



РАДИОАКТИВНОСТЬ И РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СРЕДЕ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

МАТЕРИАЛЫ III МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

г. Томск, 23–27 июня 2009 г.



РАДИОАКТИВНОСТЬ И РАДИОАКТИВНЫЕ
ЭЛЕМЕНТЫ В СРЕДЕ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

RADIOACTIVITY AND RADIOACTIVE
ELEMENTS IN ENVIRONMENT

Federal Agency for Education
Tomsk Polytechnic University
Russian Academy of Sciences
Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS
Geological Institute, SB RAS
Tomsk Oblast Administration
Department of Natural Resources and Environment Protection
Ministry of Education and Science of Republic of Kazakhstan
Semipalatinsk State Pedagogical University
JSC "Volkovgeologia" NAC "Kazatomprom"



RADIOACTIVITY AND RADIOACTIVE ELEMENTS IN ENVIRONMENT

PROCEEDINGS OF
III INTERNATIONAL CONFERENCE

Tomsk, June 23–27, 2009

Федеральное агентство по образованию РФ
Томский политехнический университет

Российская академия наук
Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН
Геологический институт СО РАН

Администрация Томской области
Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды

Министерство образования и науки Республики Казахстан
Семипалатинский государственный педагогический институт
ОАО "Волковгеология", НАК "Казатомпром"



РАДИОАКТИВНОСТЬ И РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СРЕДЕ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

**МАТЕРИАЛЫ
III МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

г. Томск, 23–27 июня 2009 г.



Томск 2009

УДК 550.42:546.7:504.05(063)
ББК (Г) 24.13
P15



Издание осуществлено при частичной финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
(проект № 09-05-06046-Г)

**Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде
обитания человека.** Материалы III Международной конференции,
г. Томск, 23–27 июня 2009 г. – Томск: STT, 2009. – 758 с.

ISBN 5-93629-358-0

В сборнике докладов конференции обсуждаются актуальные проблемы, связанные с явлением радиоактивности, распространением естественных и техногенных радионуклидов в различных природных средах. Приводятся данные по радиозологическому состоянию отдельных территорий, методам анализа радионуклидов. Освещаются вопросы экономики и перспективы развития ядерной энергетики.

Сборник представляет интерес для геологов, геохимиков, биологов, медиков, экологов и других специалистов, интересующихся проблемами радиогеологии, радиозологии, развитием ядерной энергетики.

**УДК 550.42:546.7:504.05(063)
ББК (Г) 24.13**

Редакционная коллегия:

Л.П. Рихванов – док. геол.-мин. наук, профессор
(главный редактор)
А.К. Мазуров – док. геол.-мин. наук, профессор
С.И. Арбузов – док. геол.-мин. наук, профессор
В.В. Ершов – канд. геол.-мин. наук (отв. редактор)
Е.Г. Язиков – док. геол.-мин. наук, профессор

Рецензенты:

А.М. Адам – докт. тех. наук, профессор
А.В. Мананков – док. геол.-мин. наук, профессор
Н.Н. Ильинсков – док. биол. наук, профессор

Editorial Board:

L.P. Rikhvanov – Dr. geol.-mineral. sci., professor
(Editor-in-Chief)
A.K. Mazurov – Dr. geol.-mineral. sci., professor
S.I. Arbuzov – Dr. geol.-mineral. sci., professor
V.V. Ershov – Csnd. geol.-mineral. sci. (Managing Editor)
E.G. Yazikov – Dr. geol.-mineral. sci., professor

Reviewers:

A.M. Adam – Dr. tech. sci., professor
A.V. Manankov – Dr. geol.-mineral. sci., professor
N.N. Ilyinskoy – Dr. biol. sci., professor

ISBN 5-93629-358-0



9 785936 129358 0

© Томский политехнический университет, 2009
© Оригинал-макет. Оформление обложки. STT™, 2009

МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ УСТОЙЧИВОСТИ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА (ВУРС)

Н.А. Орехова¹, Л.Н. Расина^{1,2}

¹Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия, orehova@ios.uran.ru

²Институт органического синтеза им. И.Я. Пастера УрО РАН, Екатеринбург, Россия, rasina@ios.uran.ru

