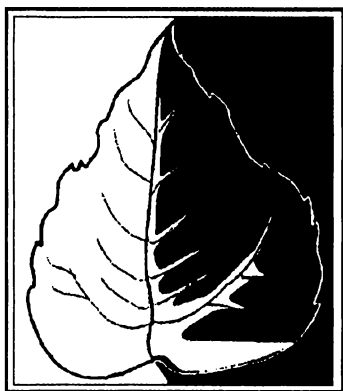


# **ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИИ**



**2**  
**1997**

**РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

---

**ПОПУЛЯЦИИ ВИДОВ-РАДИОФОРОВ "ЗАГЛЯДЫВАЮТ"  
В БУДУЩЕЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ**

*Васильев А.Г., Васильева И.А.*

*Институт экологии растений и животных УрО РАН*

Среди актуальных экологических проблем после аварии на Чернобыльской АЭС особо выделяют изучение генетических и морфогенетических последствий загрязнения экосистем радионуклидами. Хорошо известно, что аналогичная крупная авария произошла в 1957 году в России на Южном Урале вблизи г.Кыштым, где в результате кратковременного аварийного выброса (до 2 млн. кюри) образовался Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). Узкой полосой след прошел на северо-восток, пересекая Челябинскую, Свердловскую и Тюменскую области. Исследования, проведенные Институтом экологии растений и животных Уральского отделения РАН, показали, что в настоящее время уровень радиоактивного загрязнения территории на северной оконечности ВУРС в Свердловской области (г.Каменск-Уральский, Каменский район) в целом невелик. Однако в наиболее загрязненной части, расположенной по оси следа, плотность загрязнения цезием-137 в 1,7-3,2, а стронцием-90 в 7-40 раз выше, чем в контроле [6].

Местное население, которое так или иначе соприкасается с фактором ВУРС без малого 40 лет, безусловно испытывает на себе всё его негативное влияние. Человек в течение жизни накапливает радиоактивный стронций, который является остеотропным радионуклидом, т.е. активно встраивается как и кальций в костную ткань и, попадая в скелет, продолжает облучать организм. Хорошо известно, что облучение может не только вызывать различные заболевания, но и разрушать наследственный аппарат, повреждать хромосомы, вызывать генные и геномные мутации и, как следствие приводить к серьезным нарушениям индивидуального развития. В итоге могут возникать уродства и врожденные аномалии развития. Уже сегодня важно знать, что произойдет в популяции

---

человека с течением лет, когда сменится не один десяток поколений, когда уровень радиоактивного загрязнения приблизится к норме? Проявятся ли отдаленные последствия пережитых популяцией радиоактивных катастроф в индивидуальном развитии будущих поколений людей или бесследно растворятся? Увеличится ли частота крупных и мелких уродств и чаще ли на загрязненной радионуклидами территории будут наблюдаться врожденные уродства?

Хорошо известно, что за время существования одного человеческого поколения у видов с самым коротким жизненным циклом, т.е. грызунов-эфемеров, сменится до 75 поколений. Таким образом, появляется уникальная возможность на примере популяций этих модельных видов "заглянуть" в отдаленное будущее человеческой популяции, живущей на этой же самой загрязненной радионуклидами территории. Специальные исследования показывают, что млекопитающие более радиочувствительны, чем другие группы животных. У большинства млекопитающих величины полуметаллических доз (ЛД 50/30) при остром облучении рентгеновскими или гамма-лучами лежат в пределах 1,5-14 Гр. Показана возможность экстраполяции в определенных пределах результатов экотоксикологического анализа с этой группы млекопитающих на человека [1]. Поэтому идея использования популяций млекопитающих с быстрой сменой поколений на загрязненной радионуклидами территории в качестве токсикологической модели будущей популяции человека не является полностью фантастической.

Установлено, что некоторые грызуны и другие млекопитающие являются избирательными накопителями радионуклидов (стронция-90, цезия-137), то есть видами-радиофорами [4]. На территории ВУРС в Свердловской области таким модельным видом-радиофором является красная лесная полевка (*Clethrionomys rutilus* Pall., 1779). Популяции красной полевки обитали на территории ВУРС в Свердловской области в зонах с разной степенью радиоактивного загрязнения в течение, по крайней мере, 90-100 поколений с момента аварии. Выбор этого вида как модели для проведения экологического мониторинга определен тем, что популяции красной полевки многочисленны, приурочены к наиболее загрязненным радионуклидами лесным экосистемам и ведут строго оседлый и роющий образ жизни, т.е. длительно и прямо испытывают воздействие радиоактивного загрязнения на больших территориях.

