УДК 574.474:599.32/.38:[539.16.04+551.577.38] 10.56564/27825264_2026_2_57

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СООБЩЕСТВ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ СРЕДЕ

(материалы доклада в форме расширенной презентации)

Е. Б. Григоркина, Г. В. Оленев

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Представлены результаты сравнительного изучения экологической устойчивости сообществ мелких млекопитающих на действие радиации (обитание в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа – ВУРСа на Южном Урале) и на экстремальное климатическое событие (засуха 2010 г.). Экологическая устойчивость для популяции выражается в поддержании пространственной структуры, обилия, генетического разнообразия; для экосистемы – в сохранении числа видов, их количественных соотношений и взаимосвязей в сообществе в течение некоторого интервала времени. Проанализированы основные ценотические показатели: относительное обилие (численность), доли видов в сообществе, индекс доминирования до (2002–2009 гг.) и после (2010–2023 гг.) засухи на фоне потепления климата в лесостепной зоне Южного Урала.

До настоящего времени значительная часть территории ВУРСа сохраняет высокие концентрации основного радиологически значимого радионуклида ^{90}Sr и его дочернего ^{90}Y во всех компонентах среды и в скелете животных, где он накапливается и является источником облучения. Различия в уровнях радиоактивного загрязнения участков (ВУРС-контроль) – исходная посылка для проверки гипотезы о радиационной природе наблюдаемых биологических эффектов. Актуальные дозовые нагрузки у животных, населяющих зону ВУРСа, существенно превышают установленный дозовый порог (100 мкГр/ч), что обусловливает изменения в системе гемопоэза и иммунитета, увеличение частоты хромосомных аберраций в костном мозге. Нами доказано отсутствие негативного влияния радиации на уровне сообществ. Экстремальная засуха 2010 г. в лесостепной зоне Южного Урала стала одним из редких климатических событий, подтверждена дендрохронологическим индикатором – снижением радиального прироста сосны (Pinus sylvestris). Засуха вызвала лавинообразную трансформацию биотических сообществ (ВУРС-контроль): снижение видового разнообразия локальной фауны за счет элиминации редких и уязвимых видов, замещения одних видов другими, изменения режимов популяционной динамики. Фазовые портреты фоновых видов иллюстрируют стабильность динамики численности популяции малой лесной мыши (S. uralensis), длительную (9 лет) депрессию численности обыкновенной бурозубки (S. araneus); крах численности популяции полевки-экономки (A. oeconomus), замещение влаголюбивой A. oeconomus на обитателя нелесных биотопов обыкновенную полевку (M. arvalis). Видовой состав сообщества может служить надежным индикатором экстремального воздействия. Таким образом, мы стали прямыми свидетелями «эволюционного эксперимента в реальном времени» (цит. по Vasil'ev, 2024), результаты которого позволили сравнить экологическую устойчивость сообществ мелких млекопитающих на действие радиации и экстремальную засуху. Показаны устойчивость сообществ к радиационному фактору и их тотальная беззащитность к аномальной засухе, которая привела к биоценотическому кризису локальной фауны (реорганизации экосистемы) в лесостепной зоне Южного Урала. Долговременный целевой мониторинг позволил уловить погодную аномалию, обнаружить ее пороговый (триггерный) эффект на сообщества и популяции животных, проследить ее отдаленные последствия.

Доклад был представлен на научно-практической конференции с международным участием «Биосферная совместимость атомной энергетики» 3 марта 2026 года (Екатеринбург, Россия)

Ключевые слова: сообщества; популяции; ВУРС, радиация, засуха, пороговый эффект

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СООБЩЕСТВ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ СРЕДЕ

Е. Б. Григоркина, Г. В. Оленев

Институт экологии растений и животных УрО РАН
г. Екатеринбург, РОССИЯ

Научно-практическая конференция с международным участием «Биосферная совместимость атомной энергетики»,

г. Екатеринбург, РОССИЯ

3–4 марта 2026 г.

Слайд 1

Экологическая устойчивость – одна из важнейших характеристик любой сложной системы, характеризует возможность системы противостоять воздействию возмущающих (неблагоприятных) факторов среды для сохранения и поддержания своей структуры в относительно стабильном состоянии на протяжении некоторого отрезка времени.

Экологическая устойчивость для популяции выражается в поддержании пространственной структуры, обилия, генетического разнообразия.

Экологическая устойчивость для экосистемы выражается в сохранении числа видов (неизменность флористического и фаунистического составов), их количественных соотношений и взаимосвязей в данном сообществе в течение некоторого интервала времени (*Розенберг и др., 2023*).

Определения устойчивости: по Ляпунову (устойчивость), Лагранжу (стабильность), Пуассону (периодическая устойчивость), Свирежеву (иерархическая устойчивость), Холлингу (упругость), Флейшману (живучесть), Гнеденко (надежность).

Слайд 2

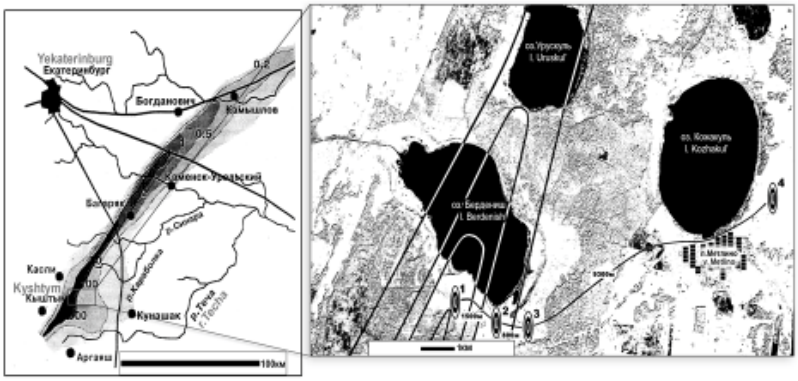
ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – сравнительное изучение экологической устойчивости сообществ и популяций мелких млекопитающих на действие радиации (обитание в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа – ВУРС) и на экстремальное климатическое событие (засуха 2010 г.).

Работа выполнена в зоне ВУРСа – результат Кыштымской радиационной аварии 1957 г. (Челябинская обл., Южный Урал) и на сопредельной фоновой территории (см. карту-схему). Импактный участок (№ 1) находится в 13 км от эпицентра аварии, запас ^{90}Sr в почве составляет 9,7 МБк/м^2 (5,5–15,0); ^{137}Cs – 315 МБк/м^2 (173,6–429,1); ^{239,240}Pu – 29,1 МБк/м^2 (25,0–33,2) *(Current assessment… 2014)*. Сопредельный фоновый участок (№ 4) расположен на расстоянии 9–10 км, плотность загрязнения почвы ^{90}Sr – 44 кБк/м^2.