THE METABOLIC MECHANISMS RADIORESISTANCE OF THE SMALL MAMMALS AT TERRITORY OF EAST URAL RADIOACTIVE TRACE (EURT)

N.A. Orehova¹, L.N. Rasina^{1,2}

¹Institute of Plant and Animals Ecology, Ural Department Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

²Institute of Organic Synthesis, Ural Department Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The metabolic mechanisms of the radioresistance are permit at *Ellobius talpinus* Pall living on the territory of the East Urals Radioactive Trace. The response of metabolic homeostasis by chronic radiation conditions characterized by heterogeneity of the level and direction changes and depend on accumulation ⁹⁰Sr in the bone tissue of mammals. The adaptation strategy of organism difference: stress-realising by more low-concentrations ⁹⁰Sr in the bone tissue, hypobiotic strategy – by more high-concentrations ⁹⁰Sr.

Изучение механизмов устойчивости организма, популяции, видов к радионуклидному загрязнению среды обитания служит основой для решения фундаментальных проблем адаптации, радиоэкологического мониторинга, практических мер реабилитации окружающей среды и защиты здоровья человека. Объектом исследования является обыкновенная слепушонка (*Ellobius talpinus* Pall), отличающаяся от наземных, активно мигрирующих видов грызунов, подземно-колониальным образом жизни и ограниченной способностью к перемещению на большие расстояния [7]. Изолированные поселения на территории ВУРСа позволяют более четко, по сравнению с мигрирующими видами, выделить радиационный фактор длительного, на протяжении ряда поколений, давления среды обитания и изучать механизмы радиоадаптации как на организменном, так и на популяционном уровнях.

Стронций-90, относящийся к остеотропным радионуклидам [19, 20], является основным источником радиоактивного загрязнения территории ВУРСа [15] и как бета-излучатель обуславливает основную дозовую нагрузку на организм [1]. Метаболический гомеостаз, как состояние энергетических и пластических основ радиоустойчивости организма, у слепушонок территории ВУРСа не изучался. Исследования гемопоэза, иммунной системы не выявили патологических сдвигов у животных, а также признаков генетической нестабильности популяции в головной части ВУРСа с наиболее высоким уровнем радионуклидного загрязнения почвы, что авторы рассматривают как результат закрепления радиоадаптивных признаков на протяжении ряда поколений [5, 6, 13].

Цель данной работы – исследование метаболических механизмов устойчивости организма и популяции обыкновенной слепушонки к радиационному фактору.

Материал и методы

Исследования проведены на животных, отловленных в головной части ВУРСа с плотностью загрязнения почвы по ⁹⁰Sr 37 МБк/м² (1000 Ки/км²) и на чистой терри-

тории (Кунашакский р-н, Челябинская обл.), принятой за контроль, с фоновой плотностью 7,4 кБк/м² (0,2 Ки/км²).

Эксперименты проведены на самцах и самках, которые были откалиброваны по физиологическому возрасту, репродуктивному статусу, году отлова, времени содержания в виварии.

Изучали общепринятыми методами биохимические характеристики метаболических процессов по уровню:

Таблица 1. Стандартные отклонения средних значений показателей метаболического гомеостаза обыкновенной слепушонки контрольной и радиационно-загрязненной (ВУРС) территорий

Показатели	Ткани	Значение стандартного отклонения	
		Контроль (n=15)	ВУРС (n=18)
Концентрация общих липидов	Печень	2,76	9,38
	Плазма крови	70	118
Содержание гликогена	Печень	0,98	1,53
Концентрация МДА	Печень	3,81	14,60
	Миокард	5,31	14,20
Концентрация общего белка	Печень	29,4	58,8
	Плазма крови	0,10	0,26
	Головной мозг	10,6	23,6
	Селезенка	20,0	66,7
Активность каталазы	Эритроциты	150	409
Содержание метгемоглобина		0,09	0,54
Содержание гемоглобина		0,38	2,39

Примечание: жирным шрифтом выделены статистически значимые различия с контролем ($p < 0,05$).

