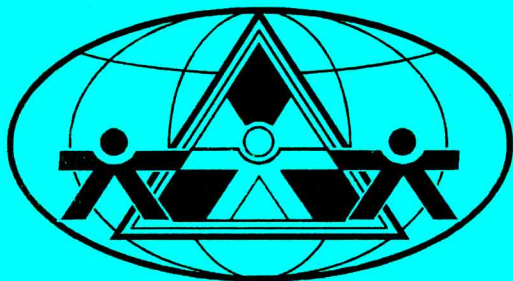


**ПРОБЛЕМЫ ОТДАЛЕННЫХ
ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ
РАДИАЦИОННЫХ ИНЦИДЕНТОВ:
ТОЦКИЙ ЯДЕРНЫЙ ВЗРЫВ**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЙ
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

30 октября – 2 ноября 2000 г.



ЕКАТЕРИНБУРГ 2000 г.

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Уральское отделение
Институт экологии растений и животных

**ПРОБЛЕМЫ ОТДАЛЕННЫХ
ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ
ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННЫХ
ИНЦИДЕНТОВ:
ТОЦКИЙ ЯДЕРНЫЙ ВЗРЫВ**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЙ
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

30 октября – 2 ноября 2000 г.



Екатеринбург
2000

ББК 28.081.2:28.04
П 781
УДК 574:539.16.047:575.17

**Материалы конференции изданы при финансовой поддержке
Международного фонда Джона Д. и Кэтрин Т. Макартуров
(MacArthur Reference # 99-61798-000)**

Ответственный редактор д.б.н. **А.Г.Васильев**

П 781 Проблемы отдаленных эколого-генетических последствий радиационных инцидентов: Тоцкий ядерный взрыв: Матер. Межрегион. науч. конф., 30 октября — 2 ноября 2000 г. / ИЭРиЖ УрО РАН; Отв. ред. А.Г.Васильев. — Екатеринбург: Изд-во «Екатеринбург», 2000. — 140 с.

ISBN 5-88464-036-6

В книге представлены избранные материалы Межрегиональной научной конференции «Проблемы отдаленных эколого-генетических последствий радиационных инцидентов: Тоцкий ядерный взрыв», состоявшейся 30 октября — 2 ноября 2000 г. в г.Екатеринбурге. Сборник представляет интерес для экологов, радиобиологов, медицинских работников, преподавателей и студентов биологических факультетов университетов, а также для всех тех, кому небезразличны проблемы экологической реабилитации Уральского региона.

Табл. 30. Илл. 40.

ISBN 5-88464-036-6

© Коллектив авторов, 2000
© Оформление. Издательство
«Екатеринбург», 2000

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ЗДОРОВЬЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И РЕГИОНАЛЬНЫЙ ФЕНОГЕНЕТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

А.Г.Васильев, И.А.Васильева

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург

Хорошо известно, что состояние окружающей среды во многих промышленно развитых районах Урала не является благоприятным для здоровья населения. В первую очередь это районы, подверженные сильному техногенному загрязнению тяжелыми металлами, фторидами, продуктами нефтехимической переработки, пестицидами, хлорорганическими и иными опасными поллютантами. Особую опасность представляют районы, загрязненные радионуклидами.

В настоящее время разработан достаточно большой арсенал методов для выявления эффекта различных воздействий на состояние окружающей среды [1-5 и др.]. При этом основная проблема состоит в повышении их эффективности и доступности для широкого практического использования.

В последнее время много пишут о необходимости создания интегральных методов оценки состояния природной среды или об оценке здоровья среды [6-8]. В.М. Захаров [8], говоря об этой проблеме, справедливо замечает, что поддержание здоровья среды в первую очередь необходимо для обеспечения здоровья человека. Проблема обеспечения здоровья окружающей среды связана в первую очередь с экологией человека как биологического вида. Несомненно, что экология человека во многом определяется медицинской проблематикой, но «биоэкологические аспекты экологии человека», если можно так выразиться, не менее важны.

Большое внимание на проблему оценки здоровья среды обращает Центр экологической политики России. Директор Центра В.М. Захаров в качестве основных стратегических задач решения проблемы определяет следующие [8]: 1. концептуальная разработка понятия здоровья среды как основы для обеспечения здоровья человека; 2. разработка критериев и единой системы обеспечения здоровья среды; 3. оценка экологического риска и ущерба здоровью человека по состоянию здоровья окружающей среды, включая разработку оценок и нормативно-правовой базы для обеспечения здоровья среды. Решение этих стратегических задач позволит найти экологически оправданный баланс между интересами хозяйственной деятельности и экологической безопасностью населения [8].