Цель проведенного исследования заключалась в поиске возможных отдаленных последствий влияния слабого хронического

облучения на протекание индивидуального развития (морфогенеза) животных, обитающих на загрязненной радионуклидами территории, на основе фенетического анализа встречаемости морфологических аномалий и уродств скелета модельных млекопитающих, который допускает возможность генетической интерпретации различий. Анализ таких мелких морфологических aberrаций (фенов) и уродств скелета часто используется при исследовании влияния различных факторов среды на индивидуальное развитие организмов в популяциях, включая радиоактивное загрязнение территории [2].

Фенетический мониторинг популяций красной полевки, проводившийся в Каменском районе Свердловской области в течение двух лет (1992-1993 гг.), показал, что на импактной территории в окрестностях оз. Тыгиш (по оси ВУРС) устойчиво проявляется повышенное фенетическое разнообразие, обусловленное увеличением доли мелких морфогенетических aberrаций и уродств в строении черепа (рис. А-В), связанных с нарушением остеогенеза.

Анализ показал, что средняя доля aberrантных фенов в этой популяции оказалась достоверно выше, чем в объединенной выборке контрольных популяций ( $p < 0.05$ ). Достоверно больший средний процент мелких aberrаций в строении черепа в опытной популяции по сравнению с контрольными не случаен и указывает на общее накопление и проявление мелких уродств в зоне прохождения ВУРС. В импактной выборке были обнаружены характерные окнообразные выпадения фрагмента нёбной кости, а также типичное крупное отверстие в теменной кости, которые могут быть связаны с замедлением процесса остеогенеза. Известно, что аналогичные эффекты отмечались другими авторами и при повышенном содержании стронция-90 в скелете животных [3]. Сравнение контрольных выборок, взятых за пределами ВУРС (д.Пирогово, д.Грязнуха), с импактной выборкой выявило её устойчивое однонаправленное фенетическое отклонение (рис. А-В), которое не зависело от условий и фенологии года, что указывает на генетическую природу этих различий. Об этом свидетельствует и повышенный уровень флуктуирующей асимметрии (случайных отклонений от билатеральной симметрии) в опытной популяции по большинству промеров нижней челюсти взрослых полевок, выявленный методом генетического мандибулярного теста Фестинга, т.к. уровень флуктуирующей асимметрии, характеризующий величину дестабилизации развития, используется в мировой практике в качестве индикатора средового и геномного стресса [7]. Таким образом, эти данные

могут указывать на большую стрессированность поцесса развития у красных полевок импактного участка. Наряду с этим в импактной популяции проявляются характерные для мелких млекопитающих, обитателей загрязнённых радионуклидами участков, признаки усиления стресса организма (статистически достоверное снижение упитанности, относительного веса селезёнки и печени при увеличении массы надпочечников и т.д.).

Результаты фенетического мониторинга, полученные в течение двух лет наблюдения, указывают на высокую вероятность хронического влияния радиационного загрязнения в районе, затронутом ВУРС, на процесс индивидуального развития мелких млекопитающих и согласуются с лабораторными данными по длительному влиянию радиоизотопов в скелете на остеогенез [5]. Морфогенетические отклонения животных, обитавших в зоне ВУРС, устойчиво сохраняются в разные годы, что указывает на их генетическую природу и может объясняться накоплением мелких генетических aberrаций в зоне ВУРС. Эти данные также хорошо согласуются с многолетними материалами, полученными А.И.Ильенко и Т.П.Крапивко [4] по более загрязненной радионуклидами части ВУРС. Можно согласиться с их выводом о том, что из поколения в поколение в этих условиях возрастает радиорезистентность популяции, которая сопровождается изменениями генотипического состава популяции.

Если с большой осторожностью экстраполировать все эти данные на человека, то можно прийти к следующим заключениям. Выявленные фенетические отклонения в зоне ВУРС позволяют предполагать, что длительное проживание людей при сравнительно низких уровнях загрязнения радионуклидами может приводить к накоплению генетически обусловленных мелких морфологических уродств и aberrаций морфогенеза и увеличению их числа в последующих поколениях. При этом отсутствие сильного пресса естественного отбора в человеческой популяции (по известным причинам) не приведет, в отличие от популяции модельного вида-радиофора, где это давление велико, к приспособительным генетическим изменениям в сторону возрастания радиорезистентности. Полученные материалы позволяют также обоснованно предполагать, что в районах, подверженных сильным и продолжительным техногенным воздействиям и длительному влиянию слабых доз радиации могут быть обнаружены их отдаленные последствия, проявляющиеся в нарушении процессов индивидуального развития не только у модельных индикаторных видов млекопитающих, но и у

**Рис.1.** Фенетический анализ импактной и контрольных популяций модельного вида-радиофора в Каменском районе Свердловской области в зоне ВУРС.