- углеводного обмена путем определения содержания гликогена печени [2];
- липидного обмена, учитывая концентрацию общих липидов [9] и вторичных продуктов их перекисного окисления (ПОЛ) – малонового диальдегида (МДА) [17], в печени, миокарде и плазме периферической крови;
- белкового обмена, определяя концентрацию общего белка [2] в печени, головном мозге, селезенке и плазме крови;
- кислородного обеспечения функциональной активности тканей, учитывая в эритроцитах содержание гемоглобина и метгемоглобина [2], активность каталазы [10].

Статистическая обработка данных проведена с использованием пакетов прикладных программ STATISTICA и STATGRAPHICS.

Результаты и обсуждение

Ответная реакция метаболического гомеостаза на длительное обитание в радиационной среде ВУРСа характеризуется гетерогенностью уровня и направленности изменений, что установлено по увеличению, относительно контроля, стандартных отклонений средних значений большинства показателей (табл. 1).

Гетерогенность ответной метаболической реакции коррелирует с уровнем накопления радионуклида в костной ткани животных. Концентрация ^{90}Sr была определена В.И. Стариченко на тех же особях, представлена существенно различающимися средними значениями в соответствии с посемейной организацией поселений и отчасти взаимосвязана, по мнению автора, с неоднородностью загрязнения почвы [18].

Взаимосвязь изменений метаболических процессов

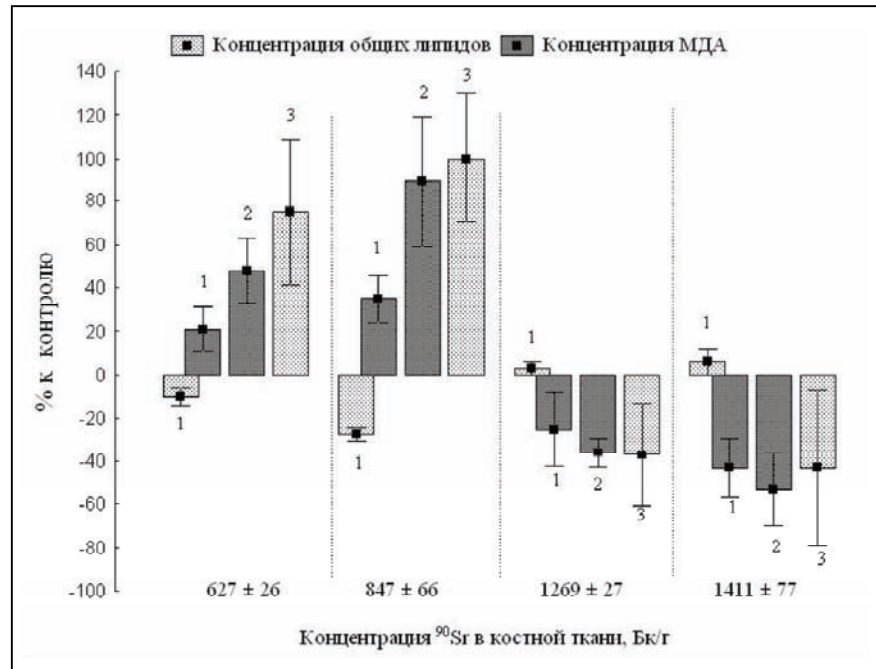


Рис. 1. Изменение показателей липидного обмена в организме обыкновенной слепушонки региона ВУРСа; 1 – печень, 2 – миокард, 3 – плазма крови. Приведены средние значения и их 95%-ные доверительные интервалы