Проведение интегральной оценки качества среды и обеспечение постоянного контроля за ее состоянием, поэтому, является узловой задачей на всех этапах организации рационального природопользования для обеспечения устойчивого существования человека и общества. Реализация основных принципов поддержания

такого устойчивого развития на практике предполагает наличие обратной связи о состоянии окружающей среды в ответ на каждый шаг все возрастающего антропогенного воздействия как в глобальном, так и в локальном масштабе. Хорошо понятно, что для практического обеспечения такой обратной связи необходима организация мониторинга среды, т.е. проведение всесторонней оценки состояния окружающей среды на всех этапах (от планирования до практической реализации) всех видов природопользовательской деятельности. При этом следует отметить, что несмотря на важность химических и физических анализов, обеспечивающих получение базовой информации о концентрации поллютантов в среде и физической специфике действующих негативных факторов, биологическая оценка качества природной среды, т.е. биоэкологический мониторинг, оказывается приоритетной [4-5]. Это связано с тем, что лишь биоэкологический мониторинг позволяет получать интегральные характеристики качества среды и давать результирующую оценку того в какой мере эта среда пригодна для жизни человека, который в биологическом отношении сам является частью живой природы [9].

Помимо оценки непосредственных биоэкологических и медико-биологических последствий антропогенных воздействий, необходима практическая организация слежения за естественными преобразованиями и изменениями в состоянии окружающей среды. Важность проведения такого мониторинга определяется тремя основными причинами: а) необходимостью оперативного понимания общих тенденций в изменении среды (ухудшение / улучшение); б) стремлением выявить относительную роль и удельный вес естественных процессов изменения среды по сравнению с антропогенными; в) задачей получения интегральной оценки качества среды и ее состояния в комплексном градиенте воздействий [5].

Важным моментом при организации мониторинга является чувствительность подходов, применяемых для оценки состояния среды. Опыт собственных исследований авторов и имеющиеся в нашем распоряжении литературные данные показывают, что достаточно чувствительным интегральным подходом является феногенетический, основанный на популяционном фенетическом и морфогенетическом анализе, теоретических достижениях эпигенетики и, собственно, феногенетики и биологии развития. Развиваемые подходы нацелены на дальнейшее использование при разработке системы объективной экспресс оценки состояния здоровья среды, определение глубины обнаруженных изменений и прогнозирование направленности выявленных тенденций на основе традиционных и оригинальных методик без значительных материальных затрат. Разработка конкретных методов ориентирована на дальнейшее эффективное использование при нормировании антропогенных нагрузок на экосистемы, на установление контроля за экологической ситуацией в различных регионах Урала и в конечном итоге обеспечение здоровья природной среды для сохранения здоровья населения.

Исходя из современных общих требований к организации мониторинга, система феногенетического мониторинга должна быть относительно простой и доступной, что позволит ей быть операциональным инструментом, допускающим широкое практическое использование. Хорошо известны многие современные молекулярно-биологические тесты, использование которых затруднено на практике из-за их высокой технологической сложности и высокой стоимости процедур анализа. По этой причине всегда существует вопрос о том, нельзя ли получить аналогичные результаты более доступными методами.

Методы проведения феногенетического мониторинга, исходя из известных к настоящему времени требований, должны удовлетворять следующим критериям: а) обладать высокой чувствительностью к выявлению самых начальных сдвигов в экосистеме; б) интегрально характеризовать наиболее важные параметры организма и популяции; в) неспецифически реагировать на воздействия любых негативных экологических факторов; г) допускать лабораторную проверку обнаруженных в естественной среде эффектов; д) давать возможность обнаружить эффект последствия негативных антропогенных и средовых факторов, а также допускать возможность получения информации о позитивных и негативных сдвигах; е) допускать широкое использование благодаря доступности и невысокой стоимости аналитических процедур. Использование этих критериев позволит получить надежную систему феногенетического мониторинга для оперативной, интегральной, биологически ориентированной оценки состояния экосистем и ее отдельных трофических цепей, которая обеспечит раннюю диагностику любых негативных или позитивных изменений окружающей среды.

