

УДК 591.1: 574.2

## **ВЛИЯНИЕ СЫРОЙ НЕФТИ НА ОРГАНИЗМ ГРЫЗУНОВ В ПОДОСТРОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

**А. В. Елифанов<sup>1</sup>, С. Н. Гашев<sup>1</sup>, Т. И. Моисеенко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Тюменский государственный университет

<sup>2</sup> Институт геохимии и аналитической химии РАН им. В. И. Вернадского

Показано, что сырая нефть вызывает неспецифическую реакцию организма мелких млекопитающих на загрязнение, являющееся стрессовым фактором для животных. Отмечается повышение интенсивности метаболизма, напряженности энергетического обмена, нарушения процессов кроветворения, усиление миграции лимфоцитов в кровотоки, увеличение доли пикноморфных клеток в различных тканях, свидетельствующие о прямом токсическом действии нефти и общем нарастании стрессовой ситуации. Установлено, что адаптация развивается специфично у разных видов млекопитающих и у разных поло-возрастных групп одного вида, в ней активное участие принимает гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая система.

**Ключевые слова:** загрязнение, сырая нефть, млекопитающие, грызуны, токсикология, патофизиология.

### **A. V. Elifanov, S. N. Gashev, T. I. Moiseenko. INFLUENCE OF CRUDE OIL ON THE ORGANISM OF RODENTS IN A SUBACUTE EXPERIMENT**

It is shown that crude oil induces a nonspecific response of the organism of small mammals to the pollution, which is a stress-factor for the animals. Metabolism, including the energy metabolism, intensifies, hematopoiesis processes are affected, lymphocytes migration to the bloodstream increases, and the proportion of pycnomorphic cells in different tissues grows, indicating a direct toxic effect of oil, and overall escalation of the stressful situation. Adaptation was found to have specific features depending on the species, and on sex and age within a species. The hypothalamic-pituitary-adrenal system plays an important part in the process of adaptation.

**Key words:** pollution, crude oil, mammals, rodents, toxicology, pathophysiology.

### **Введение**

Увеличивающаяся в мире потребность в углеводородном сырье приводит к экстенсивному увеличению нефтедобычи в регионах и странах. Западная Сибирь прочно удерживает первенство среди российских регионов по добыче нефти и газа. В этом регионе сосредото-

чено более 6 % мировой добычи нефти. Намечено резкое расширение работ по разведке нефти и газа на шельфе дальневосточной и Арктической части России. Места разведки, добычи и переработки, газопроводы и нефтепроводы часто являются источниками нефтяного загрязнения наземных и водных экосистем.

Достаточно много обзорных работ посвящено токсичному влиянию сырой нефти на водные организмы, особенно морские [Ottway, 1971; Черкашин, 2005 и др.]. Значительно меньше известно о влиянии разливов нефти на сухопутных млекопитающих, чем на птиц и водные организмы. О физиологическом действии различных компонентов нефти и нефтепродуктов в лабораторных условиях на организм мелких млекопитающих имеются сообщения уже с конца XIX в. [Кулябко, Овсянникова, 1899]. К настоящему времени известно, что парафиновые углеводороды вызывают наркоз и судороги; ароматические и нафтеновые – действуют на кровь и кроветворные органы. При хроническом действии летучих фракций бессернистой нефти отмечаются функциональные изменения центральной нервной системы, низкое кровяное давление, замедление пульса, а также признаки поражения печени, наличие холестерина в крови, повышенная склонность к заболеваниям. При действии многосернистой нефти отмечается некоторая заторможенность, ослабляется обоняние, нарушается функция печени, щитовидной железы, поражаются слизистые оболочки, появляется хронический конъюнктивит, нарушается нормальный ход эмбриогенеза [Панов и др., 1986; Черкашин, 2005; Draft Toxicological Intake Values..., 2010 и др.]. Достаточно хорошо изучены токсичные и канцерогенные свойства нефтяных углеводородов [Coomes, Hazer, 1984; Holland, Frome, 1984; Lewis et al., 1984; Rahimtula et al., 1984; Канцерогенные вещества, 1987; ССМЕ, 2008 и др.]. Имеются также сведения о мутагенности некоторых из них [Conaway et al., 1984].