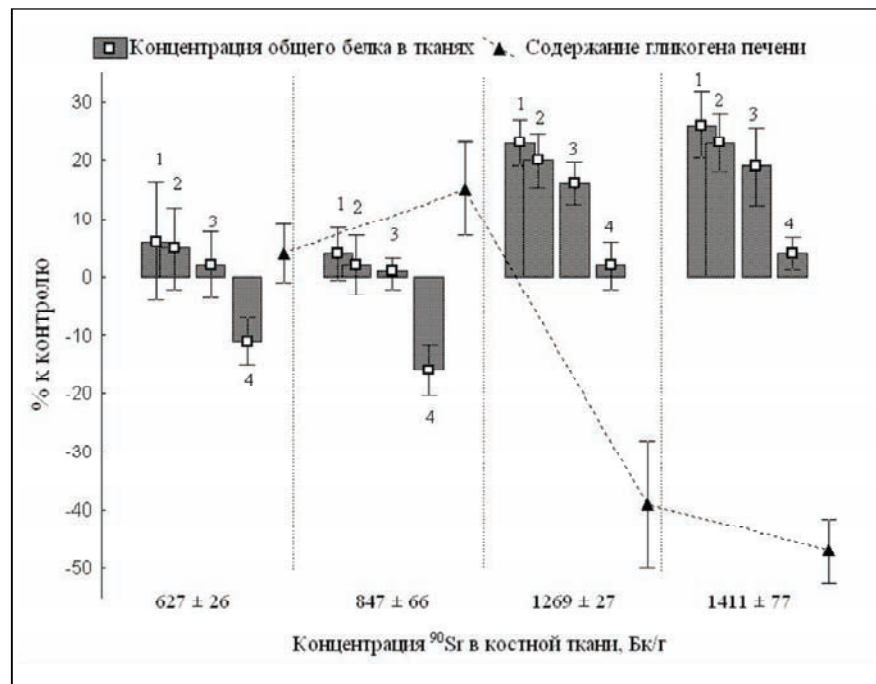


Рис. 2. Изменение содержания гликогена печени и концентрации общего белка в тканях печени (1), головного мозга (2), плазмы периферической крови (3), селезенки (4) обыкновенной слепушонки региона ВУРСа. Приведены средние значения и их 95%-ные доверительные интервалы

с уровнем накопления радионуклида в нашей работе рассмотрена в диапазоне концентраций ^{90}Sr от 627 до 1411 Бк/г и представлена для четырех групп животных – 627±26, 847±66, 1269±27, 1411±77 Бк/г.

Таблица 2. Биохимические характеристики кислород-транспортной функции эритроцитов периферической крови обыкновенной слепушонки контрольной и радиационно-загрязненной (ВУРС) территорий

Показатели, ед. измерения	Контроль (n=15)	ВУРС			
		Концентрация ^{90}Sr в костной ткани, Бк/г			
		627±26 (n=6)	847±66 (n=4)	1269±27 (n=4)	1411±77 (n=4)
Активность каталазы, мкКат/мг гемоглобина	725±83	1081±64	1482±141	545±127	478±104
Содержание метгемоглобина, 10^{-12} г/эритроцит	0,43±0,08	0,34±0,03	0,14±0,06	0,95±0,36	1,48±0,16
Содержание гемоглобина, 10^{-12} г/эритроцит	16,1±0,24	18,8±0,60	22,2±1,02	16,4±1,20	16,5±1,62

Примечание: приведены средние значения и их 95%-ные доверительные интервалы; жирным шрифтом выделены статистически значимые различия с контролем $p < 0,05$.

Липидный обмен, в зависимости от уровня накопления радионуклида, характеризуется двумя типами ответной реакции: при концентрации ^{90}Sr от 627 до 847 Бк/г установлено повышение вклада липидов в окислительный метаболизм, при концентрации ^{90}Sr от 1269 до 1411 Бк/г – ограничение участия липидов в окислительных процессах. Первый тип отличается повышением уровня общих липидов в плазме крови и снижением их в печени на фоне роста концентрации МДА, второй тип ответной реакции имеет противоположную направленность изменений (рис. 1). В результате, при более низких концентрациях радионуклида изменения липидного обмена направлены на рост субстратной основы энергообразующих процессов в тканях, что взаимообусловлено активацией секреторной функции печени, транспортной – плазмы крови, сократительной – миокарда; при более высоких концентрациях – на снижение потребности в липидных источниках энергии, взаимосвязанной с ограничением функциональной активности тканей.

