

Глобальное сокращение численности земноводных и роль рыбы ротана в этом процессе

А. Решетников



Андрей Решетников
8-й выпуск биокласса
(Микробоссы), школа
№ 520 (1986 г.), закончил
Биофак МГУ, к.б.н., сотруд-
ник Института проблем
экологии и эволюции им.
А.Н. Северцова РАН,
anreshetnikov@yandex.ru

В различных районах Земли, в том числе в Европейской части России, сокращается численность популяций многих видов амфибий и снижается разнообразие видов этой группы позвоночных, что подробно отражено в научных трудах, справочных изданиях и информационных бюллетенях. Скорость сокращения популяций амфибий нарастала с середины к концу XX столетия.

Факторы, негативно влияющие на популяции амфибий

Предполагается, что на состояние популяций амфибий могут влиять различные факторы — от локальных до глобальных. Выявление факторов, ведущих к угнетению популяций, в частности к сокращению численности, исчезновению амфибий из отдельных регионов или местностей, является весьма сложной задачей. Прежде всего, угнетение популяций в результате влияния негативных факторов необходимо отличать от колебаний численности этих популяций как естественного процесса. Для достоверного различия этих явлений требуется проведение многолетнего мониторинга, поскольку естественное падение численности (например, в результате повторяющихся климатических отклонений) может смениться подъемом. Отдельные факторы могут усиливать действие других. Помимо этого, выявление факторов угнетения популяций амфибий затрудняется сложностью

жизненного цикла этих животных, поскольку они могут подвергаться отрицательным воздействиям в водоемах (икра, личинки и взрослые особи), в наземных биотопах (сеголетки и взрослые), а также на путях миграций (сеголетки и взрослые).

Научные исследования, связанные с проблемой уменьшения численности амфибий, группируются вокруг нескольких вероятных основных причин этого процесса: увеличение ультрафиолетового облучения вследствие истончения озонового слоя Земли; изменение климата; распространение инфекционных заболеваний; загрязнение наземных биотопов и мест размножения, включая закисление нерестовых водоемов; разрушение биотопов; всееление чужеродных видов животных.

Истончение озонового слоя Земли ведет к повышению в солнечном спектре доли ультрафиолетового излучения, представляющего определенную опасность для популяций тех видов амфибий, которые откладывают икру в открытых мелких частях водоемов. У таких видов может наблюдаться значительная гибель оплодотворенной икры. По-видимому, ультрафиолетовые лучи способны разрушать внутримолекулярные связи в молекулах ДНК. В результате нарушается нормальное развитие эмбрионов и личинок, что приводит к возникновению уродств или гибели животных. К естественным механизмам защиты эмбрионов и личинок амфибий от последствий воздействия ультрафиолетового излучения относится функционирование ферментов-фотолитаз, восстанавливающих нормальную структуру ДНК.

Негативное влияние ультрафиолетового излучения выявлено для многих видов амфибий в Северной Америке, в Австралии и в Европе. Чувствительность разных видов к действию солнечного облучения неодинакова. Икра тритонов особенно чувствительна к облучению, поэтому специализированные формы поведения (обращивание самками икринок при откладке) могут повышать их выживаемость. В природных водоемах на выживаемость икры влияют высотность территории, облачность, присутствие в водоеме

растительности, закрывающей икру от света, и длительность инкубации, которая зависит от температуры воды. Головастики защищены от облучения лучше эмбрионов благодаря наличию в коже головастика светопоглощающих образований. Однако недавно выявлен «перенесенный» эффект: особи, подвергнутые повышенному облучению на эмбриональных стадиях, завершали личиночное развитие позже, при меньших размерах и часто вовсе останавливались в развитии.

Таким образом, по крайней мере для некоторых видов, показаны негативные последствия истончения озонового слоя планеты, однако пока трудно однозначно делать выводы о значении и глобальности такого воздействия.

