

УДК 599.745.31

КОНЦЕНТРАЦИЯ КОРТИЗОЛА В ВОЛОСАХ БАЙКАЛЬСКИХ НЕРП (*PUSA SIBIRICA* GMELIN 1788, CARNIVORA, PHOCIDAE): СВЯЗЬ С ПОЛОМ, ВОЗРАСТОМ ЖИВОТНЫХ И ДИНАМИКОЙ РАЗРУШЕНИЯ ЛЬДА

© 2024 г. П. Ю. Шибанова*, М. А. Соловьёва, П. С. Журавлёва, Д. М. Глазов,
В. В. Рожнов, С. В. Найдено

Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, Москва, 119071 Россия

*e-mail: polina_shibanova@mail.ru

Поступила в редакцию 26.08.2023 г.

После доработки 22.09.2024 г.

Принята к публикации 22.09.2024 г.

Описан первый опыт использования волос для определения гормонального статуса байкальской нерпы (*Pusa sibirica*). Материал для исследования был собран с живых нерп, отловленных в районе архипелага Ушканьи острова во время летних комплексных экспедиций на озеро Байкал в 2019 и 2021 гг. Выявлены статистически значимые возрастные различия: у молодых нерп (до 3 лет) концентрация кортизола в волосах была выше, чем у более взрослых животных. Возрастные различия могут быть связаны как с различной степенью использования жировых запасов и успеха охоты нерп, так и с их конкуренцией на береговых залежах. Не обнаружено достоверных половых различий в концентрации кортизола в волосах молодых животных. Среди молодых нерп отмечены межгодовые различия концентрации кортизола — в 2019 г. этот показатель был выше, чем в 2021 г., однако эти различия не сопряжены с различиями в ледовой обстановке и, вероятно, связаны с рядом других факторов.

Ключевые слова: гормональный статус, Байкал, Сибирь

DOI: 10.31857/S0044513424100087, **EDN:** tlzcug

Байкальская нерпа (*Pusa sibirica* Gmelin 1788) — представитель семейства настоящих тюленей (Phocidae), эндемик озера Байкал. Благодаря тому, что этот вид находится на высшем трофическом уровне, оценка физиологического состояния особей является ключевым моментом в мониторинге популяции нерпы и состояния всей экосистемы озера, что особенно актуально в условиях изменения климата и повышения антропогенной нагрузки на озеро. Одним из способов оценки благополучия вида является исследование гормонального статуса отдельных особей.

Кортизол — глюкокортикоид, секреция которого усиливается в результате активации гипоталамо-гипофизарно-надпочечникового пути при воздействии на организм стресс-факторов. Кортизол влияет на метаболические, иммунные и воспалительные процессы организма: вызывает угнетение иммунного ответа и активности репродуктивной системы, повышение системного артериального давления, усиление глюконеогенеза в печени, повышение содержания глюкозы в крови, ускорение

распада белков в большинстве тканей и оказывает липолитическое воздействие (Sapolsky et al., 2000; Rose, Herzig, 2013). Комплексное действие глюкокортикоидов на организм является частью механизма адаптации организма к стрессовому воздействию, что позволяет использовать кортизол в качестве показателя благополучия организма.

В настоящее время для исследований гормонального статуса животных широко используются кератинизированные структуры организма (Sheriff et al., 2011; Hunt et al., 2014; Karpovich et al., 2020; Naidenko et al., 2022), к которым относятся волосы. Кортизол, как и ряд других гормонов, накапливается в волосах во время их роста (Meyer, Novak, 2012; Terwissen et al., 2013; Heimbürge, Otten, 2019), что позволяет оценить гормональный статус животного за прошедший период, связанный со временем линьки (Sheriff et al., 2011; Heimbürge, Otten, 2019; Keogh et al., 2020).

Преимуществом использования волос, как и других кератинизированных структур, в исследованиях уровня стрессированности животных является

независимость значений концентраций кортизола от длительности процедуры отлова животных. В крови повышенные концентрации глюкокортикоидов регистрируются спустя 3–5 минут после начала влияния стрессового фактора (Sheriff et al., 2011) – таким образом, для получения показательных результатов процедура взятия крови должна укладываться в данный временной промежуток. При использовании волос кратковременный стресс животного во время отлова не влияет на полученные результаты, так как значения кортизола в волосах отражают влияние внешних воздействий в уже прошедший период роста волос. Основным требованием для детальной интерпретации результатов гормональных исследований с использованием волос является точное определение скорости роста волос и закономерностей смены волосяного покрова у изучаемого вида.

Данные преимущества использования волос для гормональных исследований позволили применить этот метод для изучения ластоногих. Сезонность линьки и стабильность концентраций гормонов в волосах в течение года стали преимуществом использования волос для исследований представителей ушастых тюленей (Meise et al., 2016; Keogh et al., 2020), в результате которых были выявлены взаимосвязи между социальным окружением животных и концентрациями гормонов в их волосах.