Мощность дозы хронического облучения животных с короткой продолжительностью жизни (мелкие грызуны) в зоне ВУРСа выше граничных значений дозового диапазона – 0,5–1,1 мГр/сут *(Сазыкина, Крышев, 2024)*, что может приводить к радиационно-индуцированным биологическим эффектам.

Слайд 3

Карта-схема района исследований



Зона ВУРСа – протяженная территория с резко падающим градиентом загрязнения, значительная часть которой сохраняет высокие концентрации основного радиологически значимого радионуклида (^{90}Sr) во всех компонентах среды, в том числе в скелете животных.

Размеры и конфигурация зоны загрязнения неизбежно отражаются на процессах жизнедеятельности населения и формировании биологических эффектов у мелких млекопитающих с высокой миграционной активностью *(Григоркина, Оленев, 2009, 2013, 2018, 2021, 2023, 2024)*.

Слайд 4

Ключевые участки (ВУРС–контроль) рассмотрены в качестве учетной единицы, значения показателей для каждого года оценены по данным 4 – 6 туров отловов. Использованы синтопные и синхронные выборки животных, отловленных в период с 2002 по 2023 г. (весна, лето, осень).

Проанализированы основные ценотические показатели: относительное обилие (численность), доли видов в сообществе, индекс доминирования до (2002 – 2009 гг.) и после (2010 – 2023 гг.) «Великой Восточно-Европейской засухи 2010 г.» (*The hot summer of 2010... 2011; Шмакин и др., 2013*).

Значение последствий засух недооценено (*Subcontinental heat wave..., 2018; Mechanisms of forest resilience... 2022*), что обусловлено редкостью подобных природных катастроф.

Отслеживание пороговых эффектов во времени имеется лишь в единичных исследованиях (*Liu* et al., 2007; *Оленев, Григоркина, 2016; 2026; Delayed threshold response... 2016; Grigorkina, Olenev, 2024; Щипанов, Калинин, 2024*).

Анализ 4 индексов засушливости в летний сезон выявил на территории Южного Урала только два случая экстремальной засухи за период с 1960 по 2019 г. – 1975 и 2010 гг. (*Оценка тенденций… 2020*). В зоне ВУРСа засуха (2010) верифицирована дендрохронологическим индикатором – снижением радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (*Radial growth... 2021*).

Слайд 5

Группа наиболее многочисленных видов в районе исследований до засухи 2010 г.

Малая лесная мышь (*Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811)

Полевая мышь (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771)

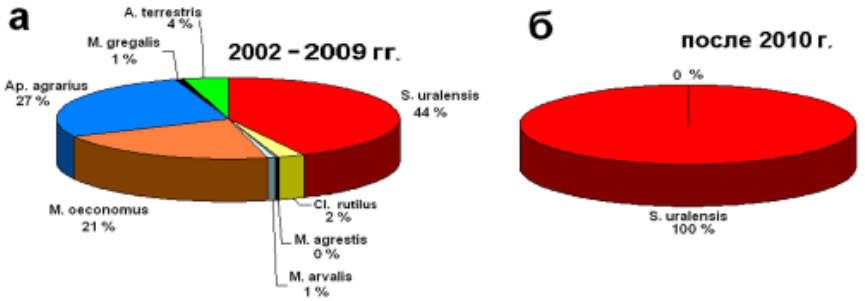
Полевка-экономка (*Alexandromys oeconomus* Pallas, 1776)

Красная полевка (*Clethrionomys rutilus Pallas*, 1779)

Обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758)

Слайд 6

Состав сообществ грызунов до и в начальный период после засухи

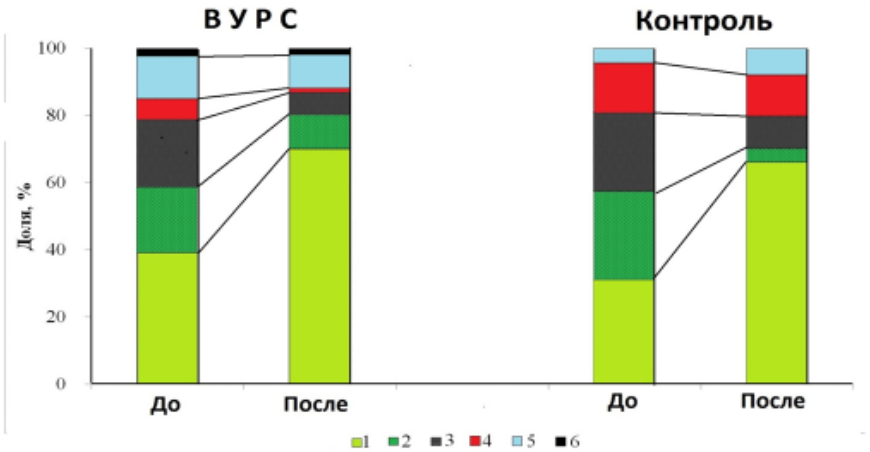


Поливидовое сообщество до засухи (а). Моновидовое – в 2010 – 2011 гг. (б) представлено единственным видом – *S. uralensis* (малая лесная мышь), у которого в год засухи зарегистрированы два феномена (*Григоркина и др., 2019*): 1) **возрастной кросс** – формировании пар за счет особей разного возраста, разных поколений и функциональных группировок (Шварц,*1969*);
2) **истинно зимнее размножение** – несвоевременное созревание и размножение грызунов в зимних условиях с выраженным снежным покровом и отрицательными температурами, происходящее в естественных биотопах при отсутствии доступных кормов антропогенного происхождения (*Оленев, Григоркина, 2014*). Это – активные адаптации (*Чернов, 2008*).

Слайд 7

Соотношение видов мелких млекопитающих до и после засухи на участках ВУРС-контроль

(Grigorkina, Olenev, 2024)



1 – малая лесная мышь, 2 – полевая мышь, 3 – обыкновенная бурозубка; 4 – красная полевка; 5 – серые полевки (обыкновенная, темная, узкочерепная, экономка); 6 – водяная полевка

Слайд 8

Значения информационных индексов видового разнообразия сообществ мелких млекопитающих до и после засухи

	ВУРС		Контроль	
	до	после	до	после
H Шеннона	1,55	1,04	1,48	1,09
J Выровненность	0,80	0,58	0,76	0,67
D Симпсона	3,99	1,95	4,09	2,13
E Выровненность 0–1	0,57	0,32	0,58	0,43