Отдельные исследования проведены по бензо(а)пирену [Rosmarie, 1994]. Известны работы о влиянии тяжелых фракций нефти на репродуктивную систему млекопитающих [Nishimoto et al., 2008, 2009]. Пристальному изучению ранее подвергались и нафтеновые кислоты, входящие в состав нефтей [Абдуллаев, Бейбутова, 1965; Караев, 1965; Сабирова, Маньковская, 1966]. В литературе можно найти и методические работы, посвященные интерпретации загрязнения нефтяными углеводородами тканей диких животных [Hall Russel, Coop Nancy, 1988]. Сводной публикацией о токсичности отдельных компонентов сырых нефтей на млекопитающих, а также руководством к подобным исследованиям является «Guidance on the application of Globally Harmonized System (GHS) criteria to petroleum substances» [2010]. Комплексные исследования токсического влияния сырых нефтей разного состава на кроликов и крыс проведены Американским нефтя-

ным институтом [Test plan crude oil category, 2003]. Интересны и более ранние экспериментальные работы по изучению биохимических особенностей грызунов при воздействии сырой нефти [Ayalogu et al., 2001]. Несомненный интерес представляет одна из немногих в России работа В. М. Шапошникова и др. [1980], в которой приводятся результаты лабораторных экспериментов над мышами, подвергающимися действию сырой нефти.

Однако очень мало работ посвящено изучению вопроса комплексного действия сырой нефти в целом на организм животного, притом что в реальных условиях мы чаще всего имеем дело именно с таким интегрированным действием. В этой связи является важным понимание механизмов развития патофизиологических процессов у млекопитающих, развивающихся под влиянием сырой нефти.

Мелкие млекопитающие являются модельной группой организмов в экологических исследованиях как важные элементы водных и околотовных экосистем, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к видам-индикаторам (высокая численность, быстрая смена поколений и т. д.). В этом плане использование мелких млекопитающих имеет большое значение в биотестировании для экспериментального выявления ответных реакций организма на отдельные поллютанты (например, сырую нефть) при определении качества среды в экологическом мониторинге [Test plan crude oil category, 2010; Моисеенко и др., 2010 и др.].

Целью нашей работы являлось определение эффектов сырой нефти на морфофизиологические, гистологические и цитологические показатели грызунов, получавших ее с пищей и водой в условиях лабораторного эксперимента.

## Материал и методы

Исследование сырой нефти на мелких млекопитающих в лабораторных условиях (подострый эксперимент) проведено в соответствии с «Международными рекомендациями...» [1993].

В качестве модельных животных использовались беспородные белые мыши (*Mus musculus* var alb.) в возрасте 2,5 мес. со средней массой тела 20 г и крысы (*Rattus norvegicus* var alb.) в возрасте 3 мес. со средней массой тела 200 г.

В диете белых мышей в течение двух месяцев использовали нефть Южно-Балыкского месторождения (среднелегкая, вязкая, сернистая, смоло-асфальтеновая). В диету опытных белых крыс входила сырая нефть Северо-Хохряковского месторождения (легкая, маловяз-

кая, малосернистая, парафиновая, с небольшим содержанием ароматических и наиболее токсичных моноциклических углеводородов). Оба месторождения нефти расположены в среднетаежной зоне Западной Сибири на территории Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области.

Контрольная группа животных (16 беспородных белых мышей и 10 беспородных белых крыс) получала те же корма, в тех же количествах и пропорциях, но без добавления нефти.

В ходе эксперимента в пищевой рацион подопытных групп животных (16 белых мышей и 18 белых крыс) систематически – через двое суток на третьи – добавлялась сырая нефть [Гашев и др., 1994]. Корм перемешивался нефтью в весовом соотношении 1 : 0,01 – концентрация нефти около 1 %, в питьевой воде создавалась концентрация нефти 0,001 %. Таким образом, с учетом суточного рациона мыши получали сырую нефть в дозировке 3,5 г/кг/день, крысы – 5,85 г/кг/день.

Животные содержались в терморегулируемых металлических шкафах (объемом по 1,5 м<sup>3</sup>) с подсветкой и пассивной вентиляцией при нормальных условиях в количестве, указанном выше для контрольных и экспериментальных групп разных видов, при равном соотношении полов в каждой группе. Эксперимент продолжался 60 дней. В ходе эксперимента отмечались выживаемость животных (доля оставшихся в живых от исходного числа), размножение и особенности поведения в обеих группах, в том числе поедаемость корма. Размножающиеся самки с приплодом оставались в общем гнезде. По завершении опытов все выжившие животные были забиты и подвергнуты детальному морфофизиологическому, гистологическому и цитогенетическому обследованию по принятым методикам [Шварц и др., 1968; Кононский, 1976; Дарлингтон, Ла Кур, 1980 и др.].

В соответствии с методом морфофизиологических индикаторов использованы как показатель относительной массы тела (отношение массы тела к кубу его длины), так и индексы основных органов грызунов (сердце, печень, почки, надпочечники, селезенка). Из гематологических показателей измерялось количество гемоглобина в крови грызунов. Гистологические исследования проведены согласно общепринятым методам [Buske, 1994]. Изучение цитогенетических особенностей проводили с помощью пикнотического теста: учитывали все типы дегенерации ядра, связанные с отставанием хроматиновой сети или отдельных ее составляющих от ядерной оболочки и слипанием ее в гомогенную массу.