В данной работе будут приведены результаты первого опыта использования волос для гормональных исследований байкальских нерп. У этого вида, как представителя настоящих тюленей, смена волосяного покрова происходит один раз году и длится с конца мая по начало июня около двух недель, иногда растягиваясь на летние месяцы (Пастухов, 1993; Петров и др., 2021). Мы предполагаем, что уровень кортизола в волосах позволит оценить гормональный статус нерп в период линьки – одного из ключевых событий в годовом жизненном цикле байкальской нерпы, успешность которого влияет на прохождение нагульного периода и репродуктивный успех животного (Пастухов, 1993). Стабильность концентрации гормонов в волосах (Webb et al., 2010; Yamanashi et al., 2016; Keogh et al., 2020) позволяет использовать материалы,

собранные в летний период, когда нерпы образуют залёжки на островах и доступны исследователям, для оценки состояния животного в период линьки.

Для выявления экологических факторов, влияющих на гормональный статус байкальских нерп во время линьки, необходимо предварительно определить, какие характеристики животных (пол, возраст) вносят свой вклад в уровень кортизола в организме. Выявление этих закономерностей является основной целью работы. Также мы попытались оценить связь между сроками таяния льда и концентрацией кортизола в волосах как показателем хронического стресса животных.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Сбор волос от байкальских нерп проводили на архипелаге Ушканьи острова во время летних комплексных экспедиций на озеро Байкал с 5 по 12 июля в 2019 г. и с 21 июля по 16 августа в 2021 г. Волосы собирали с живых нерп, отловленных сотрудниками Байкальского филиала ФГБУ “ВНИРО” с помощью сетей в воде или скрадыванием с залёжек на островах. Пробы были собраны у 47 особей: 21 проба в 2019 г. и 26 – в 2021 г. (табл. 1). Минимальный возраст нерп определяли по количеству полных сегментов на их когтях по методике, описанной Пастуховым (1993).

Для исключения погрешностей, связанных с изменчивостью уровней гормонов в волосах с разных частей тела (Terwissen et al., 2013; Burnett et al., 2014; Gundlach et al., 2014; Acker et al., 2018), волосы состригали только с одного участка тела нерп – со спинной части ближе к основанию хвоста; волосы собирали без волосяных луковиц с помощью машинки для стрижки животных (Pet grooming hair clipper Kit, Baziator, Китай) (рис. 1). При наличии неперелинявших участков в области поясницы для анализа брали только волосы, отросшие в период последней линьки предшествующей весной (весной 2019 и 2021 года). Пучок волос массой более 0.5 г помещали в индивидуальный пакет

Таблица 1. Половозрастной состав выборок нерп, отловленных во время экспедиций 2019 и 2021 гг.

Пол	Возраст, полных лет							
	0	1	2	3	4	5	6	7
2019								
Самки	2	3	2	0	1	0	0	1
Самцы	1	8	3	0	0	0	0	0
2021								
Самки	5	2	0	0	0	4	1	3
Самцы	5	6	0	0	0	0	0	0



Рис. 1. Отбор волос у байкальской нерпы

и в дальнейшем хранили и транспортировали в морозильной камере при $T = -18^{\circ}\text{C}$.

Экстракция гормонов из волос. Обработка волос (несколько этапов) и измерение концентраций гормонов проводились в лаборатории ИПЭЭ РАН. Первым этапом при работе с волосами в качестве материала исследования гормонального статуса была экстракция гормонов, которую проводили по методу Мастромонако с соавторами (Mastromonaco et al., 2014). Волосы промывали в течение двух минут в 100% метаноле для удаления потенциальных остатков гормонов из других биологических источников. Затем промытые волосы высушивали в течение нескольких минут при температуре $+50^{\circ}\text{C}$, измельчали ножницами и взвешивали с точностью до 0.001 г (1 мг), а затем добавляли 100% метанол из расчета 10 мл метанола на 0.1 г

волос. Пробирку герметично закупоривали и ставили на 24-часовую экстракцию в мини-ротатор (Bio RS-24 Mini-Rotator, Biosan, Южная Корея). После проведения экстракции отбирали 2 мл раствора, которые помещали в пробирки Эппендорфа (2 пробирки по 1 мл) для выпаривания при температуре $+55^{\circ}\text{C}$. После полного испарения метанола в каждую пробирку добавляли по 200 мкл фосфатно-солевого буфера (PBS) для растворения гормонов, после чего содержимое переливали в пробирку и хранили в морозильной камере (-18°C).

Иммуноферментный анализ. Измерения концентраций гормонов из полученного экстракта проводили с использованием коммерческих наборов ИФА компании ХЕМА (Москва) для определения уровня кортизола (REF K210S) в слюне. Стандарты были изготовлены на основе стандартов производителя путем сериального разведения стандарта наибольшей концентрации в PBS. Концентрации стандартов составили для кортизола — 0, 0.703, 1.406, 2.813, 5.625, 11.25, 22.5, 45 нг/мл (чувствительность набора 0.035 нг/мл). Кросс-реактивность антител составляла 5.6% к преднизолону, 0.9% к 11-дезоксикортизолу, 0.6% к кортикостерону, менее 0.1% к 11-дезоксикортикостерону, прогестерону, 17-гидроксипрогестерону, тестостерону, эстрадиолу, эстриолу, менее 0.01% к даназолу. Все измерения проводили согласно протоколам производителя. Измерение оптической плотности осуществлялось с помощью микропланшетного спектрофотометра (Multiskan FC, ThermoFisher Scientific, США). Полученную концентрацию в растворе (X) использовали для расчета концентрации гормона в волосах (Y), согласно формуле $Y = X \cdot D \cdot 101/5$, где D — коэффициент разведения (при отсутствии разведения D = 1).

Статистический анализ. Статистическую обработку результатов проводили в программе R (R Core Team, 2019). Для проверки нормальности использовали функцию `shapiro.test`. Все сравнения проводили с помощью теста Манна–Уитни (функция `wilcox.test`). Графики были построены с помощью функции `ggplot` (пакет `ggplot2`, (Wickham, 2016)), формат графиков — `boxplot`.

Сравнение гормонального статуса нерп по волосам проводили внутри выборок, собранных в 2019 и 2021 гг. Все особи были разделены на три возрастные группы (молодые, нерпы переходного возраста, взрослые) на основании данные о сроках созревания половой системы байкальской нерпы по Пастухову (1993) и современным данным о репродуктивных параметрах байкальских нерп (Ткачев и др., 2016; Болтнев, 2023). К молодым относили нерп возрастом от 0 до 3 лет (половая система еще не развита, у большинства самок овуляция не наблюдается), к нерпам переходного возраста — от 4

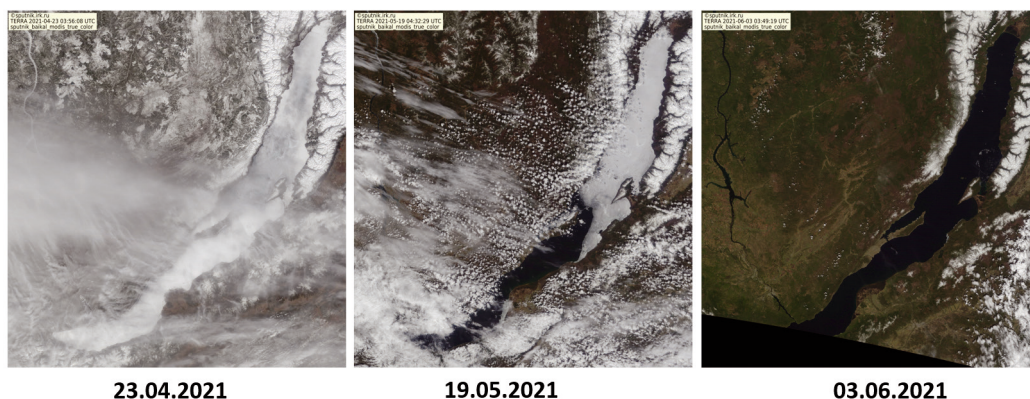


Рис. 2. Распределение льда на озере Байкал весной 2021 г. по данным спутниковых снимков (прибор Modis, спутник Terra), <http://sputnik.irk.ru/>

до 6 лет (потенциально зрелые — с развитой половой системой, но чаще всего не вступающие в размножение; большинство самок — овулирующие). Нерп, возраст которых был 7 лет и старше, относили ко взрослым — их половая система полностью развита, и они регулярно размножаются (Пастухов, 1993; Ткачев и др., 2016). Для оценки возрастных различий использовалась выборка 2021 г., из-за малого числа взрослых особей при сравнении взрослые нерпы и особи переходного возраста объединялись. Для выявления половых и межгодовых различий сравнивали особей одной возрастной категории, чтобы исключить влияние возрастного фактора на результат сравнения.

Оценка ледовой обстановки. Для оценки ледовой обстановки были отмечены сроки освобождения акватории ото льдов по данным спутниковых снимков (прибор Modis, спутник Terra) из базы сайта <http://sputnik.irk.ru/>. Отмечали следующие даты: начало разрушения льдов, половина озера свободна ото льда (граница льда проходит вблизи острова Ольхон), Ушканьи острова свободны ото льда и лед отсутствует на всей акватории озера (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Концентрации кортизола в волосах были измерены у 47 особей байкальской нерпы, они варьировали в пределах от 0.10 до 402.59 нг/г.

Возрастные различия. Для оценки возрастных различий использовали выборку 2021 г. (18 молодых, 5 нерп переходного возраста, 3 взрослые нерпы). Были обнаружены различия в концентрации кортизола в волосах между молодыми нерпами и выборкой взрослых особей и нерп переходного возраста — у молодых концентрация кортизола оказалась достоверно выше по сравнению с этим показателем у более взрослых нерп ($W = 27$,

$p = 0.01$). Значения концентраций кортизола в волосах нерп переходного возраста занимают промежуточное положение между таковыми у молодых и взрослых нерп (рис. 3).

Половые различия. При сравнении концентрации кортизола у молодых самцов и самок внутри выборок 2019 и 2021 гг. (7 самок и 12 самцов в 2019 г., 7 самок и 11 самцов в 2021 г.) статистически значимых различий не обнаружено ($W = 23$, $p > 0.05$ для 2019 г.; $W = 54$, $p > 0.05$ для 2021 г.). Сравнение в категориях нерп переходного возраста и взрослых животных не проводили из-за малого числа особей данных возрастных категорий в выборках.

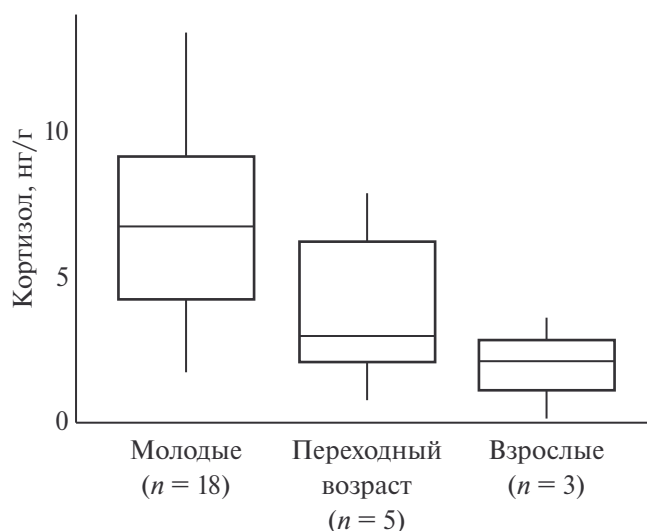


Рис. 3. Концентрация кортизола в волосах нерп в выборке лета 2021 г. (Ушканьи острова). Обозначены медиана, 1 и 3 квартили — границы “ящика”, максимум и минимум — границы “усов”.

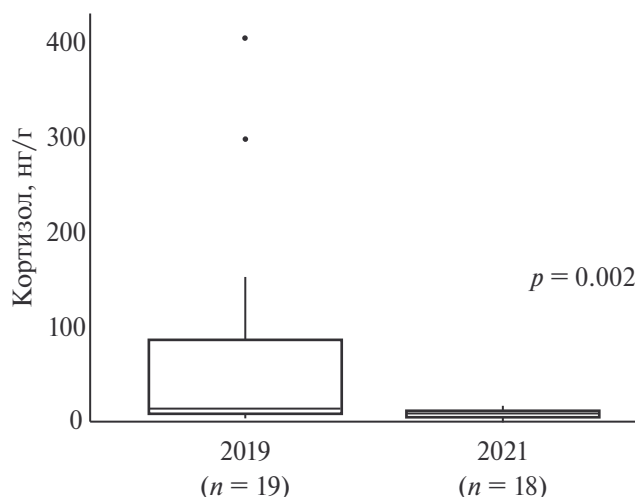


Рис. 4. Концентрация кортизола в волосах молодых нерп, отловленных летом 2019 и 2021 гг. на Ушканьих островах. Обозначены медиана, 1 и 3 квартили — границы “ящика”, максимум и минимум — границы “усов”.

Межгодовые различия. В выборках 2019 и 2021 гг. сравнение уровня кортизола в волосах было проведено только среди молодых особей (19 и 18 особей соответственно). Выявлено наличие статистически значимых различий: в пробах, собранных в 2019 г., концентрации кортизола были достоверно выше, чем в пробах 2021 г. ($W = 270$, $p = 0.002$, рис. 4).

Оценка ледовой обстановки. Основываясь на данных спутниковых снимков, мы получили сроки освобождения акватории ото льдов в 2019 и 2021 годах. В 2019 г. появление первых проталин в южной части озера пришлось на 18 апреля, половина акватории озера была свободна ото льда 11 мая, 29 мая освободились Ушканьи острова, полное отсутствие льдов наблюдалось со 2 июня. В 2021 г. начало таяния льдов пришлось на 24 апреля, 19 мая лед наблюдался только на северной половине озера, Ушканьи острова освободились ото льда ко 2 июня, а к 3 июня лед полностью растаял.

ОБСУЖДЕНИЕ

Для интерпретации полученных результатов исследований гормонального статуса байкальских нерп с использованием волос следует рассмотреть закономерности протекания линьки и образ жизни животных в данный период. Основной период линьки (с конца мая по начало июня) байкальские нерпы проводят на льдах, однако при неблагоприятных условиях, например при быстром таянии льдов Байкала, нерпы продолжают линьку на береговых залёжках (Пастухов, 1993), где недолинявшие звери могут встречаться на протяжении

всего летнего сезона (Петров и др., 2021). При сборе волос в летний период мы не имеем возможности оценить, в какой момент произошла линька у пойманного перелинявшего животного, и, соответственно, однозначно определить условия среды при этом процессе. По этой причине полученные результаты будут рассмотрены с двух сторон: исходя из предположения, что линька завершилась в основной сезон, и рассматривая возможность протекания линьки в летний период на береговых залёжках.

Возрастные различия. У нерп из выборки 2021 г. обнаружены возрастные различия в концентрации кортизола в волосах: у молодых особей уровень кортизола был выше, чем у более взрослых животных, особи переходного возраста занимали промежуточное положение между молодыми и взрослыми особями. Более высокая концентрация кортизола в волосах у молодых животных по сравнению с более взрослыми показана для северных морских котиков (*Callorhinus ursinus*) (Keogh et al., 2020) и для некоторых других млекопитающих, например для коров (González-de-la-Vara et al., 2011), лошадей (Comin et al., 2012) и зеленых мартышек (*Chlorocebus aethiops sabaeus*) (Laudenslager et al., 2012). По-видимому, и у молодых особей байкальской нерпы в период линьки активность гипоталамо-гипофизарно-надпочечникового пути существенно выше по сравнению со взрослыми.

Известно, что линька у животных, в том числе у тюленей, является очень энергозатратным процессом (Ashwell-Erickson et al., 1986; Kershaw, Hall, 2016; Thometz et al., 2021). Линяющие тюлени, залегая на льдах или на берегу, питаются мало и нерегулярно, их жировой слой значительно сокращается (McLaren, 1958; Ryg, Oritsland 1991; Worthy et al., 1992; Пастухов, 1993). По данным Пастухова (1993), для годовалых байкальских нерп первая зимовка настолько сложный процесс, что к весне их вес становится сопоставим с весом 2.5-месячных нерп. У впервые размножающихся самок также отмечены значительные потери веса весной, в период первого гона, которые впоследствии компенсируются нагулом (для взрослых самок такие закономерности не характерны — они во время гона активно питаются для кормления детеныша молоком). Голодание или ограничения в питании ведут к увеличению уровня глюкокортикоидов у млекопитающих (Bergendahl et al., 1996; Jensen et al., 2013; Heimbürge, Otten, 2019), в том числе ластоногих (Ortiz et al., 2001; Kershaw, Hall, 2016), что, в частности, связано с участием кортизола в метаболизме жиров. Различия в закономерностях и степени использования жировых запасов у молодых и взрослых животных могли стать причиной

возникновения возрастных различий в концентрациях кортизола в волосах.

Важным фактором для благополучия животных в период линьки является успешность охоты в зимний период, предшествующий периоду нерегулярного питания. Чувствительным периодом можно считать также первые недели после линьки, когда животные приступают к активной добыче корма в начале летнего нагула. Возрастные различия в концентрации кортизола могут быть связаны с особенностями питания особей разных возрастных групп и различиями в энергетических затратах на охоту.

Рацион питания нерп во многом определяется доступностью и численностью объектов питания — рачков и рыб “голомянко-бычкового комплекса”. При переходе на самостоятельное питание у молодых особей часто отмечается питание исключительно рачками (Пастухов, 1993). Также молодые особи чаще держатся в прибрежной зоне, где добывают преимущественно донных бычков (Пастухов, 1993), позже осваивают глубоководные места обитания, где обитают более энергетически выгодные голомянки и пелагические бычки. Как у молодых, так и у взрослых нерп в рационе встречается большая голомянка (*Comephorus baikalensis*) (Петров, Егорова, 1998), однако более доступной для нерп считается малая голомянка (*Comephorus dybowskii*), населяющая верхние сублиторальные слои воды.

Предположительно, молодые байкальские нерпы имеют менее продолжительную задержку дыхания, чем взрослые, и во время охоты они проводят под водой меньше времени и погружаются под воду на меньшую глубину (Пастухов, 1993). Глубина погружения молодых особей при нырянии в период с сентября по май в большинстве случаев составляет 10–15 м, случаи освоения глубин более 200 м редки и, как предполагают авторы работы, связаны скорее не с добычей пищи, а с поиском доступных продухов во льдах (Stewart, 1996). У нескольких взрослых особей характеристика погружений была исследована в летний период, и средняя глубина погружений составила 68.9 м, отмечались погружения до 245 м (Watanabe, 2004). Для эффективной охоты молодым тюленям приходится прилагать больше усилий, чем взрослым (Burns, 1999), что может быть причиной более высоких уровней глюкокортикоидов.

Возрастные различия в концентрации кортизола у байкальской нерпы могут быть связаны также с конкуренцией на береговых залежках во время завершения линьки. Хотя возрастная иерархия в поведении нерп на береговых залежках не отмечается (Петров и др., 2021a), взрослые животные всё же имеют некоторые преимущества перед молодыми: из-за трудностей в обосновании и удержании места на камне молодые нерпы часто

оттесняются на край лежбища более крупными животными. Трудности в освоении молодыми нерпами места на камнях связаны и с доступностью этих камней (Петров и др., 2021): так, один из крупных камней на береговой залежке острова Тонкий, который является постоянным местом залегания нерп, при низком уровне воды становится практически недоступен для молодых особей. Даже на небольших камнях, на которых, полностью выбравшись из воды, может расположиться только одна нерпа, в большинстве случаев такая особь относительно крупная и способна отгонять других нерп от камня. Такие нерпы чаще проявляют агрессивное поведение по отношению к животным, стремящимся забраться на уже занятое место (Петров и др., 2021a). Наши наблюдения за нерпами на острове Тонкий в 2020–2022 гг. подтверждают приведенные факты. Так, подобное неравенство может привести к возрастным различиям в уровне стрессированности, который наиболее высок у молодых особей и показателем которого является концентрация кортизола в волосах.

Половые различия. Анализ половых различий уровня кортизола проведен только в выборке молодых нерп из-за отсутствия в выборках достаточного количества взрослых животных. Нами не обнаружено статистически достоверных различий в концентрации кортизола в волосах самок и самцов. У молодых нерп отсутствует половая активность (Пастухов, 1993), которая может сама по себе рассматриваться как стрессовое и энергозатратное событие; также половые различия в концентрациях кортизола у взрослых животных могут возникать из-за воздействия половых гормонов на гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковый путь (McCormick, Mathews, 2007). У щенков некоторых представителей ушастых тюленей — сивучей (*Eumetopias jubatus*), калифорнийских морских львов (*Zalophus californianus*), северных морских котиков и антарктических морских котиков (*Arctocephalus gazella*) также не обнаружено половых различий в концентрациях кортизола в волосах (Maise et al., 2016; Keogh et al., 2020). Отсутствие половых различий в концентрациях кортизола в волосах вне периода гона показано для амурских лесных котов (*Prionailurus bengalensis euptilurus*) и домашних кошек (*Felis catus*) (Naidenko et al., 2022). У зеленых мартишек половые различия в концентрации кортизола в волосах появляются только начиная с периода полового созревания (в 3 года) и сохраняются во взрослом состоянии (Laudenslager et al., 2012). Таким образом, мы предполагаем, что при отсутствии половой активности факторы среды могут в равной степени воздействовать на молодых байкальских нерп обоих полов и, как следствие, самки и самцы нерп одинаково реагируют на данные факторы

среды и имеют сходные значения концентраций кортизола в волосах.

Межгодовые различия. Для выявления причин существенно более высоких концентраций кортизола у молодых нерп в 2019 г. по сравнению с 2021 г. мы сравнили ледовую обстановку в эти годы на озере Байкал. Ледовая обстановка и динамика таяния льдов в весенний период является важным фактором, определяющим успешность протекания периода размножения и линьки. В случае раннего таяния льдов нерпы вынуждены продолжать линьку на суше, что ведет к растяжению сроков линьки и отложенному началу интенсивного летнего нагула. Это в свою очередь может привести не только к ухудшению физического состояния животных, но и к прерыванию эмбриогенеза у беременных самок (Пастухов, 1993). Взаимосвязь между ранним таянием льдов и повышенным уровнем кортизола, низкой долей овулирующих и беременных самок, увеличением частоты встреч больных животных была отмечена у кольчатых нерп (Ferguson et al., 2017).

Сроки разрушения льдов на озере Байкал в 2019 и 2021 гг. были сходны: начало освобождения акватории ото льдов (появление первых проталин на южной части озера) пришлось на 18.04.2019 и 24.04.2021, полное отсутствие льдов наблюдалось 02.06.2019 и 03.06.2021. Динамику и скорость таяния льда также можно считать сопоставимыми.

Приведенные данные не позволяют установить связь межгодовых различий в концентрациях кортизола в волосах байкальской нерпы с ледовой обстановкой на озере. Вероятно, эти различия могли возникнуть из-за других факторов: физических характеристик льда, погодных условий в период линьки, числа животных на местах залежек, половозрастного состава группировки в период линьки, доступности объектов питания в зимний период и, соответственно, обеспеченности животных кормом и состояния особи к моменту начала голодания при линьке. Для оценки влияния данных факторов на физиологическое состояние байкальских нерп и на уровень кортизола в волосах необходим длительный мониторинг с регистрацией изменений этих параметров.

Таким образом, при анализе концентраций кортизола в волосах байкальских нерп, отловленных на Ушканьих островах в 2019 и 2021 гг., нами были выявлены возрастные и межгодовые различия; половые различия у неполовозрелых животных отсутствовали. Возможными причинами возрастных различий могут быть различия в закономерностях и степени использования жировых запасов, успехе охоты молодых и взрослых животных и конкурентные отношения нерп на береговых залежках. Не обнаружено межгодовых различий в весенней

динамике разрушения ледового покрова Байкала, следовательно, иные факторы среды могли обусловить межгодовые различия в концентрациях кортизола у молодых животных 2019 и 2021 годов. Для выявления этих факторов потребуются многолетние исследования изменения фонового уровня глюкокортикоидных гормонов у байкальской нерпы, в том числе с использованием волос и, возможно, других кератинизированных структур организма, с контролем условий среды в период их роста.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность директору ФГБУ “Заповедное Подлеморье” М.Е. Овдину и сотрудникам А.Е. Разуваеву и Е.Ю. Батурину, сотрудникам Байкальского филиала ФГБНУ “ВНИРО” В.В. Ткачеву и Н.И. Титову за помощь в организации экспедиций и отлове байкальских нерп, а также П.О. Ильиной и Г.Ю. Пилипенко за помощь в сборе материала.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда поддержки прикладных экологических разработок и исследований “Озеро Байкал” и ООО “ЕвроСибЭнерго-Гидрогенерация”.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Методы работы с животными, которые были использованы в данной работе, одобрены Биоэтической комиссией Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН № 92.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Болтнев Е.А., 2023. Управление запасами байкальской нерпы в современных условиях // I Международная научно-практическая конференция “Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития (28–29 марта 2023 г.). С. 61–66.
- Пастухов В.Д., 1993. Нерпа Байкала: биологические основы рационального использования и охраны ресурсов. Новосибирск: Наука. 271 с.
- Петров Е.А., Егорова Л.И., 1998. Современное состояние популяции байкальской нерпы (*Pusa sibirica*, Pinnipedia, Phocidae): питание и упитанность // Зоологический журнал. Т. 77. № 5. С. 593–600.
- Петров Е.А., Купчинский А.Б., Фялков В.А., Бадардинов А.А., 2021. Значение береговых лежбищ в жизни байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gmelin

- 1788, Pinnipedia). 3. Функционирование лежбищ байкальской нерпы на острове Тонкий (Ушканьи острова, оз. Байкал) по материалам видеонаблюдений // Зоологический журнал. Т. 100. № 7. С. 823–840.
- Петров Е.А., Купчинский А.Б., Филалов В.А., Бадардинов А.А., 2021а. Значение береговых лежбищ в жизни байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gmelin 1788, Pinnipedia). 4. Поведение нерпы на береговых лежбищах на острове Тонкий (Ушканьи острова, оз. Байкал) по материалам видеонаблюдений // Зоологический журнал. Т. 100. № 10. С. 1175–1194.
- Ткачев В.В., Варнавский А.В., Бобков А.И., Тугарин А.И., 2016. Современное состояние популяции байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gm.) // Вестник рыбохозяйственной науки. Т. 3. № 1. С. 53–63.
- Acker M., Mastromonaco G., Schulte-Hostedde A.I., 2018. The effects of body region, season and external arsenic application on hair cortisol concentration // Conservation Physiology. V. 6. № 1. P. 1–9.
- Ashwell-Erickson S., Fay F.H., Elsner R., Wartzok D., 1986. Metabolic and hormonal correlates of molting and regeneration of pelage in Alaskan harbor and spotted seals (*Phoca vitulina* and *Phoca largha*) // Canadian Journal of Zoology. V. 64. № 5. P. 1086–1094.
- Bergendahl M., Vance M.L., Iranmanesh A., Thorner M.O., Veldhuis J.D., 1996. Fasting as a metabolic stress paradigm selectively amplifies cortisol secretory burst mass and delays the time of maximal nyctohemeral cortisol concentrations in healthy men // Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism. V. 81. № 2. P. 692–699.
- Burnett T.A., Madureira A.M.L., Silper B.F., Nadalin A., Tahmasbi A., Veira D.M., Cerri R.L.A., 2014. Short communication: Factors affecting hair cortisol concentrations in lactating dairy cows // Journal of Dairy Science. V. 97. № 12. P. 7685–7690.
- Burns J.M., 1999. The development of diving behavior in juvenile Weddell seals: pushing physiological limits in order to survive // Canadian Journal of Zoology. V. 77. № 5. P. 737–747.
- Comin A., Veronesi M.C., Montillo M., Faustini M., Valentini S., Cairoli F., Prandi A., 2012. Hair cortisol level as a retrospective marker of hypothalamic-pituitary-adrenal axis activity in horse foals // The Veterinary Journal. V. 194. P. 131–132.
- Ferguson S.H., Young B.G., Yurkowski D.J., Anderson R., Willing C., Nielsen O., 2017. Demographic, ecological, and physiological responses of ringed seals to an abrupt decline in sea ice availability // Peer J. V. 5. № 2957.
- González-de-la-Vara M. del R., Valdez R.A., Lemus-Ramírez V., Vázquez-Chagoyán J.C., Villa-Godoy A., Romano M.C., 2011. Effects of adrenocorticotrophic hormone challenge and age on hair cortisol concentrations in dairy cattle // Canadian Journal of Veterinary Research. V. 75. P. 216–221.
- Gundlach N., Krumbholz A., Siebert U., 2014. Hair cortisol as a parameter for stress assessment in harbor seals // 28th annual conference of the European Cetacean Society, Liège, Belgium, 5th – 9th April 2014.
- Heimbürge S.E., Otten W., 2019. The use of hair cortisol for the assessment of stress in animals // General and Comparative Endocrinology. V. 270. P. 10–17.
- Hunt K.E., Stimmelmayer R., George C., Hanns C., Suydam R., Brower H., Rolland R.M., 2014. Baleen hormones: A novel tool for retrospective assessment of stress and reproduction in bowhead whales (*Balaena mysticetus*) // Conservation Physiology. V. 2. № 1. P. 1–12.
- Jensen T.L., Kiersgaard M.K., Sørensen D.B., Mikkelsen L.F., 2013. Fasting of mice: a review // Laboratory Animals. V. 47. № 4. P. 225–240.
- Karpovich S.A., Horstmann L.A., Polasek L.K., 2020. Validation of a novel method to create temporal records of hormone concentrations from the claws of ringed and bearded seals // Conservation Physiology. V. 8. № 1. P. 1–11.
- Keogh M.J., Gastaldi A., Charapata P., Melin S., Fadeley B.S., 2020. Stress-related and reproductive hormones in hair from three north Pacific otariid species: Steller sea lions, California sea lions and northern fur seals // Conservation Physiology. V. 8. № 1. P. 1–13.
- Kershaw J.L., Hall A.J., 2016. Seasonal variation in harbour seal (*Phoca vitulina*) blubber cortisol – A novel indicator of physiological state? // Scientific Reports. V. 6. № 1.
- Laudenslager M.L., Jorgensen M.J., Fairbanks L.A., 2012. Developmental patterns of hair cortisol in male and female nonhuman primates: lower hair cortisol levels in vervet males emerge at puberty // Psychoneuroendocrinology. V. 37. P. 1736–1739.
- Mastromonaco G.F., Gunn K., McCurdy-Adams H., Edwards D.B., Schulte-Hostedde A.I., 2014. Validation and use of hair cortisol as a measure of chronic stress in eastern chipmunks (*Tamias striatus*) // Conservation Physiology. V. 2. № 1. P. 1–12.
- McCormick C.M., Mathews I.Z., 2007. HPA function in adolescence: role of sex hormones in its regulation and the enduring consequences of exposure to stressors // Pharmacology, Biochemistry & Behavior. V. 86. № 2. P. 220–233.
- McLaren I.A., 1958. The biology of the ringed seal (*Phoca hispida* Schreber) in the eastern Canadian Arctic // Bulletin no. 118. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.
- Meise K., Von Engelhardt N., Forcada J., Hoffman J.I., 2016. Offspring hormones reflect the maternal prenatal social environment: Potential for foetal programming? // PLoS ONE. V. 11. № 1. P. 1–17.
- Meyer J.S., Novak M.A., 2012. Minireview: Hair cortisol: A novel biomarker of hypothalamic-pituitary-adrenocortical activity // Endocrinology. V. 153. № 9. P. 4120–4127.

