	5.0–10.0	–
То же	То же	25.05.22, 11-30	16.0	7.0	3.0	5.0	5.0–10.0
Озерцо на р. Ивнянке (10)	43°26'56"/132°17'77"	20.10.21, 15-40	7.0	7.5	–	0.0	–
То же	То же	25.05.22, 11-00	19.0	7.5	4.0	0.0	0.0

Таблица 2. Гидрохимические характеристики воды на станциях в бассейне р. Раздольная

Место сбора (№ станции)	Координаты, с.ш./в.д.	Дата, время сбора	Температура воды, °С	рН	кН	NH ₄ , мг/л	PO ₄ , мг/л
Река Раздольная, выше карьера (12а)	43°35'04"/131°53'79"	20.05.22, 11-40	21.0	8.5	3.0	0.0	0.5
Река Раздольная, у моста (12b)	43°33'03"/131°53'23"	20.05.22, 16-00	20.0	8.5	3.0	0.0	0.5
Затон у ст. Раздольное (14а)	43°33'46"/131°54'60"	20.05.22, 15-00	27.0	7.5	3.0	0.0	0.5
Старица у ст. Раздольное (15)	43°33'50"/131°54'01"	20.05.22, 14-00	22.5	7.5	4.0	0.0	0.0
Карьер у р. Раздольная (16)	43°34'66"/131°53'98"	20.05.22, 12-50	22.0	7.5	3.0	0.0	0.0
Канал у с. Кипарисово (18)	43°27'83"/131°55'27"	20.05.22, 10-30	21.5	6.5	3.0	0.0	0.5
Река Комаровка, ниже с. Кондрате- новка (19)	43°38'39"/132°09'56"	29.10.21, 12-00	6.0	7.0	–	0.0	–
То же	То же	19.11.21, 11-00	3.0	7.0	–	0.0	–
»	»	29.04.22, 13-00	6.5	6.5–7.0	3.0	0.0	0.0
Оз. Баневурово (20)	43°43'15"/132°03'10"	22.06.22, 11-00	18.5	7.5	4.0	0.0	0.0
Затон р. Комаровка у с/к Радужное (21)	43°45'19"/132°02'25"	22.06.22, 12-00	21.5	7.0	2.0	0.0	0.0
Река Раковка (22)	43°53'74"/132°00'50"	29.10.21, 16-00	7.0	7.5	–	5.0	–
То же	То же	22.06.22, 14-00	21.5	7.0	3.0	1.0	2.0

РЕЗУЛЬТАТЫ

Бассейн р. Кневичанка. В основном русле р. Кневичанка, ее рабочем водоотводном канале, оз. Кролевецкое и р. Орловка (рис. 1б, 1–8) в период исследования были обнаружены только представители рода *Buldowskia*, причем во второй

половине августа 2021 г. был зафиксирован замор этих моллюсков, в то время как в июне еще можно было встретить живых двустворок. Несомненно, основная причина массовой гибели *Buldowskia* связана с продолжительным аномально теплым летним периодом, когда в условиях крайне низкой маловодности температура воды в водое-

мах и водотоках длительное время не опускалась ниже 28–30°C.

Количественные учеты пустых раковин *Buldotskia*, образовавшихся в результате замора моллюсков, показали их крайне неравномерное распределение по биотопам. В частности, в р. Кневичанка в верхней лесной зоне (рис. 1б, 1; 2а) при тотальном облове грунта от берега до глубины 1.5 м было собрано всего по 1–2 раковины на каждые 10 м русла, а на равнинном безлесном участке (рис. 1б, 2; 2б) – по 5–9 раковин. Очень низкая плотность двустворок в лесной зоне объясняется тем, что дно реки в 2021 г. было покрыто плотным слоем перегнивающего листового опада (рис. 2в), сохранившегося с осени 2020 г. Понятно, что листовое покрытие грунта легко смывается в периоды паводков, но при длительной межени листовая опад остается на грунте, тем самым сокращая местообитания моллюсков. Ниже по течению, вне лесной зоны, сплошного покрытия дна листовым опадом не отмечено, что, очевидно, обеспечило более высокую численность двустворок.

Наиболее существенный отход *Buldotskia* наблюдался в р. Орловка (рис. 1б, 7), где плотность раковин среди исследованных водоемов оказалась одной из наиболее высоких. Например, 3 сентября 2021 г. на 25-метровом участке русла с координатами 43°23'02" с.ш., 132°15'67" в.д. (рис. 2г) при ширине реки 7–8 м и глубине до 1.6–1.7 м было собрано 56 пустых раковин (рис. 2д), длина которых находилась в пределах 6.3–9.8 см, а их возраст изменялся от 2–2.5 до 4 лет (возраст одной раковины составил 1 год). Аналогичные по возрастному составу пустые раковины *Buldotskia* были обнаружены в русле Кневичанки ниже оз. Кролевецкое, в то время как на среднем участке реки (выше озера), возраст собранных моллюсков не превышал 2 лет. Все собранные выше оз. Кролевецкое моллюски были идентифицированы как *Buldotskia suifunica*, в то время как на нижнем участке русла были встречены как *B. suifunica*, так и *B. cylindrica*.