Слайд 9

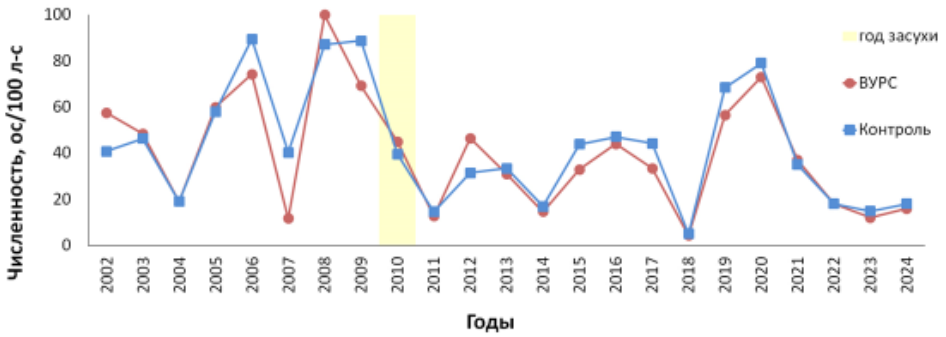
Снижение значений информационных индексов видового разнообразия (Шеннона, Симпсона) и уменьшение индексов выровненности на участках (ВУРС-контроль) в период после 2010 г. указывает на нарушение структуры доминирования и сходное обеднение видового состава (слайд 8) за счет:

– **снижения долевого вклада доминирующих видов (**полевая мышь (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771), обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758), красная полевка (*Clethtionomys rutilus* Pallas, 1779);

– **выпадения редких видов** (пашенная (темная) полевка (*Agricola agrestis* Linnaeus, 1761), обыкновенная полевка (*Microtus arvalis* Pallas, 1778), узкочерепная полевка (Lasiopodomys *gregalis* Pallas, 1779), водяная полевка (*Arvicola amphibius* Linnaeus, 1758), лесная мышовка (*Sisista betulina* Pallas, 1778), мышь-малютка (*Micromys minutus* Pallas, 1971) и исчезновения многочисленной до засухи полевки-экономки (*Alexandromys oeconomus* Pallas, 1776), **реакция которых на экстремальное воздействие превысила популяционные возможности их восстановления** (*Grigorkina, Olenev, 2024*).

Слайд 10

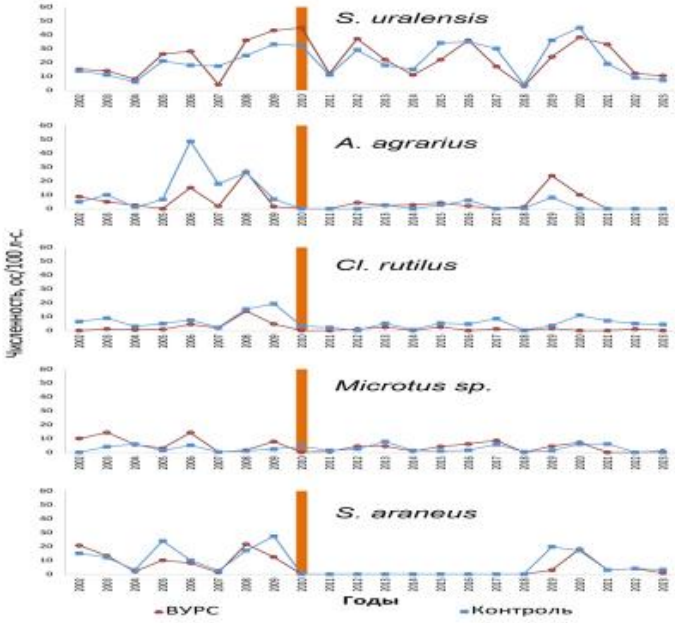
Многолетняя динамика общего обилия населения мелких млекопитающих за период 2002–2024 гг.



- Выявлена высокая положительная корреляция рядов численности мелких млекопитающих на обоих участках за весь срок наблюдений
- $r = 0{,}91$, $p < 0{,}05$ (*Grigorkina, Olenev, 2024*).

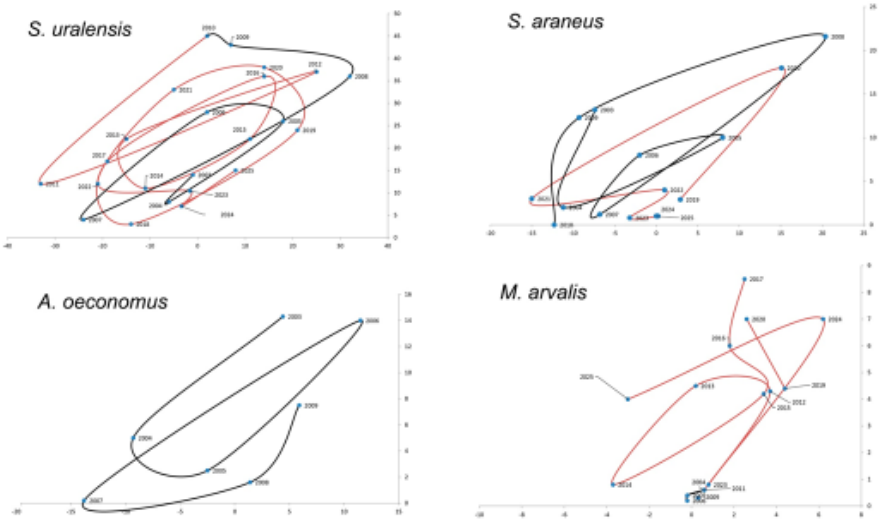
Слайд 11

Многолетняя динамка обилия доминирующих видов до и после засухи



Слайд 12

Фазовые портреты видовых популяций до (черный цвет) и после (красный цвет) засухи



Слайд 13

Фазовые портреты популяций фоновых видов мелких млекопитающих – это индивидуальные реакции видов на экстремальное воздействие (засуха 2010), иллюстрация изменений режимов популяционной динамики в пространстве состояний до засухи (черный цвет) и после нее (красный цвет):

– **стабильность динамики численности** популяции малой лесной мыши (*S. uralensis*) (высокая корреляция между рядами численности *S. uralensis* – r = 0,85, p < 0 ,05);
– **длительная (9 лет) депрессия численности** обыкновенной бурозубки (*S. araneus*);
– **крах численности** популяции полевки-экономки (*A. oeconomus*) (не регистрируется до настоящего времени);
– **замещение** влаголюбивой полевки-экономки (*A. oeconomus)* на обитателя нелесных биотопов – обыкновенную полевку (*M. arvalis*).

– Триггером для изменения популяционных траекторий видов оказалась аномальная засуха. Согласно (*Ims et al., 2008*), эффект воздействия зависит от вида и экосистемы.

Слайд 14

Результаты ANOVA изменения численности сообществ мелких млекопитающих

Показатель	Источник изменчивости					
	локалитет (df = 1)		период (df = 1)		локалитет × период (df = 1)	
	F	p	F	p	F	p
Численность ос/100 л-с	0,16	0,68	9,91	**0,003***	0,01	0,917

Примечание: * отмечено значимое (p < 0,05) различие показателей.