Климатические изменения могут по-разному влиять на отдельные виды амфибий. Так, общее потепление климата в Англии в последние 20 лет явилось причиной того, что тритоны размножаются на несколько недель раньше, чем в прежние годы, однако у серой жабы *Bufo bufo* время пробуждения и нерестовой активности зависит не от абсолютных температур, а от средних значений за некоторый период времени, предшествующий нересту. В целом, обнаружение фенологических изменений в жизненном цикле и выявление корреляций между сокращением отдельных видов и потеплением климата не дают ответ на вопрос: насколько этот фактор ответствен за сокращение популяций амфибий? Лишь для отдельных видов, например для семиреченского лягушкозуба *Ranodon sibiricus*, в качестве причины вымирания можно указать климатические факторы (в данном случае аридизация, т.е. снижение влажности).

Распространение заболеваний нередко называют причиной сокращения популяций амфибий в различных районах Земли. Заболевания амфибий могут вызывать грибки, простейшие, паразитические рачки, трематоды, паразитические насекомые, вирусы и бактерии. Одним из самых распространенных грибковых заболеваний является сапролегниоз, значительно повышающий смертность икры. Весьма опасными для амфибий признаны эпидемии цитридомикоза. Это смертельное заболевание также вызывается грибами и ведет к поражению кожных покровов. Наиболее полные обзоры по этой теме содержат указания на резкое увеличение частоты регистрации различных катастрофических эпидемий среди амфибий и числа известных опасных заболеваний.

Загрязнение нерестовых водоемов и наземных станций может служить еще одной причиной угнетения популяций амфибий. Такие явления характерны для районов Земли с хорошо разви-

той промышленностью и сельским хозяйством, прежде всего для стран Северной Америки и Европы. Наиболее существенными для амфибий загрязнителями признаны соединения тяжелых металлов и химикаты, используемые для обработки сельскохозяйственных угодий. Иногда популяции амфибий испытывают воздействие различных видов загрязнений одновременно.

Вредное влияние ионов металлов показано на личинках и эмбрионах ряда видов амфибий, однако для некоторых видов установлено, что негативное воздействие ионов некоторых металлов проявляется лишь при низких значениях рН.

Весьма интересны работы, посвященные воздействию на амфибий азотных удобрений, широко применяемых в сельском хозяйстве России и других стран. На пагубное влияние нитрата аммония впервые обратил внимание Л. Бергер. Установлено, что нитраты и нитриты влияют на темпы роста и смертность личинок амфибий. Таким образом, при попадании азотных удобрений в водоемы личинки амфибий подвергаются определенной опасности.

Взрослые амфибии также восприимчивы к воздействию азотных удобрений. Для этих животных гранулированный нитрат аммония, применяемый для удобрения полей, высокотоксичен в концентрациях много ниже рекомендованных для использования. Однако это соединение теряет свою токсичность при растворении в почве. Даже в относительно сухой (при влажности около 7%) почве гранулы растворяются примерно за 3 часа. Обработка полей нитратом аммония, которая осуществляется весной в дневное время, по-видимому, может не оказывать значительного эффекта на половозрелых амфибий, весенние миграции которых происходят преимущественно в темное время суток.

Существенный вред популяциям амфибий может причинить применение инсектицидов, фунгицидов и гербицидов.

В последние два десятилетия повысились темпы *закисления природных водоемов* из-за выпадения кислых осадков, загрязненных выбросами промышленных предприятий. Только в Швеции к 1998 г. значительному закислению подверглись примерно 16 000 озер из имеющих 85 000, и для спасения водных экосистем 8 000 озер были обработаны известковым порошком. Наиболее подвержены резким изменениям кислотности воды небольшие временные водоемы, которые часто используются амфибиями для размножения. Механизм воздействия кислой воды на личинок амфибий обсуждается, но, вероятно, в кислой среде нарушается структура и функционирование жабер так же, как это установлено для рыб.

Отрицательное влияние низких значений pH воды показано на личинках ряда видов амфибий, наиболее чувствительны к закислению хвостатые земноводные. Взрослые амфибии менее чувствительны к действию этого фактора.