## Результаты и обсуждение

В контрольной группе мышей, содержащихся смешанными группами, отмечены 3 приплода новорожденных (по 3, 4 и 7 зверьков в каждой). Среди забитых зверьков в конце эксперимента 50 % контрольных самок были беременны (общее количество эмбрионов 17). В группе мышей, получавшей в пищевом рационе нефть, репродуктивные процессы полностью отсутствовали. Гибель животных в контрольной группе (без учета родившихся в ходе эксперимента) составила всего 12,5, в подопытной – 37,5 %.

Среди белых крыс размножение не отмечалось ни в опытном, ни в контрольном варианте. Гибель животных к концу эксперимента у опытных белых крыс составила 22,2 %, а у контрольных отсутствовала.

*Поведение и динамика смертности.* Динамика смертности у обоих видов грызунов, получавших в рационе сырую нефть, свидетельствует о прямой зависимости смертности от экспозиции при нефтяной диете, при этом зависимость носит нелинейный характер: при данных концентрациях нефти гибель не отмечается в течение первого месяца, но к концу второго резко нарастает. После месячного введения сырой нефти белым мышам отмечают и достоверные различия с контролем по ряду биохимических показателей [Ayalogu et al., 2001].

При этом нужно отметить, что мыши демонстрируют более высокую смертность, даже получая с пищей нефть с меньшим содержанием токсичных веществ, по сравнению с крысами.

Отмечены и существенные отличия в поведении животных, получающих нефть, по сравнению с контрольными (в условиях «открытого поля»): они характеризовались меньшей подвижностью, вялостью; как правило, слабее контактировали с другими особями, не делали попыток скрыться от наблюдателя. Если в контроле зверьки при воздействии низких температур собирались в одно гнездо, то экспериментальные животные такой реакции не проявляли – находились по одной, реже по две особи в гнезде.

При внешнем осмотре экспериментальных зверьков были отмечены существенные морфологические отличия их от зверьков контрольной группы. Шерстный покров стал более редким: сквозь него просматривается кожа, остевые волосы частично слипались, общий тон окраски стал более темным, несмотря на то что животные постоянно чистили шерсть. У половины зверьков по всему телу образова-

лись опухоли и язвы диаметром до 10 мм, у 30 % зверьков отмечен некроз тканей кончика хвоста.

*Индексы внутренних органов и гистопатология.* При сравнении морфофизиологических показателей белых мышей, получавших в пищевом рационе сырую нефть (время экспозиции 2 мес.), и контрольных отмечены достоверные различия по большинству рассматриваемых признаков как у самцов, так и у самок (табл. 1).

Имеет место увеличение индексов сердца, печени, почки, селезенки, тенденция к увеличению индекса надпочечника, достоверное снижение уровня гемоглобина в крови у экспериментальных животных по сравнению с контрольными. Отдельные животные страдали от изъязвления кишечного эпителия. Все это, учитывая различия в задаваемых уровнях загрязнения пищи нефтью и демографической характеристике экспериментальной группы животных, вполне согласуется с данными, полученными в ходе лабораторных экспериментов, других авторов [Шапошников и др., 1980]. Необходимо отметить, что самки продемонстрировали большую чувствительность к нефти, чем самцы.

*Печень.* Гистологическое исследование печени белых мышей показало, что у 20 % подопытных животных наблюдаются цирротические изменения в тканях печени, в некоторых случаях на печени отмечены язвы и участки с нетипичной окраской зеленого цвета.

При микроскопическом изучении были обнаружены изменения как в объеме ядер, так и в размерах гепатоцитов: средний объем ядер в опыте составил  $139\ 915 \pm 28\ 007,1$  мкм<sup>3</sup>, или 156 % от контроля ( $89\ 475 \pm 26\ 053,7$  мкм<sup>3</sup>), среднее количество гепатоцитов на тестовую площадку – 56 % от контроля; все различия достоверны при  $P < 0,01$ . Сходные результаты были получены и для белых крыс после двухмесячной диеты с добавлением сырой нефти:

средний объем ядер гепатоцитов –  $107\ 479 \pm 586,5$  мкм<sup>3</sup>, или 158 % от контроля ( $67\ 758,9 \pm 514,8$  мкм<sup>3</sup>), а среднее количество клеток на тестовую площадку – 59 % от контрольного уровня. Наблюдаемое явление при действии различных ядов и компонентов нефти отмечается и другими авторами [Вермель, 1935; Хесин, 1967; Ayalogu et al., 2001 и др.] и свидетельствует об увеличении функциональной активности гепатоцитов. Об этом же может говорить и увеличение индекса печени в опыте, так как индукция микросомальных монооксидаз часто сопровождается образованием новых гладких мембран эндоплазматического ретикулаума и увеличением массы печени [Meldolesi, 1967; Schulte-Hermann et al., 1968; Böhn, Moser, 1976].