Результаты ANOVA указывают на значимое влияние периода исследований (до и после засухи 2010 г.) на динамику численности сообществ, в то время как влияния локалитета (участки ВУРС-контроль) на суммарное обилие мелких млекопитающих не обнаружено.

Следовательно, актуальные дозы радиации не оказывают негативного влияния на уровне сообществ мелких млекопитающих, населяющих зону влияния ВУРСа (*Grigorkina, Olenev, 2024; Григоркина и др., 2025*).

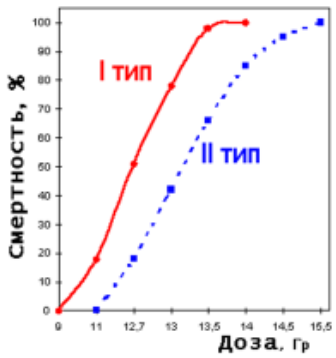
Слайд 15

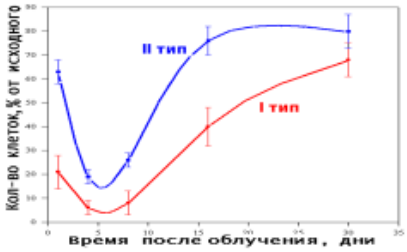
Схема двух альтернативных путей онтогенетического развития мелких грызунов

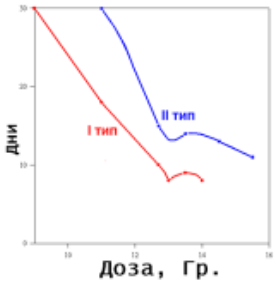
Популяция грызунов как гетерогенная система представлена животными альтернативных типов онтогенеза, различающихся комплексом биологических характеристик и функциями в популяции (*Оленев, 2002*). За основу выделения группировок принимается функциональное состояние животных, связанное со спецификой роста, развития, участия в репродукции. Каждая особь поливалентна, т. е. на базе одного генотипа унаследованы две альтернативные программы развития, под воздействием среды реализуется лишь одна из них.

Слайд 16

Смертность, средняя продолжительность жизни, кинетика лейкоцитов крови у грызунов разных путей онтогенетического развития *(Григоркина и др., 2015)*







Слайд 17

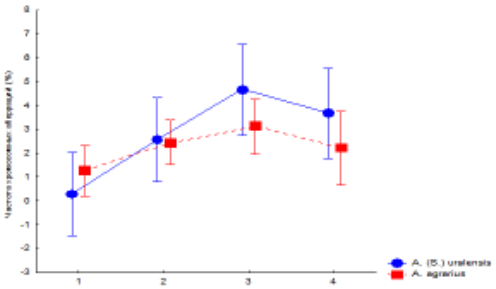
В радиобиологическом эксперименте на грызунах из природной популяции доказано, что радиационное воздействие преломляется через функциональную структурированность популяции – пути (типы) онтогенетического развития (*Оленев, Григоркина, 1998; Григоркина и др., 2015*). Особи, ответственные за поддержание устойчивости популяции в критические периоды ее существования (зима) – несозревающие в год рождения сеголетки, имеющие малую массу тела и низкий уровень метаболизма, более радиорезистентны.

Эти результаты легли в основу исследований широкого спектра биологических эффектов радиационного воздействия у грызунов как индикаторных видов из зон ВУРС-контроль: физиологических (*Григоркина, Пашнина, 2007; Grigorkina, Olenev, 2009*), биохимических (*Расина и др., 2017*), цитогенетических (*Гилева и др., 1996; Ялковская и др., 2010*), молекулярно-генетических (*Ракитин и др., 2016; Григоркина и др., 2024*).

Принципиально: для корректной оценки биологических эффектов необходимо использовать калиброванную по функциональному статусу выборку животных из природной популяции – особей II пути онтогенеза для минимизации вариабельности изучаемых показателей *(Григоркина и др., 2015)*.

Слайд 18

Частота хромосомных аберраций у *S. uralensis* и *A. agrarius* в зависимости от удельной активности ^{90}Sr в скелете животных (*Ялковская и др., 2010*)



Актуальные дозовые нагрузки у мышевидных грызунов в зоне ВУРСа существенно превышают дозовый порог в 100 мкГр/ч, установленный (*НКДАР ООН, 2011*), и составляют 300 мкГр/ч (*Malinovsky et al., 2014*). Зарегистрированы изменения в гемопоэтической и иммунной системах (*Григоркина, Пашнина, 2007*), увеличение частоты хромосомных аберраций в костном мозге (*Наследуемая хромосомная..., 1996; Ялковская и др., 2010*); возрастание параметров генетического разнообразия, оцененных по молекулярным маркерам (*Ракитин и др., 2016; Григоркина и др., 2024*).

Слайд 19

ВЫВОДЫ

- **Получены доказательства экологической устойчивости сообществ мелких млекопитающих к радиационному фактору (обитание в зоне ВУРСа).**
- **Радиационное воздействие преломляется через функциональную структурированность популяции – типы онтогенеза. Эти результаты являются основой для отбора из природных популяций однородных по функциональному состоянию животных для широкого спектра исследований биологических эффектов радиационного воздействия (физиологических, биохимических, цитогенетических, молекулярно-генетических).**
- **Актуальные дозовые нагрузки, получаемые животными в зоне ВУРСа, являются причиной мутационного процесса и увеличения параметров генетического разнообразия, повышенные значения которого зарегистрированы на сопредельном контрольном участке.**

Слайд 20

ВЫВОДЫ

- **Экстремальная засуха 2010 г. привела к нелинейным, внезапным сдвигам в структуре сообществ мелких млекопитающих, которые из поливидовых в год засухи оказались моновидовыми, затем олиговидовыми за счет существенного снижения обилия и долей доминирующих видов, выпадения многочисленной до засухи полевки-экономки и редких видов.**
- **Динамика суммарного обилия мелких млекопитающих на обеих территориях в период после засухи определяется численностью малой лесной мыши, которая оказалась устойчивым видом и сохранила циклическую динамику.**
- **В год засухи у малой лесной мыши зарегистрированы два феномена – возрастной кросс и истинно зимнее размножение, запуск которых носит триггерный характер.**
- **Остальные виды: полевая мышь, красная полевка, серые полевки (обыкновенная полевка) перешли на низкий уровень осцилляций численности. Глубокая депрессия численности насекомоядных (обыкновенная бурозубка) продолжалась 9 лет.**

Слайд 21

Благодарность

- Работа выполнена за счет средств бюджета Института экологии растений и животных УрО РАН (№ 122021000077–6, № 122021000085–1).
- Приносим благодарность канд. биол. наук О. В. Тарасову (Производственное объединение «Маяк») за конструктивное взаимодействие на разных этапах выполнения работы.
- Благодарим сотрудников Института экологии растений и животных УрО РАН О. Р. Гизуллину за помощь в анализе данных, И. В. Полякову – за участие в сборе и камеральной обработке полевого материала.