Разрушение биотопов также ведет к угнетению популяций амфибий. Этот процесс наблюдается на всех континентах (кроме Антарктиды, где нет амфибий) и выражен по-разному: от тотального сведения гигантских площадей тропического леса до локальных, но разнообразных проявлений хозяйственной деятельности человека, таких как затопление или застройка территорий, разрушение убежищ, перевыпас скота, загрязнение скотом водоемов, ликвидация рисовых чеков, дорожные работы, расчистка берегов водоемов и сооружение набережных. Сокращение численности амфибий происходит одновременно с уменьшением общего числа малых водоемов, характерным прежде всего для сельскохозяйственных регионов развитых стран и связанным с интенсификацией производства и укрупнением хозяйств. Неиспользуемые человеком сельские пруды относительно быстро исчезают из-за естественной сукцессии, часть прудов засыпают грунтом. Кроме того, показано отрицательное влияние сети дорог и фрагментации ареала на урбанизированных территориях, поскольку для необходимого поддержания генного обмена в пределах метапопуляции амфибий важны расстояния между соседними водоемами размножения. Для поддержания популяций амфибий в некоторых европейских странах осуществлены специальные «прудовые проекты» по созданию водоемов размножения амфибий.

Из сказанного видно, что сокращение популяций амфибий может происходить по самым различным причинам. Вероятные факторы, влияющие на состояние популяций амфибий, можно разделить на локальные и глобальные. К первым можно с некоторой долей условности отнести гибель амфибий на дорогах, распространение заболеваний, загрязнение и разрушение мест размножения, изоляция популяций вследствие урбанизации и некоторые другие. Значительное число работ посвящено факторам,



Рисунок 1. Рыба ротан, *Perccottus glenii* Dybowski (сем. *Odontobutidae*), впервые завезенная в Европу в 1912 г. из бассейна р. Амур.

которые могут претендовать на роль общих или глобальных, т.е. таких факторов, чье распространение не поддается контролю, и чье действие охватывает большие территории: климатические изменения, трансформация ландшафтов.

Воздействие рыбы ротана на популяции амфибий

Помимо перечисленных, весьма существенным фактором угнетения популяций амфибий в различных регионах Земли является *вселение чужеродных видов животных*. Целенаправленная или случайная интродукция животных и даже растений может отрицательно влиять на состояние популяций амфибий. Из интродуцированных животных различных систематических групп наиболее опасными для популяций амфибий оказываются рыбы. Интродукция рыб нередко приводит к тому, что водоемы перестают использоваться амфибиями для размножения, поскольку многие виды рыб активно поедают их личинок.

В районе подмосковного заказника «Озеро Глубокое» на относительно небольшой площади (50 км²) отмечены 18 чужеродных видов животных, преимущественно млекопитающих. География регионов-доноров весьма обширна, но в подавляющем большинстве они относятся к Северному полушарию. Анализ времени и способов вселения показывает, что темпы вселения чужеродных видов животных неуклонно повышаются, что происходит всецело благодаря человеческой активности. Наиболее уязвимыми оказались водные экосистемы, в которые проникли «ключевые» виды, т.е. виды, присутствие которых определяет структуру всей экосистемы. Многолетние наблюдения подтверждают существование постоянного фона потенциальных биологических инвазий. Другими словами, из-за человеческой активности в природе постоянно оказываются чужеродные виды, некоторые из которых размножились и уже образовали устойчивые популяции. Как показали проведенные исследования, наибольшее влияние на популяции амфибий оказывает рыба-вселенец ротан *Perccottus glenii*, в начале XX в. случайно интродуцированная в Европейскую Россию из бассейна р. Амур. Ротан способен колонизовать малые водоемы — лучшие места размножения местных амфибий. Влияние ротана на фауну гидробионтов изучали в ходе мониторинга 38 малых водоемов (сельские пруды, придорожные каналы, запруды), который проводили с 1994 г. Диета этой рыбы включает широкий спектр видов животных, принадлежащих ко

ко всем трофическим уровням. В малом водоеме практически все трофические цепи заканчиваются ротаном. Оказалось, что ротан также существенно снижает видовое разнообразие водных макробеспозвоночных и личинок амфибий. Это происходит потому, что, как правило, большинство видов амфибий: гребенчатый и обыкновенный тритоны (*Triturus cristatus*, *T. vulgaris*); травяная (*Rana temporaria*), остромордая (*R. arvalis*) и прудовая (*R. lessonae*) лягушки, а также золотой карась *Carassius carassius*, не могут успешно размножаться в прудах, населенных ротаном. Ротаны уничтожают относительно мелких взрослых обыкновенных тритонов и личинок обоих видов тритонов. Атакуя и кусая за конечности и хвост, ротаны способны нарушить нерестовое поведение относительно крупных гребенчатых тритонов, представляющее сложный комплекс движений, складывающихся в так называемый брачный танец. Хотя взрослые лягушки ежегодно посещают водоемы, населенные ротаном и откладывают икру, развивающиеся головастики в подавляющем числе случаев еще до выхода на сушу полностью выедаются ротаном. Учитывая безвозвратную потерю энергетических ресурсов лягушек, Ю.Б. Мантейфель предложил называть такие водоемы «черными дырами» метапопуляций.