Еще одно крупное поселение *Buldotskia* было обнаружено в приустьевом участке водоотводного канала с координатами 43°23'08" с.ш. и 132°16'04" в.д. (см. рис. 1б, 5). При тотальном облове этого биотопа длиной 10 м, шириной 5–6 м и глубиной до 0.8 м, проведенном 15 сентября 2021 г., был собран 51 экз. пустых раковин, длина которых изменялась от 4.7 до 5.5 см, а возраст – от 2 до 3 лет. По морфологическим признакам все раковины были идентифицированы как *Buldotskia cylindrica* [16, табл. 70].

Показательно, что в 2021 г. в р. Кневичанка выше оз. Кролевецкое в толще илистого грунта на глубине около 2 м были обнаружены многочисленные остатки крупных раковин *Sinanodonta*, от

которых сохранилась только погруженная в грунт передняя часть раковины, тогда как омываемая водой ее задняя часть уже исчезла (см. рис. 2е). Если учитывать скорость коррозии раковин (2 года и более), то вымирание этих моллюсков могло произойти не позже 2019 г. или ранее. Косвенным подтверждением времени данного события стали находки на этом же участке русла “свежих” пустых раковин *Buldotskia suifunica* исключительно 2-летнего возраста. Вероятно, в период гибели *Sinanodonta* произошла и гибель *Buldotskia*, которые к 2021 г. смогли частично восстановить свою популяцию, в то время как моллюски рода *Sinanodonta* исчезли из р. Кневичанки, по-видимому, уже безвозвратно.

Надо отметить, что в прошлом представители *Sinanodonta* были широко распространены в бассейне р. Кневичанка, поскольку отдельные фрагменты раковин этих моллюсков были собраны в русле реки как выше, так и ниже оз. Кролевецкое, в водоотводных каналах, а также в р. Орловка. Вместе с тем в период замора 2021 г. в небольшом слабо проточном озерце близ пос. Заводское с координатами 43°26'56" с.ш. и 132°17'77" в.д. (см. рис. 1б, 10), соединенном с р. Ивнянка вытекающим из озерца безымянным протоком, были обнаружены живые *Sinanodonta schrenckii likharevi* Moskvicheva, 1973. Это озерцо оказалось рефугиумом и для трех номинативных видов *Buldotskia*: *B. suifunica*, *B. flavotincta* (Martens, 1905) [16, табл. 72, 18, 19] и *B. fuscoviridis* (Moskvicheva, 1973) [16, табл. 73, 8–16], которые здесь успешно пережили, по-видимому, не один аномально жаркий период. Примечательно, что моллюски в основном концентрировались в прибрежье крутого берега южной экспозиции, где температура воды была на 2–3° и более ниже, чем на отмелях, при отсутствии аммония и фосфатов (см. табл. 1). В то же время это озерцо уже многие годы отрезано от экосистемы оз. Кролевецкое из-за токсичных вод р. Ивнянка: вода в реке загрязнена отходами птицефабрики, имеет повышенное содержание аммония и фосфатов (см. табл. 1).

Еще одним из рефугиумов для *B. suifunica* оказался отшнурованный от основного русла р. Кневичанки участок водоотводного канала с координатами 43°23'24" с.ш. и 132°15'80" в.д. Здесь беззубки были сконцентрированы под обрывистым южным берегом на глубине 0.4–0.6 м. Важно пояснить, что данный участок из-за южной позиции также не находился под воздействием прямых солнечных лучей, что, скорее всего, и обеспечило выживание моллюсков, в то время как на противоположном берегу канала моллюски не обнаружены. Не исключено, что этот и аналогичные водоемы-рефугиумы могут в перспективе в условиях высокой воды стать источниками восстановления поселений *Buldotskia* в р. Кневичанка.