*П о ч к и .* Кормление белых крыс пищей, слабо загрязненной нефтью, вызывало увеличение массы почки в 1,8 раза, при этом увеличивались площади сечений проксимальных (в 1,67 раза) и дистальных (в 1,7 раза) канальцев нефрона. Просвет почечного тельца у опытных зверьков становился мало различимым из-за переполнения петель капилляров форменными элементами крови. В прямых отделах нефрона наблюдалось набухание клеток. Просвет канальцев был плохо виден из-за размытой щеточной каемки. Ядра клеток увеличивались: у контрольных животных их объем составлял  $635\ 503 \pm 1,2$ , у подопытных –  $741\ 231 \pm 2,1$  мкм<sup>3</sup>. Все это может свидетельствовать о неспецифической реакции органа на увеличение функциональной нагрузки на него при отсутствии признаков острого токсического воздействия.

*Надпочечники.* Отмечено достоверное увеличение массы надпочечников экспериментальных белых крыс по сравнению с контролем ( $16,7 \pm 0,2$  и  $14,3 \pm 0,3$  мг соответственно). Об этой реакции животных при неблагоприятных воздействиях в условиях стресса сообщают многие исследователи (Коврижко, Олейник,

Таблица 1. Влияние сырой нефти на некоторые морфофизиологические показатели белых мышей после двухмесячной экспозиции в эксперименте ( $M \pm m$ )

Показатель	Самцы		Самки	
	Опыт (5)	Контроль (4)	Опыт (5)	Контроль (6)
Относительная масса тела, г/см <sup>3</sup>	$0,34 \pm 0,004$	$0,33 \pm 0,005$	$0,34 \pm 0,005$	$0,35 \pm 0,011$
Индекс сердца, ‰	$7,5 \pm 0,5$	$5,7 \pm 0,4^*$	$8,2 \pm 0,5$	$5,9 \pm 0,5^{**}$
Индекс печени, ‰	$88,0 \pm 6,4$	$76,0 \pm 11,6$	$107,0 \pm 13,8$	$65,0 \pm 4,1^*$
Индекс почки, ‰	$10,0 \pm 0,7$	$8,9 \pm 1,1$	$10,3 \pm 0,8$	$6,7 \pm 0,5^{**}$
Индекс надпочечника, ‰	$0,46 \pm 0,20$	$0,23 \pm 0,02$	$0,58 \pm 0,23$	$0,28 \pm 0,04$
Индекс селезенки, ‰	$19,6 \pm 5,2$	$13,9 \pm 4,0$	$16,0 \pm 3,4$	$7,6 \pm 1,1^*$
Кол-во гемоглобина, г/л	$92,7 \pm 3,7$	$123,0 \pm 9,7^*$	$78,7 \pm 7,0$	$100,7 \pm 6,7^*$

Примечание. В скобках – n. Здесь и в табл. 2, 3: различия между опытом и контролем достоверны: \* – при  $P < 0,05$ ; \*\* – при  $P < 0,01$ ; \*\*\* – при  $P < 0,001$ .

1984; Кириллов, 1994 и др.). Однако в наших экспериментах таких проявлений сильного стресса, как кровоизлияния, деструкция клеток, истончение стенок сосудов и др., замечено не было, но происходили изменения таких морфометрических показателей, как площадь сечения ядер, ширина зон надпочечника, доля расширенных капилляров, ядерно-плазматическое отношение и митотический индекс, косвенно свидетельствующих об активизации функций надпочечника и роли его гормонов в адаптации организма к условиям стресса.

*Иммунная и кроветворная системы.* Нефтяное загрязнение пищи даже в течение 60 дней вызывает у белых крыс существенные изменения морфологии лимфатических фолликулов селезенки: отмечено достоверное снижение содержания лимфоидных клеток на тестовую поверхность во всех исследуемых зонах белой пульпы. В периартериальной тимусзависимой зоне количество лимфоидных клеток на 21,3 % ниже, чем в контроле, в тимуснезависимой мантийной они составили 62,9 %, в маргинальной зоне опустошение достигло 18,2 % по сравнению с контролем. Опустошение лимфатических фолликулов происходит, по мнению Г. Н. Крыжановского [1985], за счет усиленной миграции Т- и В-лимфоцитов, осуществляющих роль «срочной помощи» в поддержании тканевого гомеостаза и в элиминации поврежденных или перерожденных клеток. Эти клетки играют существенную роль в регенерации тканей. Речь идет о трофической и пластической стимуляции регенерирующих паренхиматозных клеток, о передаче им лимфоцитами дополнительного или необходимого пластического материала в виде нуклеиновых кислот и белков в условиях стресса.

