

распределение пищи, конкуренция, выедание. В нижних горизонтах, напротив, действуют в большей степени абиотические факторы: размер капилляров между частицами, аэрированность и глубина залегания сероводородного слоя.

**3. Изменчивость структуры доминирования в трехмерном пространстве.** Во всех слоях песка как в прилив, так и в отлив, доминировали *Ht. minuta*, *P. kliei* и *Hn. jadenis* составляя более 90% обилия от общей численности и биомассы группы. Первое место по численности всегда занимал *P. kliei*, а по биомассе – *Ht. minuta*, за исключением глубоких слоев песка, где был обильнее *P. kliei*. Структура доминирования как в прилив, так и в отлив более равномерна у поверхности песка ( $Sk = 0.7$ ). Это объясняется относительно однородным распределением в нем массовых видов. В глубоких слоях пятнистость структуры повышается ( $Sk = 0.32$ ). Это связано с тем, что в нижних горизонтах песка, образуются локальные скопления видов, приуроченные, вероятно, к пятнам пищевых объектов или к локусам с благоприятными значениями абиотических факторов. Одной из основных причин неоднородности видовой структуры в этом слое является то, что глубина залегания сероводородной зоны сильно изменяется от точки к точке (от 1.5 до 4.5 см в пределах дециметровой площадки). В тех локусах, где сероводородной зона залегает всего на 2-3 см, наблюдается спад обилия, а там, где ниже – численность относительно высока. Таким образом у поверхности песка жизнь гарпактикоид возможна по всей площади дна, а в нижнем слое ракообразные могут существовать только вне сероводородной зоны.

**4. Динамика структуры сообщества в трехмерном пространстве.** У всех трех доминантов размещение в самых нижних слоях песка более динамично ( $Sk = 0.27$ ), а у поверхности, напротив, стабильнее ( $Sk = 0.69$ ). При этом карты пятен повышенной плотности видов практически полностью меняются за 6 часов между приливом и отливом. Изменчивость структуры доминирования в разных слоях песка в течение приливно-отливного цикла также выше в нижнем горизонте ( $Sk = 0.3$ ), чем в верхнем ( $Sk = 0.7$ ).

Сильная изменчивость структуры сообщества именно в глубоких горизонтах грунта связана с тем, что уровень залегания сероводородной зоны колеблется в зависимости от стадии приливно-отливного цикла. По нашим данным, в отлив эта зона находится в среднем на глубине 2.5-3 см, а в прилив ее граница размывается и опускается вниз до 4.5-6 см. Таким образом, для мейобентоса среда в нижних слоях песка не только неоднородной, чем в поверхностных, но и существенно динамичнее по характеристикам основных управляющих сообществом факторов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 04-05-64734.

## ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА ОБЫКНОВЕННОЙ СЛЕПУШОНКИ ИЗ ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ ВУРСА

Чибирик М.В., Евдокимов Н.Г., Синева Н.В.

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург  
[chibiryak@ipae.uran.ru](mailto:chibiryak@ipae.uran.ru)

Энергетическая «стоимость» физиологических процессов является одной из важных характеристик гомеостаза, высоко чувствительных к стрессовому воздействию среды. Среди различных методов исследования энергетического обмена наиболее доступным является оценка потребления кислорода.

Нами исследовались особенности энергетического обмена группировок мелких млекопитающих (мышевидных грызунов и насекомоядных), обитающих в условиях радиационного и техногенного загрязнения. Работы проведены на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа) и в зонах выбросов алюминиевых и криолитовых заводов (Средний и Южный Урал) и в Средней Азии (Таджикистан). С помощью

нагрузочных тестов (гипотермии) оценивалась гомеостатичность и энергетический резерв животных.

При анализе энергетических процессов в популяциях мелких млекопитающих (домовая мышь и туркестанская крыса) из фторзагрязненных районов были обнаружены повышенные уровни потребления кислорода и пониженная температура тела животных (Чибиряк, 1991, 1996). Этот феномен назван нами гипероксигенией по аналогии с феноменом гипоксигении - достоверного понижения потребления кислорода и повышения температуры тела в популяции лесных мышей, обитающих на территории ВУРСа, загрязненной  $^{90}\text{Sr}$  (Крапивко, 1986), а также при аналогичных исследованиях рыжих полевок, обитающих в условиях загрязнения  $^{134,137}\text{Cs}$  после аварии на ЧАЭС (Ильенко, Крапивко, 1988, 1989). А.И.Ильенко и Т.П.Крапивко выдвинули предположение, что гипоксигения – это свойство популяции млекопитающих, хронических носителей радионуклидов (стронциефоров и цезиефоров). Мы наблюдали аналогичные эффекты при определении потребления кислорода у малой лесной мыши, обыкновенной полевки, полевки экономки и обыкновенной бурозубки обитающей на территории ВУРСа (1992 – 2004 гг.).

В 2001 г. была обнаружена колония обыкновенной слепушонки в головной части ВУРСа. Это животное относится к особой жизненной форме – подземным грызунам. Она является представителем мелких грызунов, но переход от наземного образа жизни к подземному (Орлов, 1978) потребовал коренной перестройки как морфологической (отражающей план строения всех подземных грызунов) так и физиологической (усвоение метаболической воды, питание высококалорийной пищей, увеличение продолжительности жизни, высокие энерготраты, существование в гипоксической среде в узком градиенте температур, зимний сон). Показано [Евдокимов, 2001], что в оптимальных условиях на территории, не подвергающейся интенсивному антропогенному и стихийному воздействию, колониальные поселения слепушонок состоят из относительно изолированных семей, большинство из которых живет на данной территории годами, с естественной сменой поколений. С этим связана и весьма низкая миграционная активность.