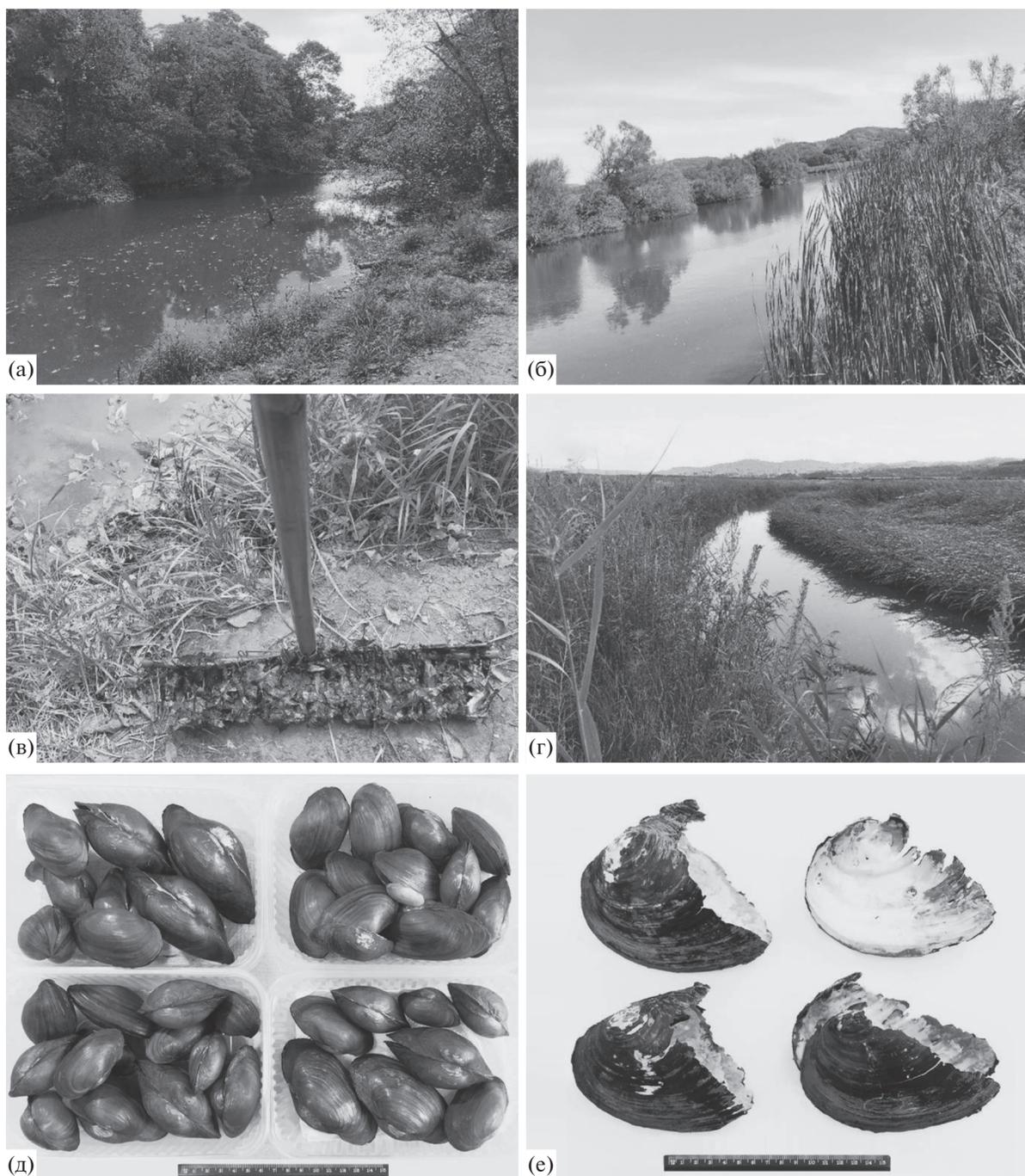


Рис. 2. Бассейн реки Кневичанки: а – р. Кневичанка в районе лесной зоны (сентябрь 2021 г.); б – р. Кневичанка в нижнем течении (август 2021 г.); в – лиственный опад, поднятый в сентябре 2021 г. с грунта р. Кневичанки в лесной зоне (участок изображен на рис. 2а) с глубины 1.5 м; г – р. Орловка в нижнем течении (фото 03.09.2021 г.); д – пустые раковины *Buldotskia suifunica* (Lindholm, 1925), собранные 03.09.2021 г. на участке р. Орловки, изображенном на рис. 2г; е – остатки раковин *Sinanodonta*, собранные в р. Кневичанка примерно с 2-метровой глубины в августе 2021 г. на участке, изображенном на рис. 2б.

Водохранилище, расположенное в горной части бассейна р. Ивнянка и отличавшееся прохладной водой (температура в августе не превышала 24–26°C на мелководных участках), в пери-

од исследований было заселено перловицами *Nodularia douglasiae* (Griffith et Pidgeon, 1833), которые, по-видимому, были интродуцированы в этот водоем при его зарыблении. Других предста-

вителей Unionidae здесь не обнаружено. Каким-либо признаков угнетения моллюсков в водохранилище не отмечено.

Бассейн р. Раздольная. При обследовании в 2021 г. русла р. Раздольной, а также ее затонов и крупных отработанных карьеров (см. рис. 1в) нами были встречены плотные поселения *Nodularia douglasiae*, которые показали хорошую устойчивость к повышенной температуре воды в течение всего аномально теплого вегетационного сезона. Нодулярии в основном концентрировались под берегом близ уреза воды, где достигали максимальной плотности (до 150–200 экз/м²). В настоящее время состояние популяций этого вида не вызывает опасения. Например, контрольный учет *N. douglasiae*, проведенный в мае 2022 г. в крупном карьере выше пос. Раздольное (см. рис. 1в, 1б), выявил высокую плотность двустворок в прибрежной зоне: около 180–200 экз/м² и более. Кроме того, повсеместно была отмечена высокая доля нодулярий нового поколения, составившая 10–15% от общей численности моллюсков.