Слайд 22

Список литературы

1. *Vasil'ev, A. G.* The Evolutionary-Ecological Principle of Turesson-Schwartz and Experimental Aspects of Evolutionary Ecology / A. G Vasil'ev // Russian Journal of Ecology. – 2024. – Vol. 55, No. 6. – P. 628–640. – DOI 10.1134/S1067413624602021.
2. *Розенберг, Г. С.* Иерархия экологических гомеостазов как принцип системологии / Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко, А. Г. Розенберг // Известия Российской Академии Наук. Серия биологическая. – 2023. – Т. 7. – С. 118–128. – DOI 10.31857/S1026347023600231.
3. Current assessment of integrated content of long-lived radionuclides in soils of the head part of the East Ural Radioactive Trace / I. Molchanova, L. Mikhailovskaya, K. Antonov [et al.] // J. Environ. Radioact. – 2014. – Vol. 138, No 6. – 238−248. – DOI 10.1016/j.jenvrad.2014.09.004.
4. *Сазыкина, Т. Г.* Определение граничных уровней возникновения эффектов хронического облучения млекопитающих с разной продолжительностью жизни / Т. Г. Сазыкина, А. И. Крышев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2024. – Т. 64, № 5. – С. 499–509. – DOI 10.31857/S0869803124050057, EDN: LNUNRB.
5. *Grigorkina, E. B.* Radioadaptation of rodents in the zone of local radioactive contamination (Kyshtym Accident, Russia): 50 years on / E. B. Grigorkina, G. V. Olenev // Radioprotection. – 2009. – Vol. 44, No 5. – P. 129–134. – DOI 10/1051/radiopro/20095028.
6. *Григоркина, Е. Б.* Миграции грызунов в зоне влияния Восточно-Уральского радиоактивного следа (радиобиологический аспект) / Е. Б. Григоркина, Г. В. Оленев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2013. – Т. 53, № 1. – С. 76–83. – DOI 10.7868/S0869803112060045.
7. *Григоркина, Е. Б.* Миграции грызунов в зоне локального радиоактивного загрязнения на разных фазах динамики численности и их следствия / Е. Б. Григоркина, Г. В. Оленев // Известия РАН. Серия биологическая. – 2018. – № 1. – С. 123–132. – DOI 10.7868/S0002332918010150.
8. *Григоркина, Е. Б.* Нерезидентная активность бурозубок (*Sorex araneus*, Eulipotyphla): массовое мечение / Е. Б. Григоркина, Г. В. Оленев // Экология. – 2021. – № 4. – С. 316–320. – DOI 10.31857/S0367059721040065.
9. *Григоркина, Е. Б.* Дальние перемещения мелких млекопитающих в осенне-зимний период / Е. Б. Григоркина, Г. В. Оленев // Теоретическая и прикладная экология. – 2023. – № 3. – С. 186–196. – DOI 10.25750/1995-4301-2023-3-186-196.
10. *Grigorkina, E. B.* Long-term changes in the small mammal population of the forest-steppe zone of the Southern Urals caused by extreme drought / E. B. Grigorkina, G. V. Olenev // Russian Journal of Ecology. – 2024. – Vol. 55, № 6. – P. 461–471. – DOI 10.1134/S1067413624602653.
11. The hot summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe / D. Barriopedro, E. M. Fischer, J. Luterbacher [et al.] // Science. – 2011. – № 332. – P. 220–224.
12. *Шмакин, А. Б.* «Великая» засуха 2010 г. на Восточно-Европейской равнине: исторические аналоги, циркуляционные механизмы / А. Б. Шмакин, М. М. Чернавская, В. В. Попова // Известия РАН. Серия географическая. – 2013. – № 6. – 59–75.
13. Subcontinental heat wave triggers terrestrial and marine, multi-taxa responses / K. X., Ruthrof, D. D Breshears, J. B. Fontaine [et al.] // Scientific Reports. – 2018. – Vol. 8, № 1. Article: 13094 – DOI 10.1038/s41598-018-31236-5.
14. Mechanisms of forest resilience / D. A. Falk, P. J. van Mantgem, J. E. Keeley [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2022. – Vol. 512. – P. 120–129. – DOI 10.1016/j.foreco.2022.120129
15. Complexity of coupled human and natural system / J. Liu, T. Dietz., S. C. Carpenter [et al.] // Science. – 2007. – Vol. 317, – № 5844. – P. 1513-1516. – DOI 10.1126/science.1144004.
16. *Оленев, Г. В.* Эволюционно–экологический анализ стратегий адаптации популяций грызунов в экстремальных условиях / Г. В. Оленев, Е. Б. Григоркина // Экология. – 2016. – № 5. – С. 375–381. – DOI 10.7868/S0367059716050097.
17. *Оленев, Г. В.* Экстремальная засуха 1975 года в лесной зоне Южного Урала (Ильменский природный заповедник): динамика популяций грызунов, последствия / Г. В. Оленев, Е. Б. Григоркина // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2026. – Т. 11, № 1. – P. 49–70. – DOI: 10.24189/ncr.2026.005.