Основополагающим механизмом для функциональной активации является окислительный синтез АТФ, зависящий от кислородного обеспечения. Кислородное обеспечение тканей также изменяется в соответствии с концентрацией радионуклида в костной ткани: от 627 до 847 Бк/г наблюдается его повышение как результат увеличения в эритроцитах уровня гемоглобина и активности каталазы, снижения метгемоглобина (табл. 2); от 1269 до 1411 Бк/г – напротив, его снижение в результате повышения метгемоглобина и снижения активности каталазы как показателей более низкого, чем в контроле, парциального давления кислорода в эритроцитах и ограничения интенсивности оксигенации гемоглобина [3, 11]. В результате, в интервале более низких концентраций ^{90}Sr создается более высокий, относительно контроля, уровень аэробного окислительного метаболизма, обеспечивающий функциональную активацию тканей и органов; в интервале более высоких – более низкий уровень, ведущий к снижению функциональной активности.

Пластическое обеспечение функциональной активности тканей определяется уровнем биосинтеза белка, зависящего от гликолитических процессов как источника промежуточных продуктов для синтеза структурных и ферментных белков [8, 14]. Субстратом гликолитических процессов в функционирующих тканях и органах является гликоген печени, служащий углеводным резервом в организме [4].

Взаимозависимые изменения концентрации общего белка в тканях и содержания гликогена печени характеризуют недостаточность биосинтетических процессов в тканях в более низком диапазоне концентраций ^{90}Sr вследствие ограниченного вклада углеводных резервов в окислительный метаболизм, и рост биосинтетических процессов в тканях на фоне усиления расхода углеводных резервов при более высоких концентрациях радионуклида (рис. 2).

В целом, ответная реакция организма на длительное, на протяжении ряда поколений, радионуклидное воздействие в настоящий период может характеризовать:

- стресс-реализующую стратегию адаптации в интервале более низких концентраций ^{90}Sr в костной ткани животных (627–847 Бк/г), направленную на повышение уровня аэробного окислительного метаболизма с преимущественным вкладом липидов в энергетический гомеостаз, как источника функциональной активации;
- гипобиотическую стратегию в интервале более высоких концентраций ^{90}Sr (1269–1411 Бк/г), основанную на понижении уровня аэробного окислительного метаболизма и вклада липидов в энергопродукцию, с преимущественной активацией анаэробного “гликолитического” пути окисления, как источника субстрата биосинтетических процессов [12, 14, 16].

Стресс-реализующая стратегия адаптации, с ее направленностью на увеличение энергообеспечения функциональной активности клеток и тканей и недостаточностью уровня биосинтетических процессов позволяет рассматривать ее как основу истощения функциональных резервов и преждевременного старения организма. Гипобиотическая стратегия адаптации с направленностью на увеличение уровня биосинтетических процессов, напротив, обеспечивает рост функциональных резервов в организме, способствующих поддержанию стабильности гомеостаза.

Гипобиотическая стратегия адаптации организма в результате большей продолжительности жизни особей при меньшей их функциональной активности формирует радиорезистентность популяции как устойчивость к техногенному фактору, при этом снижается устойчивость популяции к природным факторам среды, как результат использования филогенетически более древних,

в эволюционном плане менее прогрессивных, путей приспособления биоты.

Стресс-реализующая стратегия адаптации в результате меньшей продолжительности жизни вследствие чрезмерного функционирования организма формирует менее эффективную радиорезистентность популяции, но более устойчивую к природным факторам среды.

Сохранность в радиогенной популяции особей с различными стратегиями адаптации свидетельствует о проявлениях дизруптивной формы отбора, обеспечивающей жизнеспособность популяции к действию как антропогенных, так и естественных факторов среды.

Результаты являются базой для формирования адекватных средств и методов коррекции физиологического состояния организма человека в условиях техногенного и, прежде всего, радиационного воздействия с учетом различных стадий и уровней адаптации популяции.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН "Фундаментальные науки – медицине".

Авторы выражают благодарность сотрудникам института экологии растений и животных Григоркиной Е.Б., Захаровой Е.Ю., Любашевскому Н.М., Чибиряку М.В., сотруднику ФГУП ПО "Маяк" Тарасову О.В. за предоставленный полевой материал, Евдокимову Н.Г., Синевой Н.В. за отлов и определение возрастной, посемейной структуры обыкновенных слепушонов.