В отношении состояния представителей популяций *Sinanodonta* и *Buldowskia* наблюдалась обратная картина. В частности, 20 августа 2021 г. в левом русле р. Раздольной (см. рис. 1в, 1з) на глубине около 1.5 м были собраны только пустые раковины *Sinanodonta*, а в крупном старичном озере, напротив станции Раздольное (см. рис. 1в, 1д), где эти беззубки еще в начале 2000-х годов были обычны, в илу обнаружены лишь отдельные полуразложившиеся фрагменты их раковин. В бассейне р. Раздольной подобные фрагменты были обнаружены также в некоторых безымянных старицах и оз. Баневурово (см. рис. 1а, 20). По-видимому, исчезновение из состава малакофауны нижней части бассейна р. Раздольной представителей *Sinanodonta* имеет устойчивый характер, что, несомненно, требует разработки особых методов их охраны и воспроизводства в Южно-Приморском регионе в целом.

В конце августа в р. Раздольная и ее затонах было обнаружено всего несколько живых экземпляров *Buldowskia*, которые в период сбора были крайне вялыми, по-видимому, из-за высокой температуры воды (около 29–34°C на мелководье). Кроме того, единичные живые *Buldowskia* были собраны в старичном озере у пос. Раздольное и в некоторых соединенных с рекой отработанных карьерах. Во же время уже поздней осенью 2021 г. в перечисленных биотопах живые *Buldowskia* не обнаружены. Контрольные сборы моллюсков, проведенные на данных участках в мае 2022 г., подтвердили отсутствие этих двустворок.

В процессе исследования было подтверждено полное отсутствие двустворчатых моллюсков в

р. Кипарисовка и ее оросительном канале (см. рис. 1в, 17, 18). Кроме того, на всех обследованных в районе пос. Раздольное биотопах не были обнаружены представители *Middendorffinaia*, исчезновение которых из низовий р. Раздольной было зафиксировано еще в 1990-х годах. Очевидно, что сокращение ареала этих перловиц происходит и сегодня. В частности, массовая гибель *M. sujfunensis* наблюдалась нами во второй половине 2021 г. на протяженном участке р. Раковка близ пос. Михайловка (см. рис. 1а, 22; 3), при этом вода в августе–сентябре здесь имела гнилостный запах, что указывало на преобладание анаэробных процессов разложения органического вещества, а на затишных участках поверхность водотока была покрыта сообществом плавающего растения ряски *Lemna* (рис. 3а). Пустые раковины *M. sujfunensis* были распределены крайне неравномерно и в основном концентрировались под пологими берегами на плесах. На одном из таких участков вдоль правого берега, протяженностью около 5 м (показан на рис. 3а), были собраны 82 пустые раковины *M. sujfunensis* (рис. 3б), длина которых находилась в пределах 4.3–7.6 см, а их возраст изменялся от 3 до 8 лет. Важно отметить, что при тщательном контрольном обследовании примерно 50-метрового участка русла р. Раковка, проведенном 22 июня 2022 г., живые экземпляры *M. sujfunensis* не были обнаружены, в то же время на одном из песчаных плесов на глубине 0.2–0.3 м были собраны 2 живых экземпляра *Buldowskia suifunica* 3-летнего возраста, длиной 4.2 и 4.6 см.

Обращает на себя внимание тот факт, что в отличие от равнинных рек на среднем полугорном участке р. Комаровки (см. рис. 1а, 19), для которого характерен гравийно-галечный с валунами грунт, обитающая здесь популяция *Middendorffinaia mongolica* не имела признаков угнетения, при этом температура воды в реке в летний период не превышала 22–25°C при pH 7.5 и отсутствии аммонийного азота (см. табл. 2). Здесь же на глубоководном участке переката (глубина – около 2 м) зафиксировано 12 живых экземпляров *Dahurinaia dahurica*. По-видимому, сохранности этих моллюсков в условиях жаркого сезона способствовали выходы холодных подрусловых вод. В то же время из-за развившихся в условиях низкого уровня воды личинок сетеплетущих ручейников *Stenopsyche marmorata* Navas, 1920 раковины большинства живых моллюсков *M. mongolica* были использованы личинками для крепления своих ловчих сетей и тем самым были обездвижены, что вызвало повышенную смертность моллюсков в зимний период [18].

В хорошем состоянии в начале сентября находились популяции *M. sujfunensis* и *B. suifunica* в затоне р. Комаровки (грунт илистый) у спорткомплекса Радужный (см. рис. 1а, 21). В момент отбора