18. Delayed threshold response of a rodent population to human-induced landscape change / A. V. Tchabovsky, L. E. Savinetskaya, E. N. Surkova [et al.] // Oecologia. – 2016 – Vol. 182. – P. 1075–1082. – DOI 10.1007/s00442-016-3736-9.
19. *Щипанов, Н. А.* Роль биоразнообразия в обеспечении функционирования экосистем. Сообщение 2. Получение данных, оценка разнообразия состояния и динамики экосистем / Н. А. Щипанов, А. А. Калинин // Известия РАН. Серия биологическая. – 2024. – № 2. – С. 98–118.DOI 10.31857/S1026347024020098, EDN: WBZBKW.
20. Оценка тенденций изменения засушливости для территории Южного Урала в период 1960–2019 гг. с использованием различных методов / Д. Ю. Васильев, В. В. Водопьянов, В. А. Семенов, А. А. Чибилев // Доклады РАН. Науки о Земле. – 2020. – Т. 494, № 1. – С. 91–96. – DOI 10.31857/S268673972009012.
21. Radial growth of Pinus sylvestris in the East Ural Radioactive Trace (EURT): Climate and ionizing radiation / V. V. Kukarskih, M. V. Modorov, N. M. Devi [et al.] // Science of the Total Environment. – 2021. – Vol. 781, № 5. – Article: 146827. – DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.146827.
22. *Григоркина, Е. Б.* Зимнее размножение цикломорфных млекопитающих: от феномена к явлению / Е. Б. Григоркина, Г. В. Оленев, Н. Г. Смирнов // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 485, № 5. – С. 638–641. – DOI 10.31857/S0869-56524855638-641.
23. *Шварц, С. С.* Эволюционная экология животных: Экологические механизмы эволюционного процесса / С. С. Шварц. – Свердловск: УФАН СССР. – 1969. – 199 с.
24. *Оленев, Г. В.* Функциональные закономерности жизнедеятельности популяций грызунов в зимний период / Г. В. Оленев, Е. Б. Григоркина // Экология. – 2014. – № 6. – С. 428–438. – DOI: 10.7868/S0367059714060109.
25. *Чернов, Ю. И.* Экология и биогеография. Избранные труды / Ю. И. Чернов. – М. : Товарищество научных изданий КМК. – 2008. – 580 с.
26. *Ims, R. A.* Collapsing population cycles / R. A. Ims, J. Henden, S. T. Killengreen // Trends in Ecology & Evolution. – 2008. – Vol. 23, № 2. – P. 79–86. – DOI: 10.1016/j.tree.2007.10.010.
27. *Григоркина, Е. Б.* Сообщества мелких млекопитающих в зоне влияния ВУРС: есть ли эффект действия ионизирующего излучения? / Е. Б. Григоркина, Г. В. Оленев, О. Р. Гизуллина // VIII Международная (XXI Региональная) научная конференция «Техногенные системы и экологический риск»: Тезисы докладов. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2025. – С. 296–298. – ISBN 978-5-7262-3177-8.
28. *Оленев, Г. В.* Альтернативные типы онтогенеза цикломорфных грызунов и их роль в популяционной динамике (экологический анализ) / Г. В. Оленев // Экология. – 2002. – № 5. – С. 341–350.
29. *Оленев, Г. В.* Функциональная структурированность популяций мелких млекопитающих (радиобиологический аспект) / Г. В. Оленев, Е. Б. Григоркина // Экология. – 1998. – № 6. – С. 447–451.
30. *Григоркина, Е. Б.* Альтернативные типы онтогенеза мелких млекопитающих: вклад в радиобиологию и радиоэкологию / Е. Б. Григоркина, Г. В. Оленев, О. В. Тарасов // Доклады Академии Наук. – 2015. – Т. 461, № 3. – С. 366–369. – DOI: 10.7868/S0869565215090285.
31. *Григоркина, Е. Б.* К проблеме радиоадаптации мелких млекопитающих (экологическая специализация вида, радиорезистентность, гемопоэз, иммунитет) / Е. Б. Григоркина, И. А. Пашнина // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2007. – Т. 47, № 3. – С. 371–378.
32. *Расина, Л. Н.* Адаптация мелких млекопитающих к радиоактивно загрязненной среде: окислительный метаболизм и радиорезистентность / Л. Н. Расина, Е. Б. Григоркина, Н. А. Орехова // Доклады Академии Наук. – 2017. – Т. 476, № 6. – С. 710–713. – DOI 10.7868/S0869565217300235.
33. Наследуемая хромосомная нестабильность у обыкновенной полевки (Microtus arvalis) из района Кыштымской ядерной аварии – факт или гипотеза? / Э. А. Гилева, Н. М. Любашевский, В. И. Стариченко [и др.] // Генетика. – 1996. – Т. 32, № 1. – С. 114–119.
34. *Ялковская, Л. Э.* Цитогенетические последствия хронического радиационного воздействия на популяции грызунов в зоне влияния Восточно-Уральского радиоактивного следа / Л. Э. Ялковская, Е. Б. Григоркина, О. В. Тарасов // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2010. – Т. 50, № 4. – С. 466–471.

35. *Ракитин, С. Б.* Анализ микросателлитной ДНК у грызунов из зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа и сопредельных территорий / С. Б. Ракитин. Е. Б. Григоркина, Г. В. Оленев // Генетика. – 2016. – Т. 52. – № 4. – С. 453–460. – DOI 10.7868/S0016675816030127.
36. *Григоркина, Е. Б.* Восточно-Уральский радиоактивный след – источник генетического разнообразия в популяциях грызунов на сопредельных территориях / Е. Б. Григоркина, С. Б. Ракитин, Г. В. Оленев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2024 – № 1. – С. 92–102. – DOI 10.31857/S0869803124010086, EDN: NNGSGO.
37. UNSCEAR 2008. Sources effects and risks of ionizing radiation. Report to General Assemly with Scientific Annexes. – New York: – UNSCEAR. – 2011. – 219 p.
38. *Malinovsky, G. P.* Assessment of radiation exposure of murine rodents at the EURT territories / G. P. Malinovsky, I. V. Yarmoshenko, V. I. Starichenko [et al.] // Central European Journal of Biology. – 2014. – Vol. 9, No 10. – P. 960–966. – DOI 10.2478/s11535-014-0321-2.

Сведения об авторах:

Григоркина Елена Борисовна, к. б. н., доцент, с. н. с. лаборатории популяционной радиобиологии Института экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия. Эл. почта: grigorkina@ipae.uran.ru

Оленев Григорий Валентинович, д. б. н., доцент, заведующий лабораторией популяционной экологии и моделирования Института экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия. Эл. почта:
olenev@ipae.uran.ru