Литература

1. Бетенков Н.Д., Ипатов Е.Г., Баушева О.П., Любашевский Н.М. // Проблемы экологии и охраны окружающей среды : тез. докл. науч.-практ. семинаров на междунар. выставке "Уралэкология-96". – Екатеринбург, 1996. – С.193–194.
2. Биохимические методы исследования в клинике / под ред. А.А. Покровского. – М. : Медицина, 1969. – 651 с.
3. Блюменфельд Л.А. Гемоглобин и обратимое присоединение кислорода. – М. : Советская наука, 1957. – 139 с.
4. Гепатоцит. Функционально-метаболические свойства / под ред. Л.Д. Лукьяновой. – М. : Наука, 1985. – 267 с.
5. Гилева Э.А. Хромосомная изменчивость у грызунов с территории ВУРСа: межвидовые сравнения // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2002. – Т.42, №6. – С.665–668.
6. Григоркина Е.Б., Пашнина И.А. К проблеме радиоадаптации мелких млекопитающих (экологическая специализация вида, радиорезистентность, гемопоэз, иммунитет) // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2007. – Т.47, №3. – С.371–378.
8. Евдокимов Н.Г. Популяционная экология обыкновенной слепушонки. – Екатеринбург : Изд-во ИЭРиЖ УрО РАН, 2001. – 144 с.
9. Евтодиденко Ю.В., Теплова В.В. Биологическое значение и механизмы реализации эффекта Кребта в быстро пролиферирующих клетках. Роль ионов Ca^{2+} // Биохимия. – 1996. – Т.61, №11. – С.1995–2004.
10. Кейтс М. Техника липидологии. – М. : Мир, 1975. – 322 с.
11. Королук М.А., Иванова Л.И., Майорова И.Г., Токарев В.Е. Метод определения активности каталазы // Лабораторное дело. – 1988. – №1. – С.16–19.
12. Крайнев С.И. О формах каталазы в эритроцитах человека // Биохимия. – 1970. – Т.35, №4. – С.662–669.
13. Кулинский В.И., Ольховский И.А. Две адаптационные стратегии в неблагоприятных условиях – резистентная и толерантная. Роль гормонов и рецепторов // Успехи современной биологии. – 1992. – Т.112, №5–6. – С.697–714.
14. Любашевский Н.М., Стариченко В.И., Гилева Э.А. и др. Новые материалы по популяционно-генетической радиоадаптации мелких млекопитающих на ВУРСе // Экологические проблемы горных территорий : мат. междунар. научной конф. – Екатеринбург : Академкнига, 2002. – С.244–249.
15. Меерсон Ф.З. Адаптация, стресс и профилактика. – М. : Наука, 1981. – 278 с.
16. Никепелов Б.В., Романов Г.Н., Булдаков Л.А. Радиационная авария на Южном Урале в 1957 г. // Атомная энергия. – 1989. – Т.67, Вып.2. – С.74–80.
17. Панин Л.Е. Биохимические механизмы стресса. – Новосибирск : Наука, 1983. – 216 с.
18. Современные методы исследования в биохимии / под ред. В.Н. Ореховича. – М. : Наука, 1964. – 371 с.
19. Стариченко В.И. Накопление ^{90}Sr в костной ткани обыкновенной слепушонки, обитающей в головной части Восточно-Уральского радиоактивного следа // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2004. – Т.44, №3. – С.346–350.
20. Трегубенко И.П., Семенов Д.И. Влияние комплексонов (производных аминокислот, этилендиаминтетрауксусной кислоты и тиомочевины) на поведение стронция, иттрия и церия в организме // Комплексоны (синтез, свойства, применение в биологии и медицине). – Свердловск : Урал. Филиал АН СССР, 1958. – С.96–102.
21. Фрадкин Г.Е. К вопросу о механизмах процессов накопления в организме и выделения из него радиоактивных изотопов щелочноземельных, редкоземельных и тяжелых элементов // Мед. радиология. – 1957. – Т.2, №2. – С.13–18.