В последние годы появилось много исследований, посвященных использованию феномена флуктуирующей асимметрии альтернативных и количественных признаков при экологическом мониторинге природных популяций [6, 10-12 и др.]. Под флуктуирующей асимметрией билатеральных признаков обычно подразумевается случайный характер проявления признаков на разных сторонах тела особей или метамеров [13]. На экспериментальном и естественном материале было показано, что флуктуирующая асимметрия (ФА) может рассматриваться в качестве своеобразного индикатора неспецифической разбалансировки развития, характеризующего состояние популяции как в целом, так и по отдельным функциональным группам [14]. В.М. Захарову [6] и многим его последователям удалось установить, что повышение флуктуирующей асимметрии на групповом уровне указывает на дестабилизацию процесса развития в популяции. Дестабилизация развития наблюдается обычно уже на относительно низком уровне средовых нарушений, которые еще не связаны с необратимыми изменениями в популяциях [6]. Это позволяет использовать ФА как индикатор даже незначительных отклонений параметров среды от фонового состояния, которые еще не приводят к существенному снижению жизнеспособности особей.

Наиболее общий путь анализа явления дестабилизации развития особей в популяции и отдельных ее функциональных групп с нашей точки зрения состоит в следующей последовательности применения диагностических оценок: 1. изучение спектра морфогенетических aberrаций и уродств в популяциях доминирующих видов; 2. анализ эпигенетической изменчивости популяций, связанной с явлением флуктуирующей асимметрии, на территориях разной степени нарушенности: а) определение динамики частот морфогенетических aberrаций во времени; б) оценка уровня дифференцированности поселений организмов на территориях разной степени деградации; 3. интегральная оценка популяционно-феногенетической стабильности индивидуального развития организмов на основе проявлений флуктуирующей асимметрии билатеральных структур: а) измерение дисперсии флуктуирующей асимметрии количественных признаков; б) оценка уровня индивидуальных aberrаций морфогенеза в расчете на особь; 4. изучение возможных отдаленных последствий хронического действия поллютантов, включая действие радиации в малых дозах, на уровне эпигенетических эффектов нарушения нормального протекания индивидуального развития у модельных индикаторных видов; 5. проведение локального феногенетического мониторинга, включая организацию фонового, пространственного и временного контроля за модельными индикаторными видами.

Последовательность диагностических оценок построена таким образом, чтобы отразить степень и уровень нарушенности среды, интегрально воздействующей на развитие особи. Наиболее выраженные, глубокие нарушения среды затрагивают наиболее существенные и ранние этапы морфогенеза, а также оказывают прямое воздействие на фенотип развивающегося организма (по принципу «ожога»). Второй и третий блоки индикации отражают не только сильные воздействия, но и такие, которые еще не сказываются катастрофическим образом на состоянии жизнеспособности особей, но при усилении могут носить субвитальный и даже сублетальный характер. Наиболее важны два последних этапа, позволяющих оценить отдаленные последствия длительного действия поллютантов на процесс морфогенеза у модельных видов (например, млекопитающих), что может быть использовано для построения токсикологической модели популяции человека.

Следует подчеркнуть, что феногенетический мониторинг включает в себя проведение оценки состояния среды как в пространстве (выявление размаха феногенетических различий между населением различных местообитаний), так и во времени (определение изменений в состоянии населения животных в одном месте). Этот подход позволяет также обеспечить возможность оперативной регистрации откликов окружающей среды не только на усиление, но и на снижение степени неблагоприятного воздействия, т.е. на позитивные сдвиги [5]. Феногенетический мониторинг может позволить решить многие актуальные экологические задачи, включая определение

эффекта последствия разового влияния того или иного сильного техногенного фактора на экологические свойства последующих поколений организмов, а также установление самих фактов аккумуляции из поколения в поколение уродств и других неблагоприятных биологических особенностей, снижающих общую жизнеспособность потомков, при хроническом воздействии реагента на популяцию в относительно малых дозах. Известно, что при высоких концентрациях стронция-90 в скелете животных угнетается процесс окостенения хрящевых тканей вплоть до возникновения стронциевого рахита [15,16]. Такие нарушения могут проявиться в виде различного рода деформаций скелета грызунов, выпадений фрагментов костей (особенно покровных) у животных, обитающих на загрязненной радиоактивными продуктами деления территории, а также отразиться на встречаемости неметрических признаков скелета. Анализ крупных и мелких морфологических аберраций (неметрических признаков) скелета часто используется при исследовании влияния различных факторов среды на индивидуальное развитие организмов в популяциях, включая радиоактивное загрязнение территории [6, 10, 15, 17-20]. Поэтому, при индикации экологического состояния популяций могут быть применены методы, основанные на встречаемости различных нарушений морфогенеза, а также оценке стабильности индивидуального развития по проявлениям флуктуирующей асимметрии билатеральных структур на популяционном уровне [5].

