

ное замораживание позволяет части особей в регионах с мягкой зимой (с непродолжительными и неглубокими похолоданиями) зимовать на суше. Кроме того, она полезна им ранней весной, когда ночные заморозки могут застигнуть лягушек на суше во время перемещения из зимовочных водоемов в нерестовые. При длительных похолоданиях или при более низких температурах лягушки неизбежно замерзают и погибают.

#### Не только холод

Хотя травяная, сибирская и дальневосточная лягушки обладают примерно одинаковой и небольшой холодоустойчивостью, вынуждающей зимовать на Севере в воде, ареалы их резко различны. Вообще-то и без исследований очевидно, что не только температура — лимитирующий фактор. Важно было выяснить другое — работают ли нетемпературные факторы и зимой тоже или различие ареалов складывается исключительно летом? Оказывается, что зимние нетемпературные факторы крайне важны. Уже первые результаты наших исследований гидрохимической обстановки в зимовочных водоемах показали, что три вида лягушек принципиально по-разному относятся, например, к содержанию кислорода.

Для успешной зимовки травяной и дальневосточной лягушек важнейшее условие — уровень растворенного в воде кислорода не ниже среднего. Поэтому они выбирают для зимовки горные и предгорные реки, в которых вода насыщается кислородом за счет «бурления» и обогащения из воздуха через полыньи.

Сибирская лягушка пошла по иному пути. Полевые исследования на северо-востоке и юге ареала (в Магаданской и Амурской областях) выявили, что она способна зимовать в воде с содержанием кислорода около 1,5% (!) от нормального насыщения при температуре 1–3°C. Примерно такая же ситуация наблюдается зимой и весной в термокарстовых водоемах Якутии. Необходимость существовать многие месяцы в условиях экстремальной гипоксии не служит препятствием для продвижения вида на север Азии почти до побережья моря Лаптевых.

Способности зимующих в Субарктике на суше амфибий длительно переносить низкие отрицательные температуры и сибирской лягушки — пребывать в среде почти без кислорода противоречат сложившейся парадигме о пределах устойчивости наземных холоднокровных позвоночных к названным критическим факторам и могут считаться вершинами адаптивности.

#### Каждый — своим путем

Из сказанного следует, что у амфибий нет единой стратегии переживания зим в Субарктике. Как это ни удивительно, даже систематическая близость не обуславливает идентичность избранной стратегии холодозащиты. Морозостойкость «выбрали» отдельные представители в разных таксономических группах: углозуб среди хвостатых амфибий и лягушки среди бесхвостых. Более того, даже среди представителей одного рода лягушек *Rana* есть как морозостойкие, так и неспособные переносить замораживание виды. Принципиально различается и отношение их к содержанию кислорода в воде: от оксифилов, обитателей горных рек, до живущих почти в анаэробных условиях.

В основе разных адаптивных путей, намеченных выше, лежит разное биохимическое обеспечение. К примеру, все зимующие в воде лягушки не кормятся подо льдом, но дальневосточная лягушка в качестве энергетического резерва на зиму накапливает жиры (не случайно ее в массе заготавливают китайцы и извлекают жир для использования в народной медицине), а сибирская — гликоген. Можно продолжить перечисление, смысл которого: что ни вид, то своя биохимическая стратегия.

Откуда столь разные стратегии выживания, как они сформировались? От немногих общих предков, обладавших холодоустойчивостью, или независимо и многократно возникали у разных видов в процессе освоения Субарктики? Одной фразой не ответишь...

Заметим только, что некоторые морозостойкие виды амфибий живут и на юге. Так, второй вид сибирских углозубов (углозуб Шренка) и широко распространенная на втором полюсе холода Евразии (в Забайкалье) и недавно обнаруженная на Алдане дальневосточная квакша, переносящие температуры до минус 35°C, — массовые обитатели юга Дальнего Востока.

Холодно бывает не только на севере, но и, например, в высоких горах юга Евразии, да и ледниковый период был не один: за последние два миллиона лет произошло более 16 подобных катаклизмов. Так что было и время, и откуда прийти голым гадам в Субарктику.

*Исследования поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований. Проекты 16-04-0082 и 19-04-00312*

НИНА БУЛАХОВА, кандидат биологических наук  
ведущий научный сотрудник;

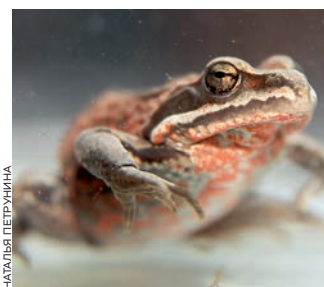
ДАНИИЛ БЕРМАН, доктор биологических наук, профессор,  
заведующий лабораторией биоценологии;  
Институт биологических проблем Севера ДВО РАН (Магадан)

Сибирский углозуб колонизовал Субарктику и Арктику Азии до 73° с. ш. В ряде мест на севере эта хвостатая амфибия достигает феноменальной численности и сохраняет свойственные южным популяциям черты биологии и экологии (характер сезонной и суточной активности, динамику половозрастной структуры, ежегодное размножение, величину плодовитости и др.). Избегать прессы низких зимних температур сибирскому углозубу позволяет экстраординарная для позвоночных животных холодоустойчивость. Он благополучно (100% выживание) переносит в замерзшем состоянии длительное (45 суток) пребывание при температуре минус 35°C и кратковременное (3 суток) — при минус 50–55°C.