В работе использованы выборки сеголеток обыкновенной слепушонки, взятые из эпицентра ВУРСа (уровень радиоактивного загрязнения по  $^{90}\text{Sr}$  - 950-1050 Ки/км<sup>2</sup>, (Тарасов, 2000)) и контрольной территории (Кунашакский р-н Челябинской обл.), где уровень радиоактивного загрязнения составляет менее 0.2 Ки/км<sup>2</sup>. Животные были отловлены в августе – сентябре 2001 и августе 2004 года. Параллельно на тех же животных проводили определение природной радиорезистентности, поглощенных доз и иммунологических параметров. Поглощенная доза на костный мозг составила от 720 до 4300 сГр за жизнь (Любашевский, Стариченко, 2002) значительно больше, чем у других мелких млекопитающих, обитающих в подобных условиях. По данным Григоркиной (2003), радиочувствительность у обыкновенной слепушонки (ЛД<sub>50/30</sub> 5.0±0.7 Гр) достоверно ниже этого показателя у малой лесной мыши, обыкновенной и красной полевок. Несмотря на это хроническое действие ионизирующей радиации не привело к увеличению хромосомной и онтогенетической нестабильности (Ялковская, 2002). По иммунологическим показателям не найдены значительные изменения в гемопоэтической и иммунной системах обыкновенной слепушонки (Пашнина, Синева, 2002). Общее состояние слепушонок из головной части ВУРСа признано удовлетворительным.

Исследуя энергетический обмен слепушонок, исходили из предположения о том, что животные со столь высокими уровнями накопления радионуклидов в организме окажутся гипоксигенами. Животные из радиационного участка либо не отличались от контроля по показателям потребления кислорода, либо демонстрировали тенденцию к гипероксигении т.е. нарушали «правило Ильенко – Крапивко». Поскольку в результате тотального отлова были изъяты почти все семьи, пришлось ждать три года для восстановления приемлемой численности животных. Для поддержания уникальной популяции животные после опыта (взвешивание, измерение потребления кислорода и температуры тела) были выпущены на свои семейные участки. Масса тела животных из зоны ВУРСа больше, чем на контрольной

территории. В то же время у них увеличены значения индексов сердца и печени, что может косвенно указывать на более высокий уровень метаболизма. Значимых различий по показателю потребление кислорода у животных из контроля и опыта не обнаружено. Температура тела в норме весьма стабильна в контроле  $35.4 \pm 0.2$  °C (2001, 2004гг) и на ВУРСе  $34.2 \pm 0.3$  °C (2001г) и  $35.1 \pm 0.2$  °C (2004г).

При измерении максимального метаболизма в условиях холодого стресса некоторые животные поддерживают высокий уровень энергообмена и постоянный уровень теплопродукции, а у некоторых происходит снижение уровня обмена и теплопродукции, что позволяет выделить и количественно оценить адаптивные возможности организма. В качестве нагрузки мы выдерживали слепушонку в холодильнике при 0 °C в течение 15 мин. Животные опытной и контрольной групп реагируют сходным образом, температура тела в среднем понижается на 1 – 3%%, потребление кислорода увеличивается от 2 до 9%% в опыте и от 8 до 27%% в контроле. В то же время при рассмотрении индивидуальных кривых терморегуляции в опытной группе можно выделить животных (около 30%) которые не повышают или даже снижают обмен. Это свидетельствует о напряженности энергетических процессов у животных, обитающих на радиационных территориях в то же время не выходящих за пределы нормы. Можно сделать вывод о высокой адаптированности популяции обыкновенной слепушонки к повышенному уровню искусственной ионизирующей радиации. Факт отсутствия гипоксигении говорит о переходе с уровня физиологической компенсации к уровню физиологической адаптации, когда показатели энергообмена животных из радиационных биоценозов не отличаются от средневидовых.

Соотношение между скоростями метаболизма и показателями радиочувствительности характеризуется «U-образной» зависимостью (Поспишил, Ваха, 1986). Неблагоприятными являются гипофункциональное и гиперфункциональное состояния организма. Оптимальное состояние наблюдается в случае, когда общая энергетическая характеристика отдельной особи имеет определенный «средний» вид, что означает преобладание благоприятных метаболических условий над неблагоприятными. Это согласуется с принципом наименьшей диссипации энергии, согласно которому [Зотин, 1988; Зотин, Зотина, 1993]: в устойчивом состоянии любой термодинамической системы скорость диссипации в ней минимальна. Устойчивое, стационарное состояние системы напоминает устойчивое равновесие шарика на дне чаши. Если систему вывести из этого состояния, то она стремится вернуться в прежнее устойчивое состояние с минимальной интенсивностью диссипации энергии. Разнонаправленность энергетически сопряженных процессов (терморегуляции и газообмена) свидетельствует о скомпенсированности реакции организма на химическое или радиационное воздействие. В целом это может служить доказательством существования адаптации животных к неблагоприятной среде обитания.

У животных, обитающих на техногенно или радиационно загрязненных территориях наблюдается изменение средневидовых физиологических показателей энергообмена, которые выражаются в повышении потребления кислорода и понижении температуры тела – гипероксигении, или в понижении потребления кислорода и повышении температуры тела – гипоксигении. Обследование популяций мелких млекопитающих по этому признаку может служить показателем качества среды обитания.

Использование нагрузочных тестов (гипотермии) существенно увеличивает прогностическую ценность информации и позволяет сравнивать между собой не только разные популяции одного вида, но и виды различной экологической специализации.

Интегральные показатели энергетического обмена позволяют быстро, объективно и атравматично оценить физиологическое состояние популяций животных, обитающих в условиях техногенного или антропогенного пресса.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 04-04-48352, 04-04-96100-p2004урал.