Мелкие млекопитающие являются важным компонентом экосистем и часто используются в качестве модельных объектов в радиоэкологических и экотоксикологических исследованиях, включая радиоэкологический мониторинг среды [2, 21-24]. Существует много противоречивых данных о влиянии разных доз ионизирующей радиации и инкорпорированных в организме радионуклидов на процесс развития млекопитающих и остеогенез в естественных условиях радиоактивного загрязнения [25-26]. Выбор этой группы организмов в качестве адекватного объекта для радиоэкологического и общего мониторинга среды определяется тем, что биология мелких млекопитающих, представленных в основном грызунами и насекомоядными, достаточно полно изучена как в естественной среде обитания, так и в лабораторных условиях. Это многочисленная группа организмов, которая, в силу своего положения в трофических цепях экосистем, непосредственно воспринимает давление тех или иных негативных факторов среды на больших территориях и поэтому может служить основой для индикации ее нарушенности. С другой стороны, показана возможность экстраполяции в определенных пределах результатов экотоксикологического анализа с этой группы млекопитающих на человека [2].

Мелкие млекопитающие, являясь консументами первого и второго порядков, играют существенную роль в функционировании природных экосистем. Поэтому любые негативные техногенные воздействия на их

популяции, включая радиоактивное загрязнение территории, могут привести к значительным нарушениям в функционировании наземных экосистем. К настоящему времени показано, что как для видового состава, так и популяционной структуры и показателей воспроизводства и смертности мелких млекопитающих характерен существенный отклик на воздействие техногенных факторов. Сформулировано также представление о том, что пути адаптаций популяций мелких млекопитающих к экстремальным факторам как естественного, так и антропогенного происхождения аналогичны, и имеют под собой неспецифическую основу [27, 28]. В настоящее время мы располагаем первичным материалом по характеристике видового и внутривидового разнообразия данной группы животных в градиенте техногенных факторов, который может быть всесторонне использован при мониторинге [24].

Известно, что в условиях длительного (хронического) воздействия радиоактивных веществ в относительно малых концентрациях (что имеет место на территории ВУРС или в окрестностях Тощкого полигона) вызываемые ими экологические последствия, например, снижение продуктивности популяций (в частности воспроизводства населения у человека, как биологического вида) и другие отрицательные эффекты могут проявиться не сразу, а через поколения [26]. Мелкие млекопитающие, продолжительность жизни которых намного меньше, чем у человека, благодаря этому могут служить удобным модельным объектом для изучения отдаленных последствий загрязнения радионуклидами, поскольку за прошедшие с момента указанных выше радиационных инцидентов годы у человека вошло в наиболее продуктивную фазу только одно поколение, тогда как у грызунов, например, даже при двух-трех генерациях в год сменилось в среднем около 100 поколений.

Если с большой осторожностью экстраполировать получаемые феногенетические оценки на человека, то можно прийти к следующим заключениям. Выявляемые феногенетические отклонения в импактных зонах позволяют предполагать, что длительное проживание людей при сравнительно низких уровнях загрязнения радионуклидами может приводить к накоплению генетически обусловленных мелких морфологических уродств и аберраций морфогенеза и увеличению их числа в последующих поколениях. Полученные материалы позволяют также обоснованно предполагать, что в районах, подверженных сильным и продолжительным техногенным воздействиям и длительному влиянию радиации в малых дозах, могут быть обнаружены отдаленные последствия, проявляющиеся в нарушении процессов индивидуального развития у модельных индикаторных видов млекопитающих, что также может наблюдаться и у человека, выражаясь в наследственном снижении общей сопротивляемости к болезням и повышении уровня общей заболеваемости людей в угрожаемых районах [29,30].

ЛИТЕРАТУРА

1. Арманд А.Д., Ведюшкин М.А., Тарко А.М. Модель воздействия промышленных загрязнений на лесной биогеоценоз // Воздействие промышленных предприятий на окружающую среду. М. 1987. С.291-296.
2. Безель В.С. Популяционная экотоксикология млекопитающих. — М.: Наука, 1987. 129 с.
3. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем. — М.: Мир, 1988. — 350 с.
4. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Методология экологического нормирования аэрогенных загрязнений наземных экосистем от локальных источников // Экологическое нормирование: проблемы и методы. — М, 1992. С.39-40.
5. Захаров В.М., Кларк Д.М. (ред.). Биотест: интегральная оценка здоровья экосистем и отдельных видов. — М, 1993. 68 с.
6. Захаров В.М. Асимметрия животных (популяционно-феногенетический подход).- М.: Наука, 1987. 213 с.
7. Захаров В.М. Нельзя быть здоровым в больной среде // Зеленый мир.,1994. № 18. С.7.
8. Захаров В.М. Индикатор эффективности экологической политики — здоровье среды //На пути к устойчивому развитию России. Бюллетень Центра экологической политики России, 1999. № 6 (10). С.8-9.
9. Шварц С.С. Экологические закономерности эволюции. — М.: Наука, 1980. 279 с.
10. Palmer A.R., Strobeck C. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns // Annual Rev. Ecol. Syst, 1986. V.17. P.391-421.
11. Кожара А.В. Оценка состояния популяций промысловых карповых рыб с помощью показателей стабильности морфогенеза: Автореф. дис....канд. биол. наук. — М., 1987. 18 с.
12. Markow T.A., Ricker J. Developmental stability in hybrids between the sibling species pair *Drosophila melanogaster* and *Drosophila simulans* // *Genetica*, 1991. V.84. P.115-121.
13. Астауров Б.Л. Наследственность и развитие. — М.: Наука, 1974. 359 с.
14. Novak J.M., Rhodes O.E., Jr, Smith M.N., Chesser R.K. Morphological asymmetry in mammals: genetics and homeostasis reconsidered // *Acta Theriol.*, 1993. V.38, Suppl.2. P.7-18.
15. Ильенко А.И. Радиоэкология. — М.: Атомиздат, 1971. С.279-316.
16. 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.
17. Тимофеев-Ресовский Н.В., Яблоков А.В., Глотов Н.В. Очерк учения о популяции. — М.: Наука, 1973. 278 с.
18. Яблоков А.В. Популяционная биология. — М.: Высшая школа, 1987. 303 с.

19. Atchley W.R., Plummer A.A., Riska B. Genetics of mandible form in the mouse// *Genetics*, 1985. V.111, N 3. P.555-577.
20. Parsons P.A. Fluctuating asymmetry: a biological monitor of environmental and genomic stress // *Heredity*, 1992. V.68, N 4. P.361-364.
21. Ильенко А.И. Концентрирование животными радиоизотопов и их влияние на популяцию. — М.: Наука, 1974. 168 с.
22. Соколов В.Е., Ильенко А.И. Принципы нормирования антропогенных воздействий на популяции позвоночных// *Всесторонний анализ окружающей природной среды*. — Л, 1976. С.76-81.
23. Тестов Б.В. Влияние радиоактивного загрязнения на популяции мышевидных грызунов: Автореф. дис.... докт. биол. наук. — Екатеринбург, 1993. 35 с.
24. Vasilyev A., Vasilyeva I. Non-metric variation in red vole populations within the East-Ural Radioactive Track (EURT) zone // *Acta Theriologica*, 1995. Suppl.3. P.55-64.
25. Любашевский Н.М. Метаболизм радиоизотопов в скелете позвоночных. — М.: Наука, 1980. 202 с.
26. Криволучский Д.А., Тихомиров Ф.А., Федоров Е.А., Покаржевский А.Д., Таскаев А.И. Действие ионизирующей радиации на биогеоценоз. — М.: Наука, 1988. 240 с.
27. Лукьянова Л.Е., Лукьянов О.А. Реакция сообществ и популяций мелких млекопитающих на техногенные воздействия I. Сообщества. — *Успехи современной биологии*, 1998. — Т.118, Вып. 5. С.613-622
28. Лукьянова Л.Е., Лукьянов О.А. Реакция сообществ и популяций мелких млекопитающих на техногенные воздействия II. Популяции. — *Успехи современной биологии*, 1998. — Т.118, Вып. 6. С.694-707.
29. Эколого-генетический анализ отдаленных последствий Тощкого ядерного взрыва в Оренбургской области в 1954 году (факты, модели, гипотезы) / А.Г.Васильев, В.М.Боев, Э.А.Гилева и др. — Екатеринбург: Изд-во «Екатеринбург», 1997. — 192 с.
30. Отдаленные экологические и генетические последствия радиационных инцидентов: Тощкий ядерный взрыв (Оренбургская область, 1954 г.) /А.Г.Васильев, В.М.Боев, Э.А.Гилева и др. — 2 изд., дополн. — Екатеринбург: Изд-во «Екатеринбург», 2000. — 288 с.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 98-04-48594, № 99-05-64173, № 00-15-97952.