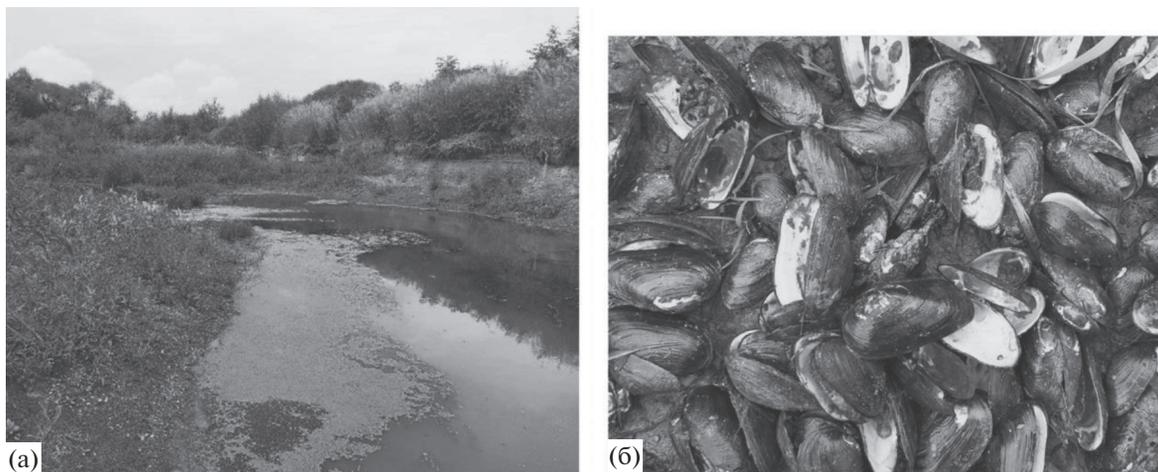


Рис. 3. Река Раковка (бассейн р. Раздольной, юг Приморского края): а – река в среднем течении в сентябре 2021 г. (в прибрежье видно сообщество плавающего растения ряски *Lemna*); б – пустые раковины *Middendorffinaia mongolica* (Middendorff, 1851), собранные в р. Раковка в июне 2022 г. (участок показан на левом фото).

проб температура воды в затоне составляла 25–27°C, при этом *M. suifunensis* концентрировались на глубине свыше 0.7 м в районе зарослей водяного ореха *Trapa natans* (L., 1758), листья которого закрывали проникновение на глубину солнечного света, а *B. suifunica* – на открытых участках на глубине 0.1–0.5 м. Повторное обследование биотопа в июне 2021 г. подтвердило наличие живых моллюсков, в том числе молоди *M. suifunensis* генерации 2021 г.

ОБСУЖДЕНИЕ

В летний период 2021 г. в условиях длительной межени вода в исследованных водоемах уже к концу июля прогрелась до экстремально высоких значений, составивших 28–30°C в русле рек и свыше 32–35°C на мелководьях, причем необычно высокая температура воды продолжала отмечаться в регионе и в сентябре. В частности, 3 сентября температура воды в р. Орловка в дневные часы составляла 28°C, а 15 сентября – 22°C. В низовьях р. Кневичанка 9 сентября в дневные часы температура воды в прибрежной зоне составляла 24–26°C, 15 сентября – около 21–22°C, а 8 октября – около 14°C.

В августе 2021 г. в равнинных реках региона был отмечен массовый замор крупных двустворчатых моллюсков из родов *Middendorffinaia*, *Buldowskia* и *Sinanodonta*, который, очевидно, был обусловлен высокой температурой воды. Проведенное впоследствии гидрохимическое обследование водных объектов (см. табл. 1, 2) показало, что в некоторых случаях гибели моллюсков способствовало загрязнение водотоков органическими веществами, в том числе с очистных сооружений г. Артем. В целом в руслах рек Кневичанка и

Раковка повсеместно было выявлено повышенное содержание аммонийного азота в воде (NH_4 – 5–10 мг/л), при этом рН воды в этот период находилось в пределах 7.5–8.5. Отметим, что аммоний сам по себе не токсичен, однако при повышенном уровне рН (свыше 7.0) этот ион переходит в аммиак (NH_3), представляющий собой высокотоксичное вещество, что, несомненно, способствует повышенной смертности гидробионтов. В то же время, например в р. Орловка и водоемах в окрестностях пос. Раздольное, аммонийный азот не был обнаружен, тем не менее здесь также произошел тотальный замор *Bivalvia*, что подтвердило роль температуры в качестве ведущего фактора, вызвавшего гибель гидробионтов.

Необходимо обратить внимание на то, что в условиях жаркого лета в обследованных водоемах не наблюдалось массового развития водорослей в толще воды, в то же время, например на равнинном участке р. Кневичанка близ пос. Кневичи и в оз. Орловское, в августе–октябре на поверхности воды фиксировали образование альгобактериальной пленки (рис. 4а, б), которая обычно формируется при низком водообмене и высокой температуре [19]. При обследовании пленки из р. Кневичанка было выявлено 10 видов диатомовых, эвгленовых и протоккокковых водорослей, из которых семь видов принадлежали отделу Protozoa (класс Euglenophyceae). В водорослевом сообществе доминировали два вида – диатомея *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith (индифферентный к солёности и рН среды, альфа-бетамезосапробионт) и *Trachelomonas planctonica* Swirenko (индифферентный к солёности и рН среды, бета-олигомезосапробионт). Кроме того, в составе пленки обнаружено массовое скопление бактерий – цепочковидных колоний, предположительно стрептококков, и