ECOLOGICAL SUSTAINABILITY OF SMALL MAMMAL'S COMMUNITY IN THE RADIOACTIVE ENVIRONMENT

E. B. Grigorkina, G. V. Olenev

Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Results of comparative investigation of ecological sustainability of small mammal's community on both a radiation (dwelling in the East Ural Radioactive Trace zone – EURT – the result of radiation accident 1957, Southern Urals) and extreme climatic event (a drought of 2010) are presented. Ecological sustainability for population is expressed in maintenance of spatial structure, abundance, genetic variety; for ecosystem – in preservation of species number, their quantitative proportion and interrelations in the given community during some interval of time. The long-term dynamics of the specie' composition and abundance of small mammal communities before (2002–2009) and after (2010–2023) an extreme drought 2010 against the background of climate warming in the forest-steppe zone of Southern Urals are analyzed. The main pollutant in the EURT zone is gamma-emitters ^{90}Sr (95%) and its progeny ^{90}Y. A high concentration of radionuclides has been largely persistent in all components of the environment in the EURT zone to date. With the long half-life (28.79 years), ^{90}Sr accumulates in the bones of vertebrates and is a source of radiation exposure of the organism. The significant differences in the radioactive contamination' level of experimental sites (EURT–control) is the initial assumption for testing the hypothesis on radiation causation of observed biological effects in small mammal's community. The dose rate on red bone marrow of animals inhabiting the impacted territory is higher a threshold level in 100 μGy/h established by UNSCEAR (2011), which can result in the biological effects registered by us: changes in haemopoetic and immune systems, an elevated level of chromosome instability in the bone marrow cells. We have proved absence of negative influence of radiation at the level of small mammal's communities in the EURT zone. Extreme drought 2010 in the forest-steppe zone of the Southern Urals is one of the rare climatic events. It was verified by a dendrochronological indicator (radial growth of Pinus sylvestris). Drought triggered a rapid avalanche-like transformation of biological communities EURT-control: the decrease in a specific variety of the local fauna is due to the mass extinction of specie's specialized groups, elimination of vulnerable specie (A. oeconomus, which was numerous before drought) and rare species, the replacement of one specie by another and change regimes of specie's population dynamics. Population dynamic phase portraits demonstrate species-specific features concerning mainly abundance levels before and after extreme episode: dynamic stability of the dominant specie S. uralensis, collapse in the population of S. araneus for 9 years, replacement of A. oeconomus by M. arvalis. Species composition (local species lists) turned out to be a reliable indicator of extreme action. Thus, we are a direct witnesses of «evolutionary experiment in real time» (cit. by Vasil'ev, 2024), which results have allowed to compare ecological sustainability of communities of small mammals on radiation action (dwelling in the EURT zone) and on an extreme drought 2010. Sustainability of communities to the radiation and their total defenselessness to a drought which has led to regional biocenotic crises of local fauna (reorganization of ecosystem) in a forest-steppe zone of Southern Urals is shown. Long-term target monitoring has allowed to reveal weather anomaly (a drought 2010), to find out its threshold (trigger) effect on communities and population of small mammals and to track its consequences.

Key words: communities; populations; EURT, radiation, drought 2010, threshold effect

References

1. *Vasil'ev, A. G .* The Evolutionary-Ecological Principle of Turesson-Schwartz and Experimental Aspects of Evolutionary Ecology / A. G Vasil'ev // Russian Journal of Ecology. – 2024. – Vol. 55, No. 6. – P. 628–640. – DOI 10.1134/S1067413624602021.
2. *Rozenberg, G. S.* Hierarchy of ecological homeostasis as a principle of Systemology / G. S. Rozenberg, T. D. Zinchenko, A.G. Rozenberg // Izvestiya of Russian Academy of Sciences. Biology. – 2023. – Vol. 7. – P. 118–128. – DOI 10.31857/S1026347023600231 [In Russian].
3. Current assessment of integrated content of long-lived radionuclides in soils of the head part of the East Ural Radioactive Trace / I. Molchanova, L. Mikhailovskaya, K. Antonov [et al.] // J. Environ. Radioact. – 2014. – Vol. 138, No 6. –. 238−248. – DOI 10.1016/j.jenvrad.2014.09.004.
4. *Sazykina, T. G.* Evaluation of Threshold Levels for Effects of Chronic Exposure of Mammals with Different Life Expectancies / T. G. Sazykina, A. I. Kryshev // Radiatsionnaya Biologia. Radioecologia. – 2024. – Vol. 64, № 5 – P. 499–509. – DOI: 10.31857/S0869803124050057, EDN: LNUNRB [In Russian].
5. *Grigorkina, E. B.* Radioadaptation of rodents in the zone of local radioactive contamination (Kyshtym Accident, Russia): 50 years on / E. B. Grigorkina, G. V. Olenev // Radioprotection. – 2009. – Vol. 44, No 5. – P. 129–134. – DOI 10/1051/radiopro/20095028.
6. *Grigorkina, E. B.* Migration of Rodents in the Eastern Urals Radioactive Trace Zone (Radiobiological Aspect) / E. B. Grigorkina, G. V. Olenev // Radiatsionnaya Biologia. Radioecologia. – 2013. – Vol. 53, № 1. – P. 76–83. – DOI: 10.7868/S0869803112060045 [In Russian].
7. *Grigorkina, E. B.* Migrations of rodents in the zone of local radioactive contamination at different phases of population dynamics and their consequences / E. B. Grigorkina, G. V. Olenev // Biology Bulletin. – 2018. – Vol. 45, № 1. – P. 110–118. – DOI 10.7868/S0002332918010150
8. *Grigorkina, E. B.* Nonresident Activity of Shrews (*Sorex araneus*, Eulipotyphla): Group Marking / E. B. Grigorkina, G. V. Olenev // Russian Journal of Ecology. – 2021. – Vol. 52. – № 4. – P. 344–348 – DOI 10.1134/S1067413621040068.
9. *Grigorkina, E. B.* Long-distance movements of small mammals during the autumn-winter period / E. B. Grigorkina, G. V. Olenev // Theoretical and Applied Ecology. – 2023. – № 3. – P. 186–196 – DOI 10.25750/1995-4301-2023-3-186-196 [In Russian].
10. *Grigorkina, E. B.* Long-term changes in the small mammal population of the forest-steppe zone of the Southern Urals caused by extreme drought / E. B. Grigorkina, G. V. Olenev // Russian Journal of Ecology. – 2024. – Vol. 55, № 6. – P. 461–471. – DOI 10.1134/S1067413624602653.
11. The hot summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe / D. Barriopedro, E. M. Fischer, J. Luterbacher [et al.] // Science. – 2011. – № 332. – P. 220–224.
12. *Shmakin, A. B.* Great drought of 2010 in the East European Plain: Historical analogs and circulation mechanisms / A. B. Shmakin, M. M. Chernavskaya, V. V. Popova // Izvestiya of Russian Academy of Sciences. Geography. – 2013. – № 6. – P. 59–75.
13. Subcontinental heat wave triggers terrestrial and marine, multi-taxa responses / K. X., Ruthrof, D. D Breshears, J. B.Fontaine [et al.] // Scientific Reports. – 2018. – Vol. 8, № 1. Article: 13094 – DOI 10.1038/s41598-018-31236-5.
14. Mechanisms of forest resilience / D. A. Falk, P. J. van Mantgem, J. E. Keeley [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2022. – Vol. 512. – P. 120–129. – DOI 10.1016/j.foreco.2022.120129
15. Complexity of coupled human and natural system / J. Liu, T. Dietz., S. C. Carpenter [et al.] // Science. – 2007. – Vol. 317, – № 5844. – P. 1513-1516. – DOI 10.1126/science.1144004.
16. *Olenev, G. V.* Evolutionary ecological analysis of adaptation strategies of rodent populations under extreme conditions / G. V. Olenev, E. B. Grigorkina // Russian Journal of Ecology. – 2016. – Vol. 47. – № 5. – P. 486–492. – DOI 10.7868/S0367059716050097.
17. *Olenev, G. V.* Extreme drought of 1975 in the forest zone of the Southern Urals (Ilmen State Nature Reserve): dynamics of rodent populations, consequences / G. V. Olenev, E. B. Grigorkina // Nature Conservation Research. – 2026. – Vol. 11, № 1. – P. 49–70. – DOI 10.24189/ncr.2026.005.