ФОТО АВТОРОВ

Сибирскую лягушку сложно перепутать с каким-либо другим видом — ее выдает ярко-красная пятнистость или мелкий красно-бело-черный крап на нижней стороне тела и нередко на спине.



НАТАЛЬЯ ПЕТРИНИНА

Травяная лягушка распространена в Европе от Пиренеев до Арктики. В обогреваемых Атлантикой регионах она зимует как в водоемах, так и на суше в сырых местах. Но в северо-восточной части ареала (на Северном и Среднем Урале) — исключительно в горных непромерзающих реках.



НАТАЛЬЯ ПЕТРИНИНА



ЛИНА КАПИТОНОВА

Река Бира у г. Биробиджан (Еврейская автономная область). На многих ее участках полыньи сохраняются даже в сильные морозы. Именно в таких местах зимуют дальневосточные лягушки — массовый вид амфибий юга Дальнего Востока. Они требовательны к уровню растворенного в воде кислорода и не переносят гипоксии.

#### ЖИЗНЬ НИЖЕ НУЛЯ

##### Без гемоглобина и скелета

Рыбы и другие холоднокровные обитатели полярных морей (ракообразные, иглокожие, моллюски и другие) способны вести активный образ жизни при температурах воды до минус 2°C. При этом высокое содержание кислорода в полярных водах дало возможность некоторым антарктическим рыбам максимально упростить органы дыхания и отказаться от гемоглобина, кровь у них белая. А сосуды, выходящие из мышц, тесно соприкасаются с сосудами, идущими от кожи и несущими охлажденную кровь. Кроме того, холодные арктические и антарктические воды богаты  $\text{HCO}_3^-$ , который растворяет карбонат кальция — строительный материал известкового скелета у беспозвоночных, в их раковинах и панцирях увеличивается содержание хитина, а некоторые морские звезды и морские ежи вообще обходятся мягким бескальциевым скелетом.

##### Глубина зимнего сна

Теплокровные млекопитающие (хищные, грызуны, насекомоядные, рукокрылые, сумчатые и даже приматы) тоже переживают неблагоприятное время года, впадая в спячку. Типичная зимняя спячка (гибернация) у них состоит из чередования периодов оцепенения и кратковременных пробуждений. Глубина периодов оцепенения, сопровождающихся снижением уровня метаболизма, и их продолжительность разная. У медведей, енотов и барсуков оцепенение неглубокое, а пробуждения частые, температура их тела никогда не опускается ниже 30°C, они скорее дремлют, чем спят. Другая крайность — североамериканские тринадцатиполосный суслик и летучая мышь малая бурая ночница, скорость метаболизма у них снижается на 99%, частота сердцебиения падает с 350–400 до 10 ударов в минуту, а температура тела снижается до минус 3°C. У остальных млекопитающих глубина гипометаболизма во время зимнего сна лежит между этими крайними пределами.

##### Биологические криопротекторы

Некоторые организмы во время зимнего оцепенения замерзают до состояния ледышки, но весной оттаивают и живут дальше. Впервые криопротекторные свойства сахаров и спиртов (глицерина, маннитола, глюкозы, этилового и метилового спиртов) в клетках листьев красной капусты продемонстрировал ассистент кафедры ботаники Императорского Лесного института Николай Максимов в 1912 году. Сейчас список таких углеводных биологических криопротекторов значительно расширился. В 1960-х годах к ним добавились белки — антифризы, впервые найденные у антарктических рыб, а к сегодняшнему дню обнаруженные у большинства типов организмов, впадающих в зимнее оцепенение. Они подавляют образование кристаллов льда в клетке. А несколько лет назад у бактерий были найдены так называемые белки-нуклеаторы. Они расположены на внешней стороне мембраны бактерии и стимулируют образование льда вне клетки, одновременно обезвоживая клетку и таким образом исключая образование в ней кристалликов льда. По сути, это разновидность полного обезвоживания организма, чем пользуются некоторые черви и насекомые, чтобы пережить холода. Вероятно, будут найдены и другие молекулярные способы борьбы живых организмов с холодом. Сейчас такие работы ведутся интенсивно в связи с запросом трансплантологов на оптимальный способ криоконсервации органов человека для последующего их размораживания и пересадки нуждающимся пациентам.

ДМИТРИЙ ВОРОНИН, МГУ им. М.В. Ломоносова