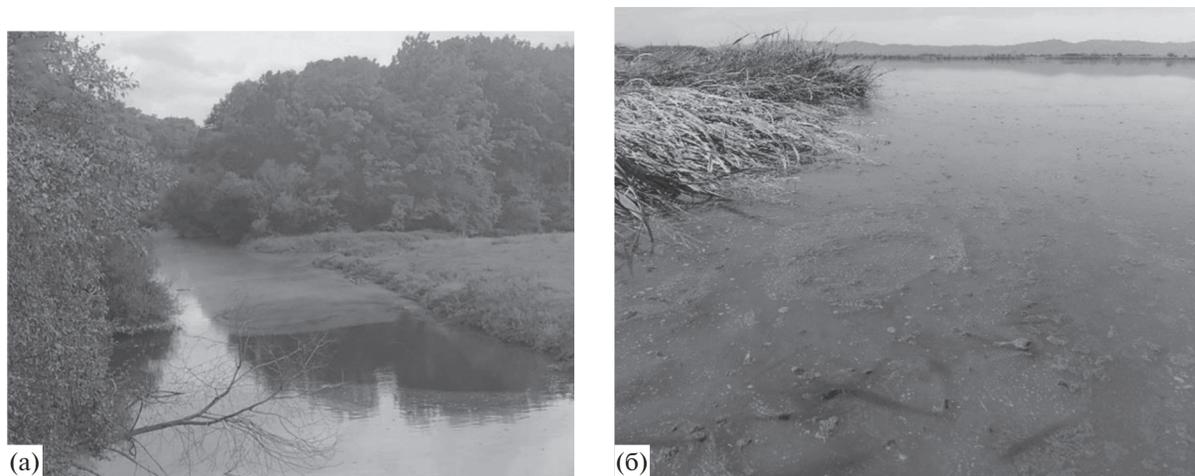


Рис. 4. Альгобактериальная пленка: а – в р. Кневичанка (лесная зона, фото 10.09.2021 г.); б – на оз. Орловское (фото 08.10.2021 г.).

ветвящегося мицелия актиномицетов (лучистых грибов). Экологическая характеристика альгобактериальной пленки определялась водорослями, индифферентными к солености и рН среды (за исключением мезогалобного *Euglena viridis* Ehrenberg), при этом сапробные характеристики водорослей изменялись от бета-олигомезосапробной до полисапробной.

В пленке из оз. Орловское также идентифицировано 10 видов водорослей, из которых преобладали три вида диатомей: *Navicula* sp. (с неизвестными экологическими характеристиками), *Nitzschia palea* (индифферентный к солености и рН среды, альфа-бетамезосапробионт) и *Tryblionella acuminata* W. Smith (мезогалоб, алкалофил, бета-полисапробионт). Экологическая характеристика альгобактериальной пленки определялась водорослями, мезогалобными и индифферентными к солености видами, алкалофильными и индифферентными по отношению к активной реакции среды, имеющими различные сапробные характеристики – от олиго-ксеносапробной до бета-полисапробной. Кроме водорослей, при камеральной обработке материала зафиксировано наличие “хлопьев” органического происхождения, окрашенных в коричневый, темно-коричневый и черный цвета.

В настоящее время трудно интерпретировать полученные материалы с точки зрения прямого воздействия альгобактериальной пленки на гидробиологический режим водных объектов, в то же время сам факт формирования пленки на водной поверхности с преобладанием водорослей-эврибионтов указывает на неблагоприятный гидроэкологический режим водотоков или стоячих водоемов, который может сопровождаться негативными последствиями для жизнедеятельности многих гидробионтов.

Следует также отметить, что в равнинных реках региона в условиях крайне слабой проточности на затишных участках наблюдалось массовое развитие плавающего растения ряска *Lemna* sp. (см. рис. 3а), причем в малых стоячих водоемах ряска в этот период полностью закрывала поверхность водного зеркала, блокируя солнечный свет, необходимый для развития водорослей. Очевидно, что наличие развитых сообществ ряска в речных системах указывает на продолжительность маловодного сезона, что в условиях муссонного климата представляется крайне редким явлением и, по-видимому, может отрицательно сказаться на жизнедеятельности реофильных организмов. В частности, в р. Раковка именно к затишным участкам, покрытым ряской, были приурочены основные скопления раковин погибших *Middendorffinaia*.

При оценке факторов, сопутствующих замору моллюсков в реках, впадающих в морские системы, необходимо учитывать возможность проникновения соленых морских вод в зону местообитания пресноводных Unionidae при крайне низкой водности, поскольку известно, что с повышением температуры и солености воды концентрация в ней кислорода понижается более быстрыми темпами. В частности, на проникновение соленых вод Уссурийского залива Японского моря в низовья р. Кневичанка указывают находки раковин солоноватоводных корбикул на участках примерно до 12 км выше устья р. Артемовки, а также раковин баянусов (усоногие раки *Balanus* из подотряда морских желудей *Balanomorpha*), обнаруженных на створках *Buldowskia cylindrica*, собранных в водоотводном канале р. Кневичанка [16, табл. 70, 14–18], что в 9 км выше устья Артемовки.

Показательно, что замор пресноводных моллюсков отсутствовал на предгорных участках речных экосистем, где температурный режим не был экстремально высоким, а аммонийный азот в воде отсутствовал. К примеру, на предгорном участке р. Комаровка, где течение потока было устойчивым (около 0.3–0.8 м/с), у реофильных *Middendorffinaia mongolica* не отмечено признаков угнетения. Кроме того, в районе поселения жемчужниц *Margaritifera dahurica* были зарегистрированы выходы холодных подземных вод, которые, несомненно, способствовали выживанию моллюсков не только в жаркий летний сезон, но и в зимний период, защищая биотопы от промерзания. Немаловажно также, что живые моллюски по завершению аномально жаркого сезона были обнаружены на участках пойменных водоемов, закрытых от попадания прямых солнечных лучей: в затоне р. Комаровка, оз. Баневурово, отшнурованном канале на р. Кневичанка, озере на р. Ивнанка близ пос. Заводской (бассейн р. Кневичанка) и др.