18. Delayed threshold response of a rodent population to human-induced landscape change / A. V. Tchabovsky, L. E. Savinetskaya, E. N. Surkova [et al.] // Oecologia. – 2016 – Vol. 182. – P. 1075–1082. – DOI 10.1007/s00442-016-3736-9.
19. *Shchipanov, N. A.* The role of biodiversity in ensuring the functioning of ecosystems: Paper 2. Small mammals in the ecological monitoring system: obtaining data and assessment of the diversity, state, and dynamics of ecosystems / N. A. Shchipanov, A. A. Kalinin // Biology Bulletin. – 2024. – Vol. 51. – P. 443–452. – DOI 10.1134/S106235902360530X.
20. Analysis of trends in aridity changes for the Southern Ural Region over the period 1960–2019 using various methods / D. Yu. Vasilev, V. V. Vodopianov, V. A., Semenov, A. A. Chibilev // Doklady Earth Sciences. – 2020. – Vol. 494. – P. 748–752. – DOI 10.1134/S1028334X20090214.
21. Radial growth of Pinus sylvestris in the East Ural Radioactive Trace (EURT): Climate and ionizing radiation / V. V. Kukarskih, M. V. Modorov, N. M. Devi [et al.] // Science of the Total Environment. – 2021. – Vol. 781, № 5. – Article: 146827. – DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.146827.
22. *Grigorkina, E. B.* Winter reproduction of cyclomorphic mammals: from a case to the phenomenon / E. B. Grigorkina, G. V. Olenev, N. G. Smirnov // Doklady Biological Sciences. – 2019. – Vol. 485, № 1. – P. 52–55. – DOI 10.1134/S0012496619020108.
23. *Shvarts, S. S.* Evolyutsionnaya ekologiya zhivotnykh: Ekologicheskie mekhanizmy evolyutsionnogo protsessa (Evolutionary Ecology of Animals: Ecological Mechanisms of the Evolutionary Process) / S. S. Shvarts. – Sverdlovsk: Ural. Fil. Akad. Nauk SSSR. – 1969. [In Russian].
24. *Olenev, G. V.* Functional patterns of life activities of rodent populations in the winter season / G. V. Olenev, E. B. Grigorkina // Russian Journal of Ecology. –2014. – Vol. 45, No. 6. – P. 480–489. – DOI: 10.1134/S1067413614060101.
25. *Chernov, Yu. I.* Ecology and Biogeography. Selected works / Yu. I. Chernov. – Moscow: KMK Scientific Press Ltd. – 2008. – 580 p. [In Russian].
26. *Ims, R. A.* Collapsing population cycles / R. A. Ims, J. Henden, S. T. Killengreen // Trends in Ecology & Evolution. – 2008. – Vol. 23, № 2. – P. 79–86. – DOI: 10.1016/j.tree.2007.10.010.
27. *Grigorkina, E. B.* Small mammal communities in the EURT zone: whether there is an effect of radiation? / E. B. Grigorkina, G.V. Olenev, O.R. Gizullina // VIII International (XXI Regional) scientific conference "Technogenic Systems and Environmental Risk" (TSER 2025): Abstracts. – Obninsk. – 2025. – P. 296–298. – ISBN 978-5-7262-3177-8 [In Russian].
28. *Olenev, G. V.* Alternative Types of Ontogeny in Cyclomorphic Rodents and Their Role in Population Dynamics: An Ecological Analysis / G. V. Olenev // Russian Journal of Ecology. – 2002. – Vol. 33, № 5. – P. 321–330.
29. *Olenev, G. V.* Functional Structure in Populations of Small Mammals (Radiobiological Aspect) / G. V. Olenev, E. B. Grigorkina // Russian Journal of Ecology. – 1998. – Vol. 29, No. 6. – P. 401–405.
30. *Grigorkina, E. B.* Alternative types of small mammal ontogeny: contribution to the radiobiology and radioecology / E. B. Grigorkina, G. V. Olenev, O. V. Tarasov // Doklady Biological Sciences. – 2015. – Vol. 461, № 1. – P. 96–99. – DOI 10.1134/S0012496615020088.
31. *Grigorkina, E B.* On the Problem of Radioadaptation in Small Mammals (Ecological specialization of a species, radioresistance, hemopoiesis, immunity) / E B. Grigorkina, I. A. Pashnina // Radiatsionnaya Biologia. Radioecologia. – 2007. – Vol. 47, № 3 – P. 371–378 [In Russian].
32. *Rasina, L. N.* Adaptation of Small Mammals to Radiocontaminated Environment: Oxidative Metabolism and Radioresistance / L. N. Rasina, E. B. Grigorkina, N. A. Orekhova // Doklady Biochemistry and Biophysics. – 2017. – Vol. 476. – P. 340–343. – DOI: 10.1134/S1607672917050143
33. Hereditary chromosome instability in common vole (*Microtus arvalis*) from the region of the Kyshtym Nuclear Meltdown: fact or hypothesis? / E. A. Gileva, N. M. Lyubashevskii, V. I. Starichenko [et al.] // Russian Journal of Genetics. – 1996. – Vol. 32, № 1. – P. 99–104.
34. *Yalkovskaya, L. E.* Cytogenetic consequences of chronic irradiation in rodent populations inhabiting the Eastern Ural Radioactive Trace zone / L. E. Yalkovskaya, E. B. Grigorkina, O. V. Tarasov // Biophysics. – 2011. – Vol. 56, № 1. – P. 140–144. – DOI 10.1134/S0006350911010258.

35. *Rakitin, S. B.* Analysis of microsatellite DNA in rodents from Eastern Urals radioactive trace zone and contiguous territories / S. B. Rakitin, E. B. Grigorkina, G. V. Olenev // Russian Journal of Genetics – 2016. – V. 52, № 4. – P. 398–404. – DOI: 10.1134/S1022795416030121.
36. *Grigorkina, E. B.* Eastern Urals Radioactive Trace as a Source of Genetic Diversity in Rodent Populations in Adjacent Territories / E. B. Grigorkina, S. B. Rakitin, G. V. Olenev // Biology Bulletin. – 2024. – Vol. 5, No. 12. – P. 165–173. – DOI 10.1134/S1062359024701309.
37. UNSCEAR 2008. Sources effects and risks of ionizing radiation. Report to General Assemly with Scientific Annexes. – New York: – UNSCEAR. – 2011. – 219 p.
38. *Malinovsky, G. P.* Assessment of radiation exposure of murine rodents at the EURT territories / G. P. Malinovsky, I. V. Yarmoshenko, V. I. Starichenko [et al.] // Central European Journal of Biology. – 2014. – Vol. 9, No 10. – P. 960–966. – DOI 10.2478/s11535-014-0321-2.