В отличие от ситуации с остальными видами амфибий, в прудах, населенных ротаном, в течение многих лет наблюдали успешное размножение серой жабы *Bufo bufo*. При этом не было отмечено признаков угнетения популяций. Открытие этого феномена опровергло устоявшееся мнение, что после проникновения ротана в пруд исчезают все амфибии. Для выяснения причин устойчивости серой жабы к хищничеству ротана были проведены лабораторные эксперименты. Была обнаружена избирательность питания ротана головастиками обычных в Московской области видов бесхвостых амфибий. Ротаны активно потребляли всех схваченных головастиков травяной и остромордой лягушек, но съедали значительно меньшее количество головастиков серой жабы. Ротаны отвергали головастиков жабы после обработки в ротовой полости (в результате интраорального тестирования). При этом большинство головастиков оставались малоповрежденными. Таким образом, серая жаба способна беспрепятственно размножаться в водоемах, населенных ротаном: ее личинки обладают «химической защитой»: неприятным для ротана вкусом. Выявленная избирательность питания ротана меняет сложившееся представление о том, что ротан «ест все подряд».

Для сравнения в вышеизложенный эксперимент в качестве хищников были включены так-

же некоторые крупные беспозвоночные, населяющие малые водоемы. Пережевывающие схваченную добычу личинки стрекозы коромысла синего *Aeschna cyanea* также активно поедали почти всех схваченных головастиков остромордой лягушки и часто отвергали личинок серой жабы, но при этом существенно повреждали их. После отказа от поврежденного головастика жабы личинки стрекоз незамедлительно схватывали следующего головастика, уничтожая большое число особей. Высасывающие схваченную добычу личинки жука плавунца окаймленного *Dytiscus marginalis* одинаково интенсивно питались головастиками лягушки и жабы, не отвергая их. Итак, сниженное потребление головастиков серой жабы двумя избирательно питающимися хищниками может обеспечивать этим головастикам относительную защиту от одного из них (ротан) и не давать им преимущества при встречах с другим (личинка стрекозы). Защитная адаптация личинок серой жабы носит узконаправленный характер.

При дальнейшем анализе было поставлено под сомнение широко распространенное, переписываемое из книги в книгу утверждение, что ротан поедает икру амфибий. Эксперименты были проведены с рыбами, приученными брать корм с пинцета. За малым исключением ротаны отвергали схваченную икру амфибий (остромордой и травяной лягушек, серой жабы) так же, как это наблюдалось в экспериментах с малосъедобными головастиками серой жабы.

Для выяснения причин, по которым ротаны отказывались поедать схваченную икру амфибий, был поставлен эксперимент по выявлению защитной роли внешних оболочек (галерты) икринки лягушек. С этой целью рыбам были предложены как собранная в водоеме икра остромордой лягушки с разбухшими галертами, так и икра, взятая непосредственно из яичников самок. В противоположность икре, взятой из водоема (ее съели лишь частично 2 ротана из 20), все рыбы охотно поедали икру с неразбухшими оболочками. Этот опыт наглядно продемонстрировал защитную роль разбухшей галерты, препятствующей поедаемости эмбриона рыбой.