Полученные нами материалы позволяют утверждать, что в последние 2–3 десятилетия на юге Приморского края было несколько периодов локальных вымираний крупных двустворчатых моллюсков, о чем свидетельствует современное состояние популяций этих *Bivalvia* в водоемах и водотоках по сравнению с периодом 1980-х годов. В частности, было установлено, что за последние примерно 30 лет двустворчатые моллюски полностью исчезли из р. Кипарисовка и связанного с ней оросительного канала. Кроме того, из низовьев р. Раздольной и ее старичных озер в данный период исчезли моллюски из родов *Middendorffinaia* и *Sinanodonta*, хотя эти группы двустворок в 1980-х–первой половине 1990-х годов здесь доминировали. Примерно 3–4 года назад произошел замор *Sinanodonta* в низовьях р. Кневичанки. Повсеместно резко сократили свою численность представители приморских *Buldowskia*. Среди олиготрофных водотоков отмечено исчезновение в начале 2000-х годов популяции даурской жемчужницы *Margaritifera dahurica* из верховьев р. Комаровка, в то время как в среднем полугорном участке этой реки до сих пор сохранилось небольшое поселение, насчитывающее несколько десятков особей.

По-видимому, предыдущие случаи исчезновения моллюсков из водных экосистем юга Дальнего Востока могли быть вызваны локальными загрязнениями водной среды отходами агропромышленного комплекса, стоками от разрабатываемых в пойме р. Раздольной песчаных карьеров, промышленными сбросами либо трансграничным загрязнением. В то же время массовый замор моллюсков, произошедший в летне-осенний сезон 2021 г., – это первый для Дальнего Востока России зафиксированный случай гибели моллюсков, вызванный

исключительно климатическими факторами, усиленный на отдельных водных объектах антропогенным загрязнением.

Надо отметить, что в других регионах Российской Федерации в последние десятилетия также наблюдается сокращение численности двустворчатых моллюсков в основном из-за загрязнения поверхностных вод или за счет сокращения подходящих мест обитания. Например, особенно заметно в последние годы происходит сокращение ареала европейской жемчужницы *Margaritifera margaritifera* (L., 1758) [20]. Наряду с этим в последнее десятилетие регистрируется проникновение в водоемы Западной Европы, Европейской России и Сибири теплолюбивых беззубок *Sinanodonta* из южных регионов Азии [21, 22]. Глубокую озабоченность вызывает проникновение в последние годы в водоемы Западной Сибири (р. Пышма) [23] *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), что может отрицательно сказаться на работе гидротехнических сооружений в Обь-Иртышском бассейне.

С учетом продолжающегося нагревания северной части Евразийского континента [24] массовое вымирание крупных двустворчатых моллюсков, по крайней мере в boreальной области земного шара, несомненно будет продолжаться, как и существенное смещение ареалов теплолюбивых видов моллюсков к северу. Наблюдаемое в разных регионах мира резкое сокращение популяций крупных *Bivalvia* сделало этих беспозвоночных одной из самых уязвимых таксономических групп в мире. Полученные материалы ясно показывают, что применение комплексного подхода, сочетающего природоохранные меры с действиями, нацеленными на устранение причин изменений местообитаний (снижение загрязнения пресных вод, в том числе попадание загрязняющих веществ с водосбора с поверхностным стоком, охрана пойменных водоемов как потенциальных рефугиумов для Unionidae и других гидробионтов) позволит поддерживать и, возможно, восстановить биоразнообразие пресноводных моллюсков. В ряде случаев необходимо применять более жесткие меры по охране и восстановлению водоемов, которые учитывали бы не только загрязнение водных объектов, но и климатические изменения [25].

Работа проведена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031000147-6).

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов и соблюдение этических стандартов при работе с живыми моллюсками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад WWF “Живая планета 2020. Переломить тренд сокращения биоразнообразия”. 159 с. // WWF. Living Planet Report 2020 – Bending the curve