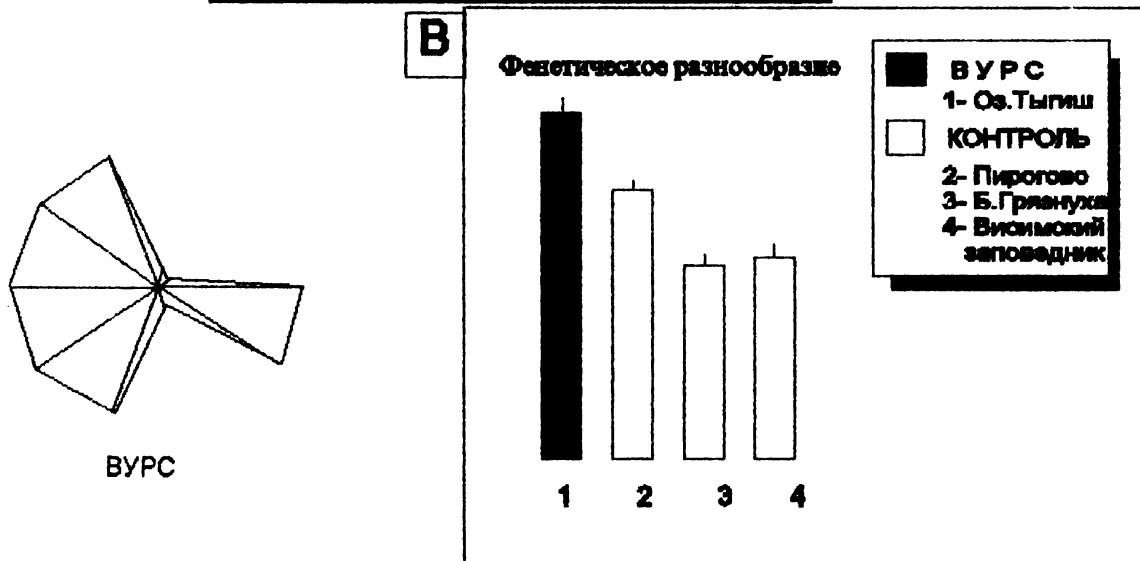
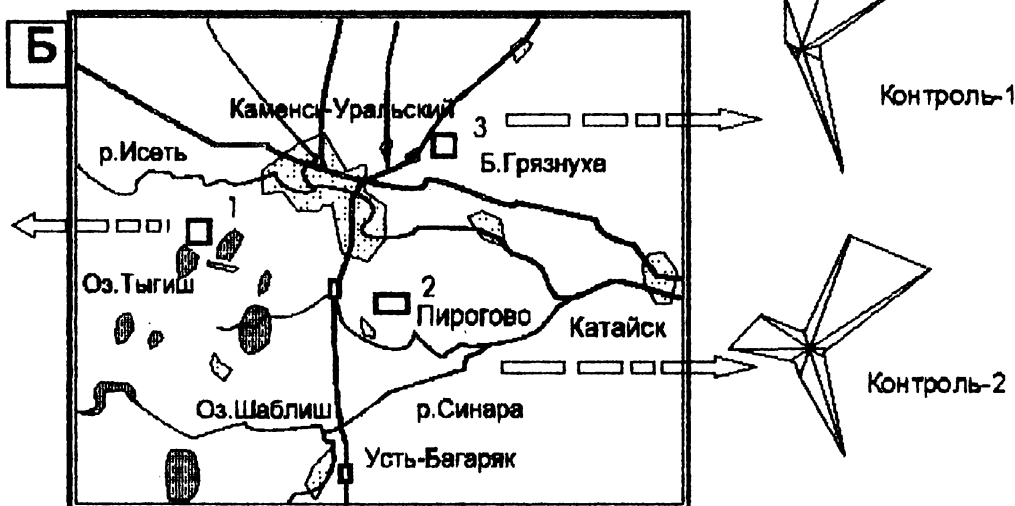
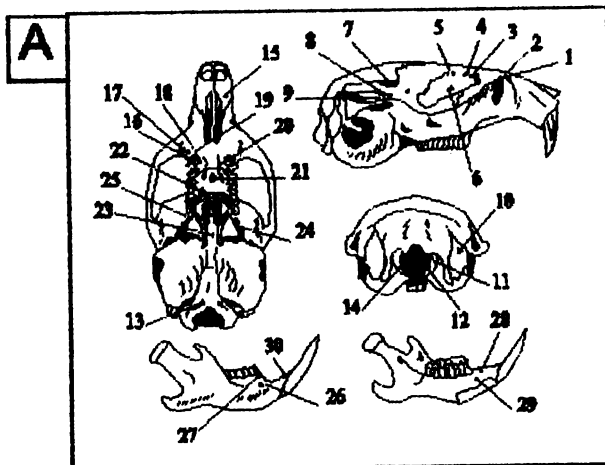
**А.** Схема расположения фенов (мелких морфогенетических aberrаций и уродств) на черепе красной полевки.

**Б.** Карта-схема размещения ключевых участков :

1. - импактный участок (окрестности оз. Тыгиш, осевая часть ВУРС);
2. - контроль-1 (окр. дер. Грязнуха);
3. - контроль-2 (окр. дер. Пирогово).

Начальный уровень радиоактивного загрязнения импактного участка 5 Ки/кв.км, а контрольных - 0,1 Ки/кв.м. Стрелками указаны соответствующие полигоны Серебровского по встречаемости частот 10 наиболее характерных фенов для импактной и контрольных популяций.

**В.** Проявление фенетического разнообразия (индекс Л.А.Животовского) в импактной и трех контрольных популяциях (популяция из Висимского заповедника расположена в 150 км от зоны ВУРС).



человека, выражаясь в наследственном снижении общей сопротивляемости к болезням, повышении уровня общей заболеваемости людей и числа врожденных морфологических уродств в угрожаемых районах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Безель В.С. Популяционная экотоксикология млекопитающих. М.: Наука, 1987 - 129 с.
2. Захаров В.М., Кларк Д.М. Биотест. Интегральная оценка здоровья экосистем и отдельных видов. М.: Московское отд. Международного Фонда "Биотест", 1993. - 68 с.
3. Ильенко А.И. Концентрирование животными радиоизотопов и их влияние на популяцию. М.: Наука, 1974. - 168 с.
4. Ильенко А.И., Крапивко Т.П. Экологические последствия радиоактивного загрязнения для популяций мелких млекопитающих-стронциефоров //Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале. М.: Наука, 1993. С. 171-180.
5. Стариченко В.И., Любашевский Н.М., Попов Б.В. Индивидуальная изменчивость метаболизма остеотропных токсических веществ. Екатеринбург: УИФ НАУКА, 1993. - 165 с.
6. Юшков П.И., Трапезников А.В., Молчанова И.В. и др. Радиоэкологические исследования прибрежной части водосбора озер на территории ВУРСа Свердловской области //Реализация Государственной программы Российской Федерации по радиационной реабилитации Уральского региона, Екатеринбург, 1993. С. 9-10.
7. Parsons P.A., *Fluctuating asymmetry: a biological monitor of environmental and genomic stress* //Heredity, 1992 V.68, N 4. P. 361-364.

## АННОТАЦИЯ

*Мониторинг популяций красной полевки - модельного вида-радиофора, проводившийся в Каменском районе Свердловской области в течение двух лет (1992-1993 гг.), показал, что на импактной территории (по оси Восточно-Уральского радиоактивного следа - ВУРС) устойчиво проявляется повышенное морфологическое разнообразие, обусловленное увеличением доли мелких морфологических aberrаций (фенов) и уродств в строении черепа. Выявлено устойчивое однонаправленное отклонение импактной выборки от контрольных, расположенных за пределами ВУРС, по частотам фенов неметрических признаков черепа, которое не зависит от условий и фенологии года, что указывает на генетическую природу этих различий. Обсуждаются отдаленные последствия хронического влияния малых доз радиации на процесс индивидуального развития не только в популяции модельного вида-радиофора, но и в популяции человека. Предполагается, что и у человека по аналогии с модельным видом будет происходить накопление мелких генетических aberrаций, приводящих к проявлению повышенной концентрации фенотипических уродств в зоне ВУРС.*

*г.Екатеринбург*