Наблюдения в природных условиях выявили, что успешное размножение отдельных видов амфибий из года в год происходит лишь в определенных водоемах. Для изучения особенностей этих водоемов проводили ежегодный экосистемный мониторинг, регистрируя более 50 биотических и абиотических характеристик водоемов. Для оценки ассоциированности (совместной встречаемости) видов амфибий и рыб использовали данные об их успешном размножении в соответствующих водоемах. По результатам

были выделены три основных типа группировок: 1) ротан + серая жаба; 2) гребенчатый тритон + обыкновенный тритон + прудовая лягушка; 3) остромордая лягушка. Для каждой группировки были перечислены характерные параметры водоемов, позволившие выделить водоемы I, II и III категорий соответственно. При анализе характеристик водоемов II категории отмечено сравнительно небольшое число отличий от водоемов I и III категорий, что отражает промежуточный («переходный») тип этой категории. Действительно, для многих признаков (например, глубина, стабильность, степень зарастания макрофитами, степень затененности, присутствие отмершей растительности в качестве донного субстрата, рН воды) средние значения для водоемов II категории располагаются между таковыми для двух других категорий. Сравнительный анализ этих характеристик позволяет утверждать, что выделенные три категории водоемов отражают последовательные стадии изменений типичного сельского копаного пруда. То есть при сукцессии водоем I категории превращается в водоем II категории, потом — в водоем III, а затем заболачивается и исчезает. Изменение видового состава амфибий и рыб в ходе сукцессии экосистемы малого водоема происходит от группировки первого типа к группировке третьего, причем внедрение ротана в глубокие, стабильные и наиболее благоприятные для размножения большинства амфибий водоемы I категории значительно обедняет видовой состав амфибий и ведет к исчезновению множества локальных популяций. Размножение лягушек и тритонов приурочено к временным водоемам II и III категорий, представляющих собой менее подходящие водоемы последних стадий сукцессии.

Для установления географических масштабов воздействия ротана на виды амфибий и пресноводные экосистемы в целом была проведена работа по выявлению его современного ареала. С этой целью было проведено анкетирование ученых европейских и ряда азиатских государств, проведены маршрутные экспедиции по малоизученным районам Западной и Восточной Сибири. Оказалось, что современный ареал ротана многократно превышает его исходный ареал в бассейне р. Амур. За пределами своего исходного ареала ротан был обнаружен в 14 (!) странах.

Таким образом, полевые и экспериментальные исследования позволили выявить особенности взаимодействий интродуцированной рыбы ротана и аборигенных видов амфибий, описать закономерности сукцессии пресноводных экосистем, обусловленные присутствием этой рыбы. Особенности биологии ротана, в настоя-

щее время относительно быстро распространяющегося в европейских странах, позволяют рассматривать его внедрение в экосистемы как мощный негативный фактор, ведущий к исчезновению множества локальных популяций амфибий. Дальнейшее распространение ротана несет угрозу целому ряду европейских видов амфибий. Учитывая значительную величину территорий, занятых к настоящему времени приобретенным (инвазийным) ареалом ротана, его неконтролируемое распространение можно отнести к глобальным факторам наряду с климатическими изменениями, трансформацией ландшафтов, урбанизацией территорий и т.п.

Подведем итоги

В различных районах Земли, в том числе в Европейской части России, сокращается численность популяций и снижается разнообразие видов амфибий. Сокращение популяций амфибий может происходить по самым различным причинам: от загрязнения локальных водоемов до климатических изменений и истончения озонового слоя Земли. Вероятные факторы, влияющие на состояние популяций амфибий, можно разделить на локальные и глобальные.

Весьма существенное влияние на популяции амфибий оказывает рыба-вселенец ротан *Percottus glenii* из семейства Odontobutidae, в начале XX в. случайно интродуцированная в Европейскую Россию из бассейна р. Амур. Эта рыба способна колонизовать малые водоемы — наиболее благоприятные места размножения местных амфибий. Полевые и экспериментальные исследования позволили выявить особенности взаимодействий интродуцированной рыбы ротана и аборигенных видов амфибий, описать закономерности сукцессии пресноводных экосистем, обусловленные присутствием этой рыбы. Особенности биологии ротана, в настоящее время относительно быстро распространяющегося в европейских странах, позволяют рассматривать его внедрение в экосистемы как мощный негативный фактор, ведущий к исчезновению множества локальных популяций амфибий. Дальнейшее распространение ротана несет угрозу целому ряду европейских видов амфибий. Учитывая значительную величину территорий, занятых к настоящему времени приобретенным (инвазийным) ареалом ротана, его неконтролируемое распространение можно отнести к глобальным факторам наряду с климатическими изменениями, трансформацией ландшафтов, урбанизацией территорий.