

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

Биоиндикация экологического состояния среды.

А.Г. Карташев
Учебное пособие

Томск 2012 г.

Биоиндикация экологического состояния среды.

А.Г. Карташев

**Учебное пособие
Томск 2012 г. (58 с.)**

В учебном пособии рассмотрены современные научные и прикладные проблемы биоиндикации. Представлены методы биоиндикации и биотестирования экологического состояния природной среды при действии антропогенных факторов, экологических катастроф и биопрогнозирования землетрясений. В зависимости от уровня организации проведён анализ адаптивных реакций биосистем. Выявлены особенности адаптаций на биохимическом, организменном, популяционном, биоценотическом биосферном уровнях. Пособие предназначено для студентов, занимающихся экологией и биоиндикацией экологического состояния природной среды.

ВВЕДЕНИЕ

Технократическая направленность прогресса человеческой цивилизации с одной стороны привела к глобальному загрязнению природной среды, а с другой стимулировала развитие технических, инструментальных методов оценки состояния экосистем. Не отрицая ценности и необходимости разработки технических методов оценки компонентов окружающей среды, важно понять, что в конечном итоге поражается, страдает и гибнет живой организм: птица, рыба, жучок, растение. Естественно, что сохранение жизни как отдельного организма, так и биосферы является единственной и конечной целью любой системы мониторинга.

В связи с этим все очевидней становится необходимость накопления биологических знаний об устойчивости к антропогенным воздействиям биосистем в зависимости от уровня их организации и экологизации всех разрабатываемых технических средств и выпускаемых нормативов.

Биоиндикационные методы оценки состояния окружающей среды, довольно интенсивно разрабатываемые во всем мире в последние 40-60 лет. Биоиндикационные исследования наиболее адекватно отражают проблемы живой природы и при достаточно широком распространении могут быть использованы как отдельными членами общества, так и заинтересованными в сохранении естественной природы социальными организациями.

БИОИНДИКАЦИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Использование биологических изменений окружающей среды с целью оценки и прогноза ее состояния началось с первых шагов человека. Совокупность биоиндикационных представлений о поведении животных лежала в основе успешной охоты. Только биологические знания экологии зерновых позволили нашим предкам отобрать и селекционировать будущие сельскохозяйственные культуры.

Несколько утрируя, можно сказать, что выживаемость первобытной человеческой популяции всецело зависела от «биоиндикационных» познаний первобытного человека. Знания накапливались, передавались в устной, культовой: поклонение духам растительности и животных — и письменной формах из поколения в поколение.

Развитие городов, технический прогресс, создание искусственной среды обитания человека изменили взаимоотношения человека с природой, выдвинув на первое место технические средства контроля окружающей среды. Необходимость соотношения измеряемых параметров физико-химического состояния среды с их биологическим значением стимулировала биоиндикационные исследования в русле научно-технических представлений. В ряде европейских стран изменения в морфологии растений при увеличении химически активных веществ используются в национальной системе мониторинга.

Устойчивость биосистем

Успешное использование биоиндикаторов для оценки состояния окружающей среды основывается на ряде эмпирических представлений. Первое — устойчивость биосистем к любому повреждающему фактору среды может быть представлена в виде убывающего ряда биологических форм. Второе — для всех биологических систем характерен принцип универсальности, следовательно, всегда возможен перенос наблюдаемых изменений от одного вида биосистем к другому. Третье — эмоциональная убедительность, когда вы видите в середине лета пожелтевшую траву, пустой без птичьих голосов сад, массовое размножение гусениц, отсутствие рыбы в пруду или речке, вы отчетливо осознаете, насколько вредно жить там, где вы живете.

В современной биологии принятой считается концепция об уровнях организации биосистем: так начальный уровень организации биологических систем принято считать молекулярным, а завершающим является биосферный. Под устойчивостью биосистем мы будем понимать способность биосистемы противостоять внешним изменениям среды в целях самосохранения. Основываясь на таких самых общих представлениях, попытаемся представить устойчивость биосистем в зависимости от уровня их организации: молекулярный, клеточный, органоидный, организменный, популяционный, видовой, биоценотический, ландшафтный, биосферный.

Несомненно, что молекулярный уровень: вирусы, нуклеиновые кислоты, белки, аминокислоты — по степени своей устойчивости сравним с неживой материей. Следующий уровень — клеточный: микробы, одноклеточные, водоросли и т.д. — обладает также высокой степенью устойчивости вследствие своей способности образовывать споры. Последующие: органоидный (специализированные органы: сердце, печень, почки, легкие ...) и физиологический (физиