СРЕДНЕ-УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ МЕДИЦИНСКИХ НАУК И ПРАВИТЕЛЬСТВА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

4
2005

ВЕСТНИК УРАЛЬСКОЙ МЕДИЦИНСКОЙ АКАДЕМИЧЕСКОЙ НАУКИ

Главный редактор В.А. Черешнев, академик РАН и РАМН (г. Екатеринбург)

Заместители главного редактора
В.Г. Климин, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), М.С. Скляр, к.м.н. (г. Екатеринбург)

Ответственный секретарь — С.Л. Леонтьев, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург)

Редакционная коллегия
Н.А. Агаджанян, академик РАМН (г. Москва), Ф.И. Бадаев, д.м.н. (г. Екатеринбург), А.Б. Блохин, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), В.Н. Большаков, академик РАН (г. Екатеринбург), О.В. Бухарин, член-корреспондент РАН, академик РАМН (г. Оренбург), Е.Д. Гольдберг, академик РАМН (г. Томск), В.Н. Журавлев, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), Н.В. Зайцева, член-корреспондент РАМН (г. Пермь), Ю.М. Захаров, академик РАМН (г. Челябинск), О.П. Ковтун, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), Б.И. Никонов, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), М.И. Прудков, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), К.В. Судаков, академик РАМН (г. Москва), Р.М. Хаитов, академик РАМН (г. Москва), Б.И. Чарный (г. Екатеринбург), В.А. Черкасов, д.м.н., профессор (г. Пермь), В.И. Шевцов, член-корреспондент РАМН (г. Курган), В.И. Шилко, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), Б.Г. Юшков, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), А.П. Ястребов, член-корреспондент РАМН (г. Екатеринбург)

Редакционный совет
Я.Б. Бейкин, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), А.А. Белкин, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), С.А. Берзин, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), Н.П. Глинских, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), А.М. Дыгай, академик РАМН (г. Томск), В.А. Журавлев, член-корреспондент РАМН (г. Киров), Ф.Х. Камилов, д.м.н., профессор (г. Уфа), Б.А. Кацнельсон, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), С.А. Коротких, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), А.И. Кузьмин, к.м.н., доцент (г. Екатеринбург), С.В. Кузьмин, д.м.н. (г. Екатеринбург), Л.П. Ларионов, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), Н.В. Литусов, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), И.Г. Портнов, к.м.н. (г. Екатеринбург), Г.И. Ронь, д.м.н., профессор (г. Екатеринбург), Н.С. Стрелков, д.м.н., профессор (г. Ижевск), Ю.Г. Суховей, д.м.н. (г. Тюмень)

ЕКАТЕРИНБУРГ ● 2005

В.Н. Большаков, Л.А. Ковальчук, О.А. Сатонкина, А.П. Ястребов

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН И НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТКАНЯХ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Институт экологии РиЖ УрО РАН, Уральская государственная медицинская академия
Лаборатория проблем адаптации СУНЦ РАМН и Правительства Свердловской области

Исследование влияния техногенных загрязнений окружающей среды на организм является одной из ведущих задач медико-экологического мониторинга [1, 2, 10]. Чрезвычайно важна и проблема «раннего предупреждения» для наиболее опасных соединений, загрязняющих природную среду, поскольку они способны вызвать мутагенез, канцерогенез, тератогенные эмбрио- и гонадотоксические эффекты. В то же время знание компенсаторно-приспособительных возможностей организма в условиях антропогенных загрязнений среды важно как для решения задач охраны окружающей среды, так и для срочных мероприятий по диагностике и предупреждению развития необратимых патологических процессов в организме.

Экспериментальные работы по исследованию механизмов повреждения и стратегии адаптации животных и человека, обитающих в экосистемах, подверженных техногенным нагрузкам, дают возможность оценить патогенность сочетанного воздействия факторов среды и найти методические подходы к разработке эффективных способов профилактики различных повреждений и заболеваний.

Стратегия исследований обусловлена необходимостью разработки модели для изучения влияния патогенных факторов среды обитания на человека и исследования механизмов патологических процессов как основы типовых отклонений в состоянии здоровья населения районов Уральского региона, созданию научно-методологических основ патогенетического прогноза и рекомендаций по созданию препаратов и способов профилактики и реабилитации заболеваний.

С позиций экологии основополагающей характеристикой благополучия популяции является обилие и пространственная структура населения — стабильно высокая численность и снижение миграционной активности [9, 18, 23]. Однако варианты приспособления популяций к качественно измененным под техногенным воздействием условиям среды обитания не столь однозначны [11, 16, 17, 19, 22, 25]. Достаточно высокое качество жизни и здоровья предполагает прежде всего не высокую продуктивность и заселенность территории, а способность организма к устойчивому поддержанию гомеостаза, отсутствие нарушений в функционировании физиологических систем.

Выбор правильной стратегии выживания и разработка научно обоснованных коррегирующих средств во многом определяется глубиной знаний закономерностей и эколого-физиологических механизмов адаптации организма к различным повреждающим факторам среды (природным, антропогенным, социальным). Наши многолетние исследования механизмов повреждения и стратегии адаптации мелких грызунов различных климато-географических зон при действии природных факторов среды (холод, гипоксия, комплекс факторов высокогорья) показали, что протяженные во времени экстремальные условия среды предполагают активное участие в адаптивном процессе энергетики и системы крови [3, 4, 5, 6, 7, 8, 14].

Материал и методы

В основу работы положены результаты экспедиционных и лабораторных исследований. В качестве объекта исследования выбран типичный представитель мелких млекопитающих уральской фауны — рыжая полевка (Clethrionomys glareolus Schreber, 1780) как вид большой экологической пластичности. Животные отловлены в Талицком районе Свердловской области (национальный парк «Припышминские боры») и в Ильменском заповеднике Челябинской области, где отсутствует техногенное загрязнение тяжелыми металлами (фоновые территории), в Ревдинском районе Свердловской области (Средне-Уральский медеплавильный комбинат) по направлению господствующих ветров на расстоянии 1,5 км от источника выбросов техногенных поллютантов.

Всего исследовано 290 особей рыжей полевки из природных популяций. Все животные отбирались для эксперимента без признаков заболеваний. Стандартизацию полевого материала проводили в соответствии с требованиями экспериментальной экологии методом одноактной акклимации. Проведены лабораторные эксперименты и на белых беспородных мышах — 66 экз. массой до 25 г, которых содержали на стандартном рационе питания в условиях лабораторного вивария [21].

Определение основного обмена животных проводили с помощью газоанализатора «МН-5130». Потребление кислорода выражали в мл/г массы тела животного в час. О характере и интенсивности окислительных энергетических процессов судили по показателям выделяемых из тканей митохондрий. Регистрацию дыхания митохондрий печени и сердца измеряли в ячейке с закрытым платиновым электродом типа Кларка на полярографе «ОН-105». Использовали функциональные пробы и ингибиторы участков дыхательной цепи. Дыхание оценивали на эндогенных субстратах — сукцинат и глутамат в присутствии АДФ, на НАД-

зависимом субстрате — оксибутирате — в присутствии разобщителя дыхания и фосфорилирования 2,4-динитрофенола (ДНФ). Скорость дыхания выражали в наноатомах кислорода в минуту на 1 миллиграмм митохондриального белка. Скорость микросомального окисления в печени измеряли полярографическим методом и выражали в наноатомах кислорода в минуту на 1 мг микросомального белка. Определение микросомального и митохондриального белка проводили по методу Lowry et al. [24]. Аминокислоты и восстановленный глутатион определяли на аминокислотном анализаторе «ААА-339». Содержание аминокислот в цитозоле печени замеряли в мкмоль/г ткани.

Определение содержания микроэлементов (Cu, Zn, Cd, Pb) в крови и органах животных проводили методом атомной абсорбции на спектрофотометре «AAS-3» [20]. Пробоподготовку крови и тканей животных проводили в соответствии с методическими рекомендациями, утвержденными МЗ РФ в 1999 г. Животные опытных групп получали с питьевой водой в одном случае только кадмий, в другом случае — кадмий, цинк и медь в дозах, в среднем соответствующих суточному поступлению данных металлов в организм животных, обитающих на территориях с высоким уровнем техногенного загрязнения. Контрольные животные получали обычную питьевую воду. Прочие условия содержания были идентичными для всех животных всех групп. Спустя 7, 14, и 28 суток у животных определяли концентрацию Cd, Zn и Cu в критических органах (почки, печень, селезенка) и в сердце. Параллельно отбирали кровь для изучения в контролируемых лабораторных условиях сочетания токсических эффектов, индуцируемых тяжелыми металлами, с функциональной активностью системы крови.

Математическая обработка полученных результатов проведена с использованием пакета прикладных программ STATISTIKA. При обработке результатов исследования применялись одномерные и многомерные методы статистического анализа. Различия между сравниваемыми выборками считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

Оценка физиологического состояния мышевидных грызунов, обитающих на фоновых и техногенных территориях

В целях получения общих представлений о закономерностях изменчивости морфофизиологических и энергетических параметров организма, связанных с экологическими особенностями условий обитания и образа жизни отдельных популяций, проведен сравнительный анализ основного обмена и энергетических процессов в тканях полевок. Показано, что у животных, обитающих на загрязненных территориях, уровень основного обмена достоверно выше, чем у животных фоновых территорий ($T_{1-2} = 5,86 > Tst_{0,95} = 2,1$) (рис. 1). И если на фоновой территории отмечали достоверные различия по основному обмену между самцами и самками, то в условиях техногенного загрязнения они отсутствовали ($T_{1-2} = 0,6 < Tst_{0,95} = 2,0$) (рис. 1).

Исследования параметров системы биотрансформации чужеродных соединений у полевок, обитающих в зоне действия металлургического комбината, показали, что скорость микросомального окисления возрастает в 1,6—2,0 раза (375,4±12,2), а содержание восстановленного глутатиона в 3,6—4,8 раза (3,99±0,5) у самцов и самок на фоне достоверного падения уровня аминокислот-предшественников: глутамата, аланина, глицина в сравнении с животными фоновых территорий. Следует отметить, что снижение количественного содержания данных аминокислот недостаточно для синтеза почти 5-ти кратного количества восстановленного глутатиона, что и определяет необходимость интенсификации биосинтетических процессов в наращивании энергетических ресурсов для реализации процессов коньюгации детоксикации чужеродных соединений. Отмечена и активация биогенеза митохондриального белка на 65 % ($p < 0,05$).

Убедительным доказательством в пользу существования связи энергетических процессов в

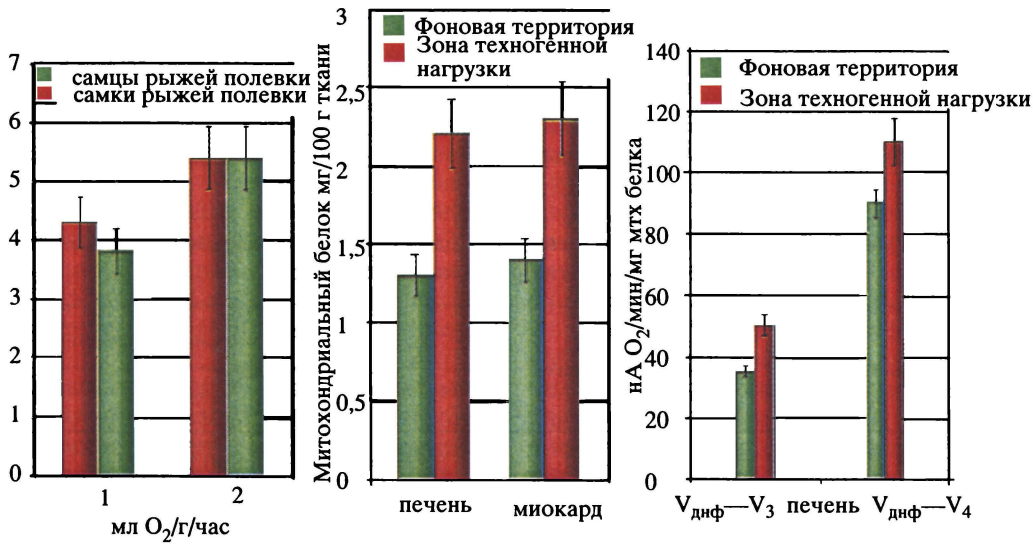

Рис. 1. Показатели основного обмена и окислительного метаболизма печени и миокарда рыжей полевки из природных популяций фоновой (1) и техногенной территорий (2) ($p < 0,05$).

тканях животных с их экологической специализацией служат данные о возрастании физиологического «диапазона» ($V_{ДНФ}$—V_3) и «резерва» ($V_{ДНФ}$—V_4) дыхательной активности митохондрий печени и миокарда полевок техногенной территории (рис. 1). Повышение уровня основного обмена объясняется активацией окислительных процессов тканей, что способствует восстановлению нарушенного физиологического баланса и направлено на поддержание гомеостаза, способствуя скорейшему выходу животного организма из режима патологического состояния [12, 13].

Показано, что процесс выведения избыточного количества микроэлементов относится к энергозависимым процессам, на что указывают повышение основного обмена, активация окислительных процессов в печени, возрастание эффективности метаболизма за счет повышенного синтеза митохондриального белка у животных, техногенных территорий.

Совокупность представленных данных позволяет говорить о высокой степени участия окислительных процессов в механизмах поддержания основных гомеостатических параметров, обеспечивая организму устойчивый адаптивный статус в условиях перманентного комплексного воздействия низких уровней загрязнения.

Определены концентрации тяжелых металлов в критических для каждого элемента органах и тканях у млекопитающих природных популяций фоновой территории Среднего Урала. Различия в содержании металлов в критических органах животных с территорий, подвергающихся техногенному воздействию, и с фоновых территорий разнятся существенно меньше, чем того следовало ожидать, исходя из оценок суточного поступления металлов в организм по пищевым цепям. Вероятно, существует физиологическая система гомеостаза микроэлементов, входящая в общую регуляторную систему организма. Следует отметить, что определенные уровни аккумуляции изученных тяжелых металлов в тканях этих особей можно считать в качестве фоновых (табл.).

У полевок фоновых территорий наблюдается высокое содержание кадмия в селезенке. У полевок, обитающих в техногенных зонах, отмечали повышенное содержание кадмия в тканях всех критических органов. Так, содержание Cd в печени животных возрастает в 10 раз, в почках — в 2 раза и в селезенке — в 1,8 раза (табл.). Это позволяет говорить об интоксикации животных нелетальными дозами кадмия, что подтверждается достоверным снижением массы тела полевок, обитающих на территориях с перманентно высоким уровнем техногенного загрязнения по сравнению с полевками из фоновых территорий ($p < 0,05$).

Нами установлена корреляционная зависимость между высоким суммарным содержанием кадмия в тканях самок и сниженной массой тела их новорожденных — 0,95±0,08 г ($n = 37$), ($r = 0,75$ при $p < 0,05$). Выявленное несоответствие между содержанием тяжелых металлов в организме животных, обитающих на территориях с высоким уровнем техногенного загрязнения, и практически неизменным их содержанием в критических органах, может быть объяснено наличием в организме систем элиминации. Наиболее эффективно выводятся из организма эссенциальные медь и цинк. Менее эффективно элиминируется кадмий.

Особенности аккумуляции тяжелых металлов в критических органах мышевидных грызунов

Изучение кинетики накопления и распределения тяжелых металлов в тканях животных выполнено в модельном эксперименте на белых беспородных лабораторных мышах и рыжих полевках, доставленных из природных популяций Ильменского заповедника. Анализ содержания меди, цинка и кадмия в почках и печени экспериментальных животных показал, что динамика накопления изучаемых металлов в почках и в печени зависит от того, вводится металл в организм изолированно или в составе смеси.

Результаты лабораторного эксперимента по динамике накопления меди, цинка и кадмия в критических органах лабораторных животных показали, что у животных первой группы, получавших с питьевой водой только кадмий в дозе 5 мкг/сут, накопления данного элемента в почках практически не происходило и содержание его оставалось на уровне контрольной величины в течение всего эксперимента (рис. 2). Однако можно отметить и тенденцию к повышению содержания кадмия на четырнадцатый день опыта и достоверное понижение его на двадцать восьмой день по сравнению с четырнадцатым. В печени содержание кадмия на седьмой день эксперимента было на уровне контрольных величин, а начиная с четырнадцатых суток — достоверно выше, чем у контроля, и оста-

Таблица

Накопление тяжелых металлов в органах мелких млекопитающих из природных популяций территорий фоновых (1) и с техногенным загрязнением (2) ($p < 0,05$)

Вид	Кол-во животных	Исследуемый орган	Содержание металла (мкг/г)		
			Cu	Zn	Cd
		Печень (1)	5,28±0,07	20,16±1,08	0,050 ±015
		Печень (2)	3,50±1,10	20,80±6,53	0,50±0,06
Рыжая полевка (1)	109	Почки (1)	2,42±0,06	18,30±0,29	0,39±0,01
Рыжая полевка (2)	78	Почки (2)	1,60±0,50	23,50±7,38	0,80±0,03
		Селезенка (1)	3,32±0,02	21,68±1,90	1,57±0,10
		Селезенка (2)	4,50±1,41	24,50±0,13	2,90±0,09

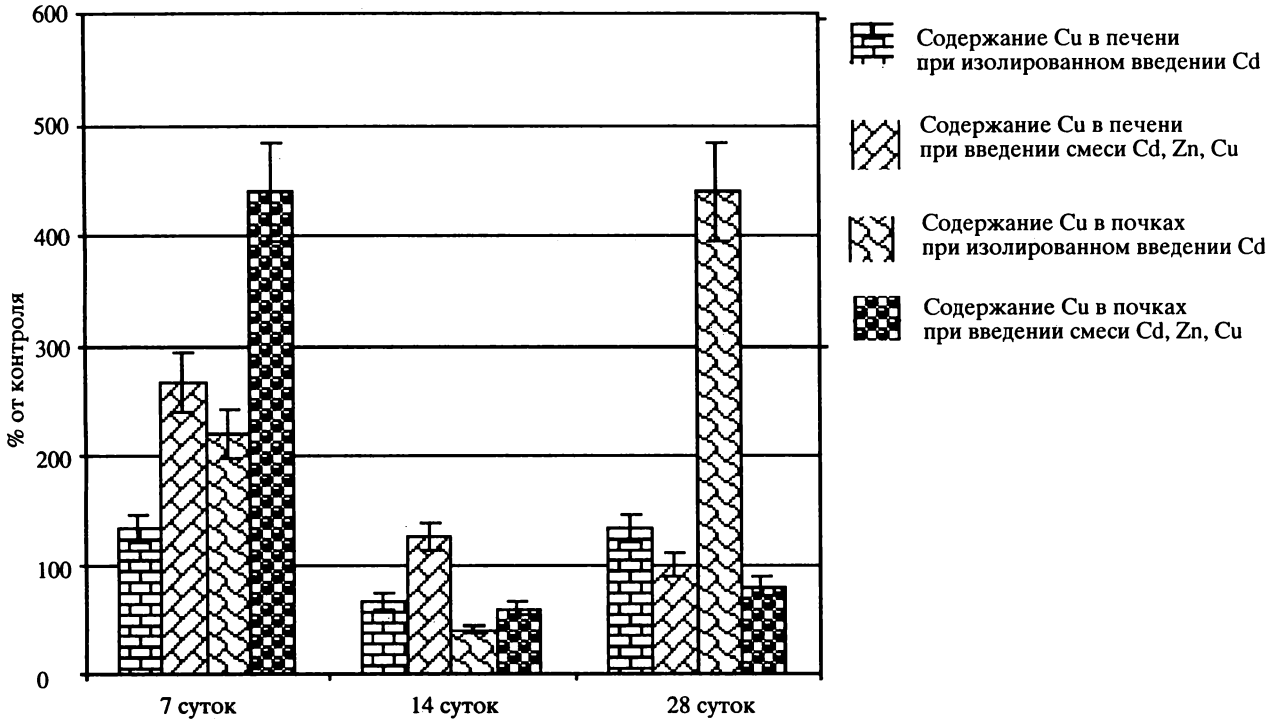

Рис. 2. Содержание меди в печени и почках лабораторных животных при изолированном введении раствора кадмия и введении раствора смеси металлов.

валось таким до конца эксперимента. Содержание меди в почках экспериментальных животных на фоне введения кадмия на седьмые сутки эксперимента в 2 раза превышало контрольные значения с последующим снижением к четырнадцатым суткам и резким повышением в 4 раза на 28-е сутки эксперимента. Необходимо отметить достоверное понижение содержания меди на четырнадцатый день дозовых нагрузок по сравнению с седьмым днем и достоверное его повышение на двадцать восьмой день. В печени содержание меди на седьмой день с начала эксперимента было достоверно выше контрольной величины, но уже на четырнадцатый день оно понизилось до уровня, близкого к контрольному. Однако уже на двадцать восьмые сутки исследования количество меди в печени вновь достоверно выше контрольных значений и совпадает с концентрацией, выявленной на седьмые сутки.

Изучение накопления и распределения тяжелых металлов в тканях рыжих полевок, доставленных из природных популяций Ильменского заповедника, показало, что у животных, получавших с питьевой водой только кадмий, происходило достоверное снижение содержания меди на 7-й день и, несмотря на достоверный, по сравнению с 7-ми сутками, подъем на 14-е сутки, сохранялось ниже уровня контроля и на 28-й день эксперимента (рис. 3).

При введении смеси металлов содержание меди достоверно не отличалось от уровня контроля на 7, 14 и 28 дни эксперимента. При этом концентрация меди в печени при введении смеси металлов была достоверно ниже таковой при введении только кадмия во все сроки наблюдения, за исключением 28 сут (рис. 4). Содержание цинка при введении кадмия достоверно понизилось по сравнению с контролем на седьмой день затравки и оставалось достоверно ниже уровня контроля и на 28 день. При введении смеси металлов содержание цинка достоверно не отличалось от уровня контроля на 7 и 14 дни и понизилось по отношению к уровню контроля на 28 день эксперимента. Более того, содержание металла в органе на 28 сутки при введении смеси металлов было существенно ниже таковой, наблюдаемой при введении только кадмия ($p < 0,05$). Содержание кадмия в печени достоверно повысилось при введении только кадмия на 7 день, не отличалось от уровня контроля на 14 день и было достоверно выше уровня контроля на 28 день эксперимента. При введении смеси металлов отмечена иная динамика содержания кадмия в печени. Концентрация кадмия достоверно не отличалась от уровня контроля на 7 день, понизилась на 14 день и оставалась ниже уровня контроля на 28 день эксперимента. При этом наблюдали достоверно большее содержание кадмия при его изолированном введении в сравнении с таковым при введении кадмия в составе смеси металлов на 7 сутки. В последующем, на 14 и 28 сутки концентрация кадмия при его изолированном введении не отличалась от величины соответствующего показателя, зарегистрированного при введении смеси металлов.

Содержание свинца в печени экспериментальных животных достоверно повысилось по сравнению с уровнем контроля как при введении только кадмия, так и при введении смеси металлов на 7 день и оставалось выше уровня контроля на 14 и 28 дни эксперимента. Однако нами не было зарегистрировано достоверной разницы содержания данного металла в органе в зависимости от того, получали ли животные только кадмий или кадмий в составе смеси металлов. Исключение составляют только

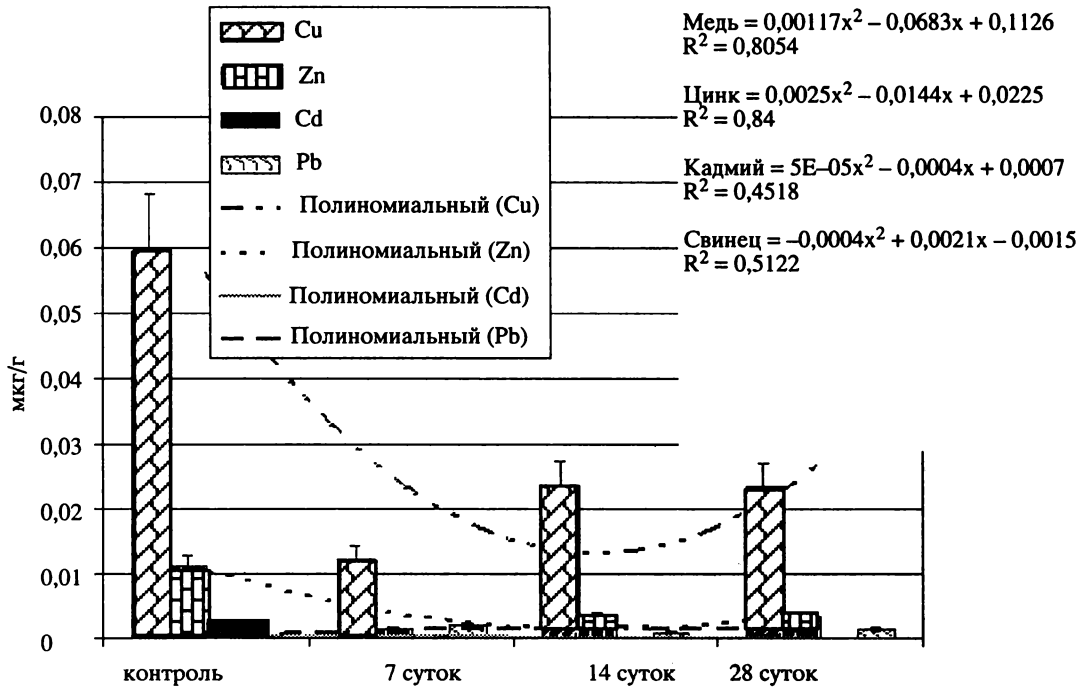

Рис. 3. Кинетика накопления тяжелых металлов в печени рыжей полевки при введении раствора кадмия.

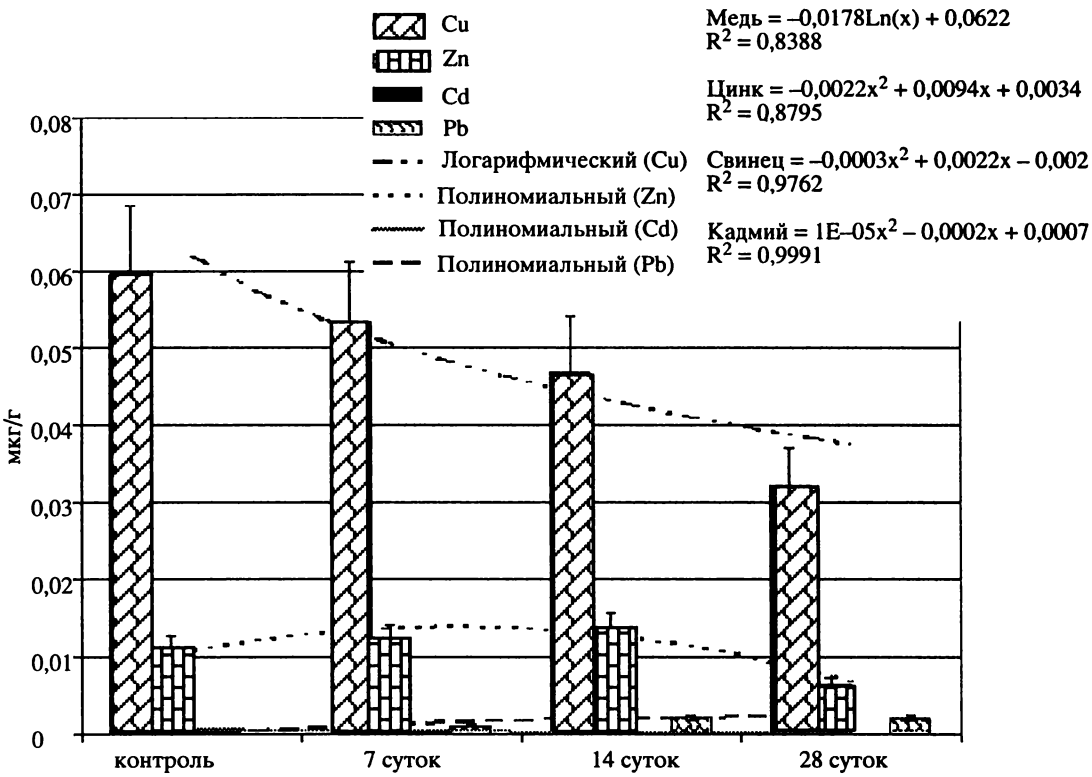

Рис. 4. Кинетика накопления тяжелых металлов в печени рыжей полевки при введении раствора кадмия, меди и цинка.

28 сутки эксперимента, когда в случае введения смеси металлов количество свинца в печени было достоверно выше, нежели при введении только кадмия. Следует отметить тот факт, что в группе контрольных животных содержание свинца в печени было практически равно нулю, ниже предела обнаружения, в то время как в почках он наблюдался в значительном количестве, а введение металлов сопровождалось «вымыванием» свинца из почек и «накоплением» его в печени. Это является дополнительным свидетельством в пользу предположения о том, что поступление металлов в организм из окружающей среды приводит к их перераспределению между органами и тканями.

Таким образом можно заключить, что динамика накопления изучаемых металлов в печени зави-

сит от того, вводится в организм металл изолированно или в составе смеси. Кроме того, в обоих случаях животные не получали свинец, между тем, нами было зарегистрировано достоверное возрастание количества свинца в печени животных. Более того, темпы возрастания зависели от состава поступающих металлов.

Полученные результаты можно объяснить исходя из того, что металлы взаимообусловливают токсикокинетику друг друга, а концентрация металла в органе зависит не только от его поступления извне, но и от перераспределения его и прочих между органами и тканями.

Показано, что на концентрацию металла в органе влияет не только его поступление извне, но и перераспределение его и других ТМ между органами и тканями. Следует отметить, что в отношении изменений содержания металлов в селезенке и сердце остаются справедливыми положения, выдвинутые при рассмотрении данного процесса в печени и почках [15].

Как уже отмечалось выше, процесс депонирования металлов в данных органах в случае изолированного введения кадмия и введения смеси металлов качественно отличается. С целью изучения наблюдаемых процессов, нами использован метод математического моделирования динамики накопления металлов. Поскольку наблюдаемая динамика явно нелинейна, что характерно для биологических процессов, то в основу модели была положена зависимость между концентрацией металла в органе или ткани и временем от начала эксперимента, описываемая полиномом. При всей ограниченности данного метода моделирования нам было важно выяснить не столько количественные изменения в ходе процесса депонирования металлов в зависимости от состава смеси, сколько качественные. Так, при введении животным только раствора кадмия следует отметить, что наблюдается общая для всех металлов тенденция к максимальному отличию от контрольных величин в период с 7 по 14 сутки эксперимента с последующим приближением к контрольным величинам; при этом для меди, кадмия и цинка изменения были однонаправленными и характеризовались минимумом в середине эксперимента (вогнутые кривые — бином второй степени, первый член бинома положительный); в то же время мы наблюдаем изменение концентрации свинца в печени «в противофазе» изменению концентраций прочих изучаемых металлов — кривая выпуклая (бином второй степени, первый член отрицательный) (рис. 3). По-видимому, наблюдается процесс «мобилизации» кадмия и меди из печеночного депо в ответ на введения кадмия. Учитывая, что цинк и медь в ряде случаев являются антагонистами кадмия, данный процесс может иметь компенсаторно-приспособительный характер. Освобождающиеся металлотионеины начинают связывать свинец.

При введении смеси металлов зависимости приобретают иной вид (рис. 4). Хотя динамика накопления кадмия, цинка и свинца по-прежнему имела вид полинома второй степени, изменение концентрации меди описывалось отрицательной логарифмической зависимостью. Подобные изменения в динамике накопления металлов при изолированном введении кадмия и сочетанном введении металлов сохраняется и для почек, селезенки и сердца [15].

Полученные данные однозначно свидетельствуют в пользу неоднократно обсуждавшегося в литературе положения о том, что изучение влияния отдельных металлов имеет ограниченную практическую значимость (гигиеническое сертифицирование продуктов питания, строительных материалов и т. д.), поскольку в реальной ситуации организм подвергается комплексному воздействию целого ряда веществ, конечный эффект действия которых не сводится к простой сумме индивидуальных эффектов компонентов смеси.

Заключение

Сравнительный анализ энергетических процессов в тканях мелких млекопитающих фоновых зон и зон техногенного загрязнения показал, что у животных, подверженных воздействию ТМ, уровень основного обмена достоверно повышается. У полевок с загрязненных территорий процесс элиминации токсичных металлов сопровождается активацией окислительного метаболизма и повышенным синтезом митохондриального белка. Впервые на примере рыжей полевки установлено, что процесс выведения избыточного количества тяжелых металлов относится к энергозависимым, что способствует восстановлению нарушенного физиологического равновесия и направлено на поддержание гомеостаза.

Различия в содержании ТМ в критических органах животных с территорий техногенного загрязнения и с фоновых территорий существенно меньше, чем того следовало ожидать, исходя из оценок суточного поступления металлов с растительным кормом, что может быть объяснено наличием в организме систем элиминации. Высокий уровень гомеостатической регуляции, ограничивая накопление микроэлементов в органах и тканях, наиболее эффективно выводит из организма медь и цинк, при достаточно слабой элиминации кадмия.

Сравнительные исследования рыжих полевок из фоновой зоны и территории с техногенным загрязнением показали, что полевки, обитающие в зоне перманентного действия техногенных поллютантов, более устойчивы к экстремальным факторам и обладают механизмами защиты от повреждающего действия поллютантов.

Обнаружено, что характер накопления металлов в случае изолированного и сочетанного их поступления различен, что, с одной стороны, указывает на способность металлов взаимообусловливать процессы аккумуляции, а с другой — ставит под сомнение вопрос об обоснованности широко используемого принципа нормирования безопасных уровней и концентраций веществ в окружающей среде без учета эффектов комбинированного воздействия.

Данные исследования позволяют оценить на перспективу, какие виды способны к толерантности, интенсивной изменчивости, а какие из них ме-

нее резистентны и более подвержены действию повреждающих агентов, ибо, с наших позиций, адаптивные изменения физиологического состояния животных в конечном варианте определяют структуру и гомеостаз биогеоценоза.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С.* Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. — М.: Медицина, 1991. — 496 с.
2. *Агаджанян Н.А.* Адаптационная медицина и здоровье // Вестник уральской медицинской академической науки. — 2005. — № 2. — С. 10—18.
3. *Большаков В.Н.* Пути приспособления мелких млекопитающих к горным условиям. — М.: Наука, 1972. — 179 с.
4. *Большаков В.Н., Ковальчук Л.А.* Энергетика сердца и печени горных полевок группы Microtus juldaschi carruthersi (Mammalia) // Докл. АН СССР. — 1982. — Т. 266. — № 3. — С. 748—752.
5. *Большаков В.Н., Ковальчук Л.А.* Адаптационные возможности окислительного метаболизма тканей и системы крови сибирского лемминга (*Lemmus sibiricus Kerr*, 1792) // Докл. АН СССР. — 1984. — Т. 274. — № 2. — С. 493—496.
6. *Большаков В.Н., Ковальчук Л.А., Ястребов А.П.* Энергетический обмен у полевок и его изменения в экстремальных условиях. — Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. — 115 с.
7. *Большаков В.Н., Ковальчук Л.А., Ястребов А.П.* Адаптационные возможности окислительного метаболизма тканей и системы крови горных животных // Известия АН СССР, серия биолог. — 1985. — № 4. — С. 572—580.
8. *Большаков В.Н., Ковальчук. Л.А.* Энергоресурсы клеток печени при адаптации организма к экстремальным условиям среды // Физиология и биохимия клетки при действии экстремальных факторов. — Уфа, 1988. — С. 2—10.
9. *Ивантер Э.В.* Популяционная экология мелких млекопитающих таежного Северо-Запада СССР. — Л.: Наука, 1975. — 244 с.
10. *Казначеев В.П.* Современные аспекты адаптации. — Новосибирск: Наука, 1980. — 191 с.
11. *Калабухов Н.И.* Сохранение энергетического баланса как основа процесса адаптации // Журн. общей биологии. — 1946. — № 6. — С. 417—424.
12. *Ковальчук Л.А., Микшевич Н.В.* Энергетический обмен мелких млекопитающих в зоне выбросов медеплавильного комбината // Экология. — 1988. — № 4. — С. 86—88.
13. *Ковальчук Л.А., Микшевич Н.В.* Энергетический обмен и уровни накопления меди, цинка и кадмия в тканях мелких грызунов в фоновых условиях // Животные в условиях антропогенного ландшафта. — Екатеринбург, 1992. — С. 78—85.
14. *Ковальчук Л.А., Ястребов А.П.* Экологическая физиология мелких млекопитающих Урала. — Екатеринбург: УрО РАН, 2003. — 203 с.
15. *Ковальчук Л.А., Сатонкина О.А., Тарханова А.Э.* Кинетика накопления цинка, меди и кадмия в организме мелких млекопитающих в лабораторном эксперименте // Вестн. Урал. гос. мед. академии. — 2001. — вып. 9. — С. 10—14.
16. *Кудяшева А.Г., Шишкина Л.Н., Загорская Н.Г., Таскаев А.И.* Биохимические механизмы радиационного поражения природных популяций мышевидных грызунов. — Санкт-Петербург.: Наука, 1997. — 153 с.
17. *Межжерин В.А., Мякушко С.А.* Стратегия популяций мелких грызунов Каневского заповедника в условиях измененной среды обитания под воздействием техногенных загрязнений и аварии на ЧАЭС // Зоология. — 1998. — № 3. — С. 374—381.
18. *Наумов Н.П.* Структура популяций и динамика численности наземных позвоночных // Зоол. журн. — 1967. Т. 46, вып. 10. — С. 1470—1486.
19. *Слоним А.Д.* Основы общей экологической физиологии млекопитающих. — М.; Л.; Изд. АН СССР, 1961. — 432 с.
20. *Хавезов И., Цалев Д.* Атомно-абсорбционный анализ: Пер. с болг. Г.А. Шейниной / Под ред. С.З. Яковлевой. — Л.: Химия, 1983. — 144 с.
21. *Хлебович В.В.* Акклиматизация животных организмов. — Л.: Наука, 1981. — 115 с.
22. *Хочачка П., Сомеро Дж.* Стратегия биохимической адаптации. — М.: Мир, 1977. — 398 с.
23. *Шварц С.С.* Экологические закономерности эволюции. — М.: Наука, 1980. — 278 с.
24. *Lowry O.H., Rosenbrough N.J., Farr A.L., Ranadal R.J.* Protein measurement with the bolin reagent // J. Biol. Chem. — 1951. — V. 193. P. 265—271.
25. *MacArthur R.H., Wilson E.O.* The theory of island biogeography // N-Y: Princenton Univ. Press, 1987. — 203 p.

ENERGY METABOLISM AND ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN TISSUES OF MOUSE-LIKE RODENTS IN NATURAL AND TECHNOGENIC LANDSCAPE OF THE URAL REGION

V.N. Bolshakov, L.A. Kovalchuk, O.A. Satonkina, A.P. Jastrebov

Knowledge of the effect of environmental technogenic pollution on an organism is one of the main goals of medico-ecological monitoring. Experimental studied on mechanisms of injuries and adaptive strategies of animals and human beings inhabiting technogenically affected ecosystems allow to evaluate the joint disturbing effect of environmental factors and to find preventive measures against injuries and diseases. Differences in the character of accumulation of pollution metals in tissues of mouse-like rodents from natural populations were observed in both cases — when they entered an organism isolately or in mixture. The process of the removal of excessive microelements is energy dependent — this is evidenced by higher basal metabolism, by activation of oxidizing processes in the liver by intensification of the mitochondria protein synthesis in animals from technogenic territories. The arising new morphofunctional state is responsible for the adaptation of an animal and its resistance to anthropic effects.