В ходе эксперимента у животных наблюдали нарушения процессов кроветворения. У белых крыс, находившихся на нефтяной диете один месяц, снижалось количество эритроцитов в периферической крови до  $5,98 \pm 0,30 \times 10^{12}$  клеток/л с  $8,26 \pm 0,16 \times 10^{12}$  клеток/л у интактных животных, при этом концентрация гемоглобина в крови снижалась до  $103,17 \pm 2,4$  с контрольного уровня  $134,83 \pm 1,9$  г/л, что составило 76,5 %. Сходные результаты получены для белых мышей при двухмесячной экспозиции. К концу 60-дневной экспозиции у белых крыс имел место ретикулоцитоз ( $100,59 \pm 1,04$  % ретикулоцитов по отношению к количеству эритроцитов в периферической крови при  $43,38 \pm 0,86$  % в контроле), свидетельствующий о значительном повышении реактивности последних этапов кроветворного процесса. При оценке состояния костномозгового крове-

творения были выявлены следующие особенности: количество проэритробластов составляло 77,3 % от контроля, базофильных и полихроматофильных эритроцитов, полихроматофильных и оксифильных нормобластов соответственно 83,9, 89,1, 106,5 и 22,0 % от контроля (различия достоверны).

Полученные результаты демонстрируют наличие активной реакции системы эритрона костного мозга на нефтяное загрязнение, свидетельствуют об ингибирующем влиянии нефти на пролиферирующие кроветворные клетки, о повышении реактивности последних стадий кроветворения, о быстром переходе клеток последней генерации миелокариоцитов (оксифильных нормобластов) в ретикулоцитарный ряд.

Как у контрольных, так и у подопытных белых мышей отмечено неравномерное распределение Гомори-положительного нейросекреторного материала по заднему нейрогипофизу с концентрацией его вокруг капилляров. Однако у подобных животных эта концентрация выражена более отчетливо, и содержание нейросекреторного материала в заднем нейрогипофизе ниже (2 балла по 5-балльной шкале), чем в контроле (4 балла). Капилляры заднего нейрогипофиза у подопытных животных большей частью расширены и содержат форменные элементы крови [Елифанов и др., 1991]. Снижение содержания Гомори-положительного нейросекреторного материала в срединном возвышении и задней доле гипофиза отмечено, в частности, Е. Г. Берлингером с соавторами [1991] при свинцовой интоксикации. Все это позволяет предположить, что в процессе адаптации организма к условиям продолжительного нефтяного загрязнения слабой степени гипоталамические нонапептиды, выделяющиеся из заднего нейрогипофиза в общий кровоток, играют значительную роль.

*Генотоксические эффекты.* Особый интерес представляют данные о генотоксическом действии сырой нефти, оцененные пикнотическим тестом. О повышении доли пикнозов под действием некоторых неспецифических факторов сообщают Ж. Браше (1969), А. И. Атабекова и Е. И. Устинова [1987]. В настоящее время пикнотическим (микроядерным) тестом активно пользуются для выявления генотоксических агентов [Пшеничнов, 1991; Liu Yongchang et al., 1991 и др.]. В наших экспериментах использовался пикнотический индекс клеток кишечного эпителия и печени беспородных белых крыс. В обоих случаях отмечено достоверное увеличение количества пикноморфных клеток и их доли у животных, получавших в рационе сырую нефть на протяжении одного месяца (табл. 2 и 3).

Таблица 2. Пикнотические индексы клеток кишечного эпителия белых крыс, получавших с пищей сырую нефть, и в контроле

Показатель	Контроль	Опыт (самцы)	Опыт (самки)
Общее количество проб, шт.	23	40	41
Общее число тестируемых клеток, шт.	7900	13500	10911
Пикнотический индекс, %	2,3 ± 0,17	3,5 ± 0,20***	5,6 ± 0,36***
Коэффициент вариации пикнотического индекса, %	34,7	35,4	41,5

Примечание. Здесь и в табл. 3: для пикнотического индекса приводится  $M \pm m$ .

Таблица 3. Пикнотические индексы клеток печени белых крыс, получавших с пищей сырую нефть, и в контроле

Показатель	Контроль	Опыт (самцы)	Опыт (самки)
Общее количество проб, шт.	46	37	87
Общее число тестируемых клеток, шт.	3832	3364	7202
Пикнотический индекс, %	9,0 ± 0,73	14,1 ± 0,86***	17,8 ± 0,60***
Коэффициент вариации пикнотического индекса, %	54,5	36,9*	31,4***

При этом самки демонстрируют большую чувствительность к нефтяному загрязнению, чем самцы, как и в случае с морфофизиологическими показателями беспородных белых мышей, получавших нефть в диете в течение двух месяцев.