- Naidenko S.V., Alekseeva G.S., Klyuchnikova P.S., Erofeeva M.N., 2022. Application of felid hair for non-invasive tracking of animal reproductive status and adrenal activity // *Animals* V. 12. № 2792.
- Ortiz R.M., Wade C.E., Ortiz C.L., 2001. Effects of prolonged fasting on plasma cortisol and TH in post-weaned northern elephant seal pups // *American Journal of Physiology – Regulatory Integrative Comparative Physiology*. V. 280. P. 790–795.
- R Core Team, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL.
- Rose A.J., Herzig S., 2013. Metabolic control through glucocorticoid hormones: An update // *Molecular and Cellular Endocrinology*. V. 380. № 1–2. P. 65–78.
- Ryg M., Oritsland N.A., 1991. Estimates of energy expenditure and energy consumption of ringed seals (*Phoca hispida*) throughout the year // *Polar Research*. V. 10. P. 595–602.
- Sapolsky R.M., Romero L.M., Munck A.U., 2000. How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions // *Endocrine Reviews*. V. 21. № 1. P. 55–89.
- Sheriff M.J., Dantzer B., Delehanty B., Palme R., Boonstra R., 2011. Measuring stress in wildlife: techniques for quantifying glucocorticoids // *Oecologia*. V. 166. № 4. P. 869–887.
- Stewart B.S., Petrov E.A., Baranov E.A., Ivanov A.T.M., 1996. Seasonal movements and dive patterns of juvenile Baikal seals, *Phoca sibirica* // *Marine Mammal Science*. V. 12. № 4. P. 528–542.
- Terwissen C.V., Mastromonaco G.F., Murray D.L., 2013. Influence of adrenocorticotrophin hormone challenge and external factors (age, sex, and body region) on hair cortisol concentration in Canada lynx (*Lynx canadensis*) // *General and Comparative Endocrinology*. V. 194. P. 162–167.
- Thometz N.M., Hermann-Sorensen H., Russell B., Rosen D.A.S., Reichmuth C., 2021. Molting strategies of Arctic seals drive annual patterns in metabolism // *Conservation Physiology*. V. 9. № 1.
- Watanabe Y., Baranov E.A., Sato K., Naito Y., Miyazaki N., 2004. Foraging tactics of Baikal seals differ between day and night // *Marine Ecology progress series*. V. 279. P. 283–289.
- Webb E., Thomson S., Nelson A., White C., Koren G., Rieder M., Van Uum S., 2010. Assessing individual systemic stress through cortisol analysis of archaeological hair // *Journal of Archaeological Science*. V. 37. № 4. P. 807–812.
- Wickham H., 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.
- Worthy G.A.J., Morris P.A., Costa D.P., Le Boeuf B.J., 1992. Moulting energetics of the northern elephant seal (*Mirounga angustirostris*) // *Journal of Zoology (Lond)*. V. 227. P. 257–265.
- Yamanashi Y., Teramoto M., Morimura N., Hirata S., Suzuki J., Hayashi M., Kinoshita K., Murayama M., Idani G., 2016. Analysis of hair cortisol levels in captive chimpanzees: Effect of various methods on cortisol stability and variability // *MethodsX*. V. 3. P. 110–117.

CORTISOL CONCENTRATION IN HAIR OF THE BAIKAL SEAL (*PUSA SIBIRICA* GMELIN 1788, CARNIVORA, PHOCIDAE): THE EFFECTS OF SEX, AGE, AND THE DYNAMICS OF ICE DESTRUCTION

P. Yu. Shibanova*, M. A. Solovyeva, P. S. Zhuravleva, D. M. Glazov,
V. V. Rozhnov, S. V. Naidenko

A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119071 Russia

*e-mail: polina_shibanova@mail.ru

Measuring hair cortisol concentrations is a widespread method of hormonal research in natural populations. In particular, it has increasingly been used for assessing the chronic physiological stress over long time periods. This study showed for the first time the experience of using hair of Baikal seals to examine their hormonal status. We collected hair samples from live Baikal seals captured during summer expeditions to the Ushkany Islands, Lake Baikal in 2019 and 2021. Age differences in hair cortisol concentration were found: hair cortisol levels were higher among the young seals and declined with age. We suppose this may be related to different extents of nutritional stress, hunting success and social factors on summer rookeries. There was no sex effect on hair cortisol in young animals. We observed that hair cortisol concentrations were higher in young animals captured in 2019 compared to seals taken in 2021, with no differences in ice conditions between these years found.

Keywords: hormonal status, Baikal, Siberia