- of biodiversity loss. Eds. Almond R.E.A., Grooten M. and Petersen T. WWF, Gland, Switzerland, 2020.
2. Goldman C.R., Kumagai M., Robarts R.D. (eds.). Climatic change and global warming of inland waters. Impacts and mitigation for ecosystems and societies. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex (UK): Wiley-Blackwell – A John Wiley & Sons, Ltd, 2013. 496 p.
 3. Красная книга Российской Федерации. Т. “Животные”. 2-е изд. М.: ФГБУ “ВНИИ Экология”, 2021. 1128 с.
 4. Богатов В.В. Беззубки рода *Sinanodonta* (Bivalvia, Anodontinae) бассейна Амура и Приморья // Зоол. журн. 2007. Т. 80. № 2. С. 147–153.
 5. Богатов В.В., Затравкин М.Н. Новые виды отряда Unioniformes (Mollusca: Bivalvia) южной части советского Дальнего Востока // Систематика и фауна брюхоногих, двустворчатых и головоногих моллюсков / Тр. Зоол. ин-та АН СССР. Л., 1988. Т. 187. С. 155–168.
 6. Богатов В.В., Старобогатов Я.И. Перловицы (Bivalvia, Unionoidea) юга Приморского края // Зоол. журн. 1992. Т. 71. № 1. С. 132–136.
 7. Богатов В.В., Старобогатов Я.И. Беззубки (Bivalvia, Anodontinae) восточного и южного Приморья // Зоол. журн. 1996. Т. 75. № 9. С. 1326–1335.
 8. Жадин В.И. Моллюски пресных и солоноватых вод СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1952. 346 с. (Определители по фауне СССР; т. 46).
 9. Затравкин М.Н., Богатов В.В. Крупные двустворчатые моллюски пресных и солоноватых вод Дальнего Востока СССР. Владивосток: Изд-во ДВО АН СССР, 1987. 153 с.
 10. Затравкин М.Н., Старобогатов Я.И. Новые виды подсемейства Unionoidea (Bivalvia, Unionoformes) Дальнего Востока СССР // Зоол. журн. 1984. Т. 63. № 12. С. 1785–1791.
 11. Мартынов А.В., Чернышев А.В. Новые и редкие виды пресноводных двустворчатых моллюсков Дальнего Востока СССР // Зоол. журн. 1992. Т. 71. № 6. С. 18–23.
 12. Москвичева И.М. Моллюски подсемейства Anodontinae (Bivalvia, Unionidae) бассейна Амура и Приморья // Зоол. журн. 1973. Т. 52. № 6. С. 822–834.
 13. Москвичева И.М. Наяды (Bivalvia, Unionoidea) бассейна Амура и Приморья // Зоол. журн. 1973. Т. 52. № 10. С. 1458–1471.
 14. Москвичева И.М., Старобогатов Я.И. О восточно-азиатских потомидоподобных унионидах (Bivalvia) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1973. Т. 78. Вып. 2. С. 21–37.
 15. Bogatov V.V., Prozorova L.A., Starobogatov Y.I. The family Margaritiferidae (Mollusca: Bivalvia) in Russia // Ruthenica. 2003. V. 13. № 1. P. 41–52.
 16. Богатов В.В. Крупные двустворчатые моллюски пресных вод России (иллюстрированный атлас). Владивосток: Дальнаука, 2022. 288 с., 91 цв. вкл.
 17. Bolotov I.N., Bespalaya Y.V., Vikhrev I.V. et al. Taxonomy and distribution of freshwater pearl mussels (Unionoidea: Margaritiferidae) of the Russian Far East // PLoS One. 2015. V. 10. № 5. e0122408. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122408>
 18. Bogatov V.V., Prozorova L.A. Caddisflies *Stenopsyche marmorata* exploit river mussels as anchor for their nets // Far Eastern Entomologist. 2022. № 461. P. 31–36. <https://doi.org/10.25221/fee.461.3>
 19. Богатов В.В., Федоровский А.С. Основы речной гидрологии и гидробиологии. Владивосток: Дальнаука, 2017. 384 с.
 20. Bolotov I.N., Makhrov A.A., Gofarov M.Y. et al. Climate warming as a possible trigger of keystone mussel population decline in oligotrophic rivers at the continental scale // Scientific Reports. 2018. V. 8. № 35. P. 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18873-y>
 21. Bolotov I.N., Bespalaya Y.V., Gofarov M.Y. et al. Spreading of the Chinese pond mussel, *Sinanodonta woodiana*, across Wallacea: one or more lineages invade tropical island and Europe // Biochemical Systematics and Ecology. 2016. V. 67. P. 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2016.05.018>
 22. Kondakov A.V., Bespalaya Y.V., Vikhrev I.V. et al. The Asian pond mussels rapidly colonize Russia: successful invasions of two cryptic species to the Volga and Ob rivers // BioInvasions Records. 2020. V. 9. № 3. P. 504–518. <https://doi.org/10.3391/bir.2020.9.3.07>
 23. Бабушкин Е.С., Винарский М.В., Герасимова А.А. и др. Первая находка *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) (Mollusca, Bivalvia) в Сибири // Российский журн. биол. инвазий. 2022. № 1. С. 13–21. <https://doi.org/10.35885/1996-1499-15-1-13-21>
 24. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. М.: Росгидромет, 2021. 104 с.
 25. Голубков С.М. Влияние климатических колебаний на структуру и функционирование экосистем континентальных водоемов // Сибирский экологич. журн. 2021. № 1. С. 1–12. [doi: 10.1134/S1995425521010030] Golubkov S.M. Effect of Climatic Fluctuations on the Structure and Functioning of Ecosystems of Continental Water Bodies // Contemporary Problems of Ecology. 2021. № 1. P. 1–10. <https://doi.org/10.15372/SEJ20210101>