Учитывая самостоятельное индикационное значение показателей варьирования отдельных параметров, показанное многими авторами, интересно отметить, что, анализируя величины индекса надпочечника у самок опытной и контрольной групп белых мышей, мы не обнаружили достоверных различий, однако по характеру варьирования этого признака самки из опытной серии существенно отличаются от контрольных: коэффициенты вариации соответственно равны  $87,4 \pm 27,6$  и  $33,9 \pm 9,8$  (различия по t-критерию Стьюдента и F-критерию Фишера достоверны соответственно при  $P < 0,05$  и  $P < 0,01$ ). Принимая во внимание тот факт, что в опытной серии не было беременных самок, для которых характерно естественное повышение индекса надпочечника в этот период (а в контроле они составляли 50 %), можно утверждать, что большая вариабельность этого показателя в опыте целиком связана именно со стрессом, вызванным нефтяным загрязнением.

Понятным является и снижение при нефтяной диете коэффициента вариации пикнотического индекса клеток печени белых мышей, наименьшего у самок, несущих наибольшую

физиологическую и функциональную нагрузку, при тенденции к повышению его в клетках кишечного эпителия, играющего роль своеобразного «расходного материала».

Существенный момент при решении вопроса о разнородности отдельных групп животных – изучение корреляций разных частей организма в процессе увеличения размеров особей – так называемый аллометрический рост. В ходе наших исследований по зависимости веса надпочечников от веса тела для самок опытной и контрольной групп были построены аллометрические уравнения [Елифанов и др., 1996], которые позволили отметить разнонаправленный характер корреляций в том и другом случае: опыт:  $Y = 506,6X^{0,440}$ , контроль:  $Y = 0,003X^{0,737}$ .

Показательным является и характер распределения величин того или иного признака, степень отклонения распределения от нормального закона. В качестве примера можно привести характер распределения относительного веса тела самок контрольной и опытной групп (практически не отличающихся по средним величинам): если в первом случае это распределение не отличается от нормального, то во втором имеет место отрицательный эксцесс ( $E_x = -1,3 \pm 0,75$  при  $t_{ex} = -1,73$ ), характеризующий плосковершинное распределение. Биологический смысл этого феномена может быть связан с наличием возмущающего фактора, не являющегося по своей величине лимитирующим для данного показателя (когда преимущественного накопления вариант у модального значения не происходит).

Сравнивая эффект, вызванный экспериментальным воздействием сырой нефти на организм животных в лабораторных условиях, и данные исследований влияния нефтяного загрязнения на морфофизиологические особенности мелких млекопитающих в природных биогеоценозах Среднего Приобья, можно констатировать однотипность реакций, имеющих место в том и другом случае. В. М. Шапошников с соавторами [1980] считают, что однотипная реакция грызунов на нефтепромыслах и в лаборатории указывает на непосредственное влияние нефтяного загрязнения, а изменения, выявленные у животных только в районе нефтепромысла, вызваны сопутствующими нефтедобыче факторами (шум, химические реагенты, изменение уровня грунтовых вод, осветление в результате рубок леса и вываливания деревьев и др.).

Принимая это во внимание, можно предположить, что изменения в морфофизиологии мелких млекопитающих нефтезагрязненных территорий вызваны, в первую очередь, непо-

средственным действием сырой нефти и сопутствующих ей химических веществ.

## Заключение

Сырая нефть вызывает неспецифическую реакцию организма мелких млекопитающих на загрязнение, являющееся стрессовым фактором для животных, что согласуется с результатами, полученными ранее в природе на нефтезагрязненных территориях [Гашев, 1992]. В эксперименте у грызунов, содержащихся на нефтяной диете, отмечается повышение интенсивности метаболизма, вызывающее увеличение индексов сердца и почек. Отмечена напряженность энергетического обмена, проявляющаяся в гипертрофии печени, возможно, за счет резервирования гликогена, что характерно для стрессовой ситуации, подтверждающейся увеличением у экспериментальных зверьков индекса надпочечников.

Токсические эффекты подтверждаются одновременным увеличением индекса селезенки и снижением гемоглобина в крови у животных, получающих с пищей и водой сырую нефть. Также отмечены нарушения процессов кроветворения, усиление миграции лимфоцитов в кровотоки, увеличение доли пикноморфных клеток в различных тканях, свидетельствующие о прямом токсическом действии сырой нефти.

При употреблении с пищей сырой нефти можно говорить об общем нарастании стрессовости ситуации и об адаптации организма зверьков, специфично протекающих у разных видов грызунов и у разных поло-возрастных групп одного вида. В адаптации к стрессовым ситуациям, создаваемым нефтяным загрязнением, активное участие принимает гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая система грызунов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта в рамках Постановления Правительства РФ № 220.

## Литература

Абдуллаев М. Д., Бейбутова Т. С. Об антитоксическом действии нефтяного ростового вещества // Нефтяные удобрения и стимуляторы в сельском хозяйстве: Материалы совещания, 22–25 янв. 1963 г. Баку: АН АзССР, 1965. С. 547–549.

Атабекова А. И., Устинова Е. И. Цитология растений. М.: Агропромиздат, 1987. 244 с.

Берлингер Е. Г., Данилова О. А., Чекунова М. П. Влияние свинцовой интоксикации на гипоталамо-гипофизарный нейросекреторный комплекс крыс // Материалы IV Всесоюз. конф. «Эндокринная система организма и вредные факторы окружающей среды». Л., 1991.

Браше Ж. Биохимическая цитология. М., 1960. 516 с.

Вермель Е. М. Величина, размножение и рост клеток // Рост животных. М., 1935. С. 107–163.

Гашев С. Н. Влияние нефтяных разливов на фауну и экологию мелких млекопитающих Среднего Приобья // Экология. 1992. № 2. С. 40–48.

Гашев С. Н., Елифанов А. В., Соловьев В. С., Гашева Н. А. Влияние сырой нефти на морфофункциональное состояние организма беспородных белых мышей и крыс // Бюллетень МОИП. 1994. Т. 99, вып. 6. С. 23–29.

Дарлингтон С. Д., Ла Кур Л. Ф. Хромосомы. Методы работы. М., 1980. 183 с.

Елифанов А. В., Гашев С. Н., Ильюк Е. С. и др. О некоторых механизмах адаптации мелких млекопитающих к нефтяному загрязнению // Научный вестник ТГУ (биология). Тюмень: ТюмГУ, 1996. С. 76–79.

Елифанов А. В., Курочкина О. И., Гашев С. Н. Влияние нефтяного загрязнения на состояние заднего нейрогипофиза белых мышей // Материалы IV Всесоюз. конф. «Эндокринная система организма и вредные факторы окружающей среды». Л., 1991. С. 84.

Канцерогенные вещества: Справочник / Под ред. В. С. Турусова. М.: Медицина, 1987. 334 с.

Караев А. Н. Механизм действия нефтяного ростового вещества на животный организм // Нефтяные удобрения и стимуляторы в сельском хозяйстве: Материалы совещания, 22–25 янв. 1963 г. Баку: АН АзССР, 1965. С. 21–29.

Кириллов О. И. Стрессовая гипертрофия надпочечников. М.: Наука, 1994.

Коврижко Н. М., Олейник Н. К. Функциональная морфология надпочечников при стрессе на фоне введения транквилизаторов // Морфология. Вып. 9. Киев, 1984.

Кононский А. И. Гистохимия. Киев, 1976. 280 с.

Крыжановский Г. Н. Стресс и иммунитет // Вестн. АМН СССР. 1985. № 8. С. 3–12.

Кулябко А. А., Овсянникова Ф. В. О физиологическом действии нефти и ее продуктов // Записки Императорской Академии Наук. 1899. Т. VIII, № 9. С. 1–19.

Международные рекомендации по проведению медико-биологических исследований с использованием животных // Ланималогия. 1993. № 1. С. 29.

Моисеенко Т. И., Гашев С. Н., Петухова Г. А. и др. Биологические методы оценки качества вод. Ч. 2: Биотестирование // Вестник Тюменского гос. ун-та. 2010. № 7. С. 39–50.

Панов Г. Е., Петряшин Л. Ф., Лысяный Г. Н. Охрана окружающей среды на предприятиях нефтяной и газовой промышленности. М.: Недра, 1986. 244 с.

Пшеничников Р. А. Современные тест-системы выявления мутагенов окружающей среды. Свердловск, 1991.

Сабирова Г. В., Маньковская Н. К. Производство нефтяного ростового вещества. Киев: Техника, 1966.

Хесин Е. Я. Функциональная морфология ядер. М., 1967.

Черкашин С. А. Отдельные аспекты влияния углеводородов нефти на рыб и ракообразных // Вестник ДВО РАН. 2005. № 3. С. 83–91.

Шапошников В. М., Кирюшкина М. Н., Симонова Г. П., Блинов С. П. Грызуны как возможные индикаторы неф-

тяного загрязнения среды // Грызуны: Материалы 5-го Всесоюз. совещ. М.: Наука, 1980. С. 462–464.

*Шварц С. С., Смирнов В. С., Добринский Л. Н.* Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных. Свердловск: УФАКН, 1968. 387 с.

*Ayalogu O. E., Igboh N. M., Dede E. B.* Biochemical Changes in the Serum and Liver of albino rats exposed to Petroleum Samples (gasoline, kerosene, and crude Petroleum) // J. Appl. Sci. Environ. 2001. Vol. 5 (1). P. 97–100.

*Böhn N., Moser R.* Reversible Hyperplasie und Hypertrophie der Mänseleber unter funktioneller Belastung mit Phenobarbital // Beitr. Pathol. 1976. Bd. 157, N 3.

*Bucke D.* Histology. Methods for the Microbiological Examination of Fish and Shellfish. Ellis Horwood Ltd., Chichester, 1994. P. 69–97.

CCME (Canadian Council of Ministers for the Environment). Canada-wide Standard for Petroleum Hydrocarbons (PHC) in Soil: Scientific Rationale. Supporting Technical Document. Canadian Council of Ministers for the Environment. 2008. 383 p.

*Conaway C. C., Schreiner C. A., Cragg S. T.* Mutagenicity evaluation of petroleum hydrocarbons // Appl. Toxicol. Petrol. Hydrocarbons. Princeton, N. Y., 1984. P. 89–107.

*Coomes R. M., Hazer K. A.* Statistical analyses of crude oil and shale oil carcinogenic test data // Ibid. P. 167–186.

*Draft Toxicological Intake Values for Priority Contaminants in Soil.* Wellington: Ministry for the Environment, 2010. 168 p.

*Guidance on the application of Globally Harmonized System (GHS) criteria to petroleum substances.* Version 1, 17 June, 2010. 27 p.

*Hall Russel J., Coon Nancy C.* Interpreting residues of petroleum hydrocarbons in wildlife tissues // US Dep. Inter., Fish and Wildlife Serw. 1988. N 15. P. 1–7.

*Holland J. M., Frome E. L.* Statistical evaluations in the carcinogenesis bioassay of petroleum

hydrocarbons // Appl. Toxicol. Petrol. Hydrocarbons. Princeton, N. Y., 1984. P. 151–166.

*Lewis S. C., King R. W., Cragg S. T., Hillman D. W.* Skin carcinogenic potential of petroleum hydrocarbons: crude oil, distillate fractions and chemical class subfractions // Ibid. P. 139–150.

*Liu Guocheng.* How can the complexity result in the stability in ecosystem // J. North-East Forest. Univ. 1991. 19, N 6. P. 9–14.

*Meldolesi I.* On the significance of the hypertrophy of the smooth endoplasmic reticulum in liver cells after administration of drugs // Biochem. Pharmacol. 1967. Vol. 16. P. 125–129.

*Nishimoto S., Yamawaki M., Kitamura S.-I. et al.* Risk Assessment of Heavy Oil on Terrestrial Mammals // Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry. Biological Responses to Chemical Pollutants. 2008. P. 269–274.

*Nishimoto S., Yamawaki M., Akiyama K. et al.* Severe abnormalities in the reproductive organs of mice caused by chemical substances contained in heavy oil // The Journal of Toxicological Sciences. 2009. Vol. 34, N 2. P. 239–244.

*Ottway S. M.* The comparative toxicity of crude oils // The ecological effects of oil pollution on littoral communities. London: Institute of Petroleum, 1971. P. 172–180.

*Rahimtula A. D., O'Brien P. J., Payne J. F.* Induction of xenobiotic metabolism in rats in exposure to hydrocarbon-based oils // Appl. Toxicol. Petrol. Hydrocarbons. Princeton, N. Y., 1984. P. 71–79.

*Rosmarie A. F.* Toxicity summary for benzo[a]pyrene // Oak ridge reservation environmental restoration program. 1994. 10 p.

*Schulte-Hermann R., Thom R., Sohlsht I., Kozansky W.* Zahl und Ploidiegrad der Zellkerne der Leber unter dem Einfluss körperfremder Stoffe // Naunyn-Schmiedebergs Arch. Pharmacol. Und Experimental. Pathol. 1968. Bd. 261, H. 1.

*Test plan crude oil category / High production volume (HPV) chemical challenge program,* November 21, 2003 Crude Oil Consortium Registration #1100997.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### **Елифанов Андрей Васильевич**

проректор Тюменского государственного университета,  
к. б. н., доцент  
Тюменский государственный университет  
ул. Семакова, 10, Тюмень, Россия, 625003  
эл. почта: andel@newmail.ru

### **Гашев Сергей Николаевич**

зав. каф. зоологии и ихтиологии, д. б. н., профессор  
Тюменский государственный университет  
ул. Пирогова, 3, Тюмень, Россия, 625043  
эл. почта: gsn-61@mail.ru  
тел.: (3452) 756249

### **Моисеенко Татьяна Ивановна**

зав. Отделом биогеохимии и экологии, чл.-корр. РАН, д. б. н., профессор  
Институт геохимии и аналитической химии РАН  
им. В. И. Вернадского  
ул. Косыгина, 19, Москва, ГСП-1, Россия, 119991  
эл. почта: moiseenko.ti@gmail.com

### **Elifanov, Andrey**

Tyumen State University  
10 Semakov St., 625003 Tyumen, Russia  
e-mail: andel@newmail.ru

### **Gashev, Sergey**

Tyumen State University  
3 Pirogov St., 625043 Tyumen, Russia  
e-mail: gsn-61@mail.ru  
tel.: (3452) 756249

### **Moiseenko, Tatiana**

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry  
19 Kosygin St., 119991 Moscow, GSP-1, Russia  
e-mail: moiseenko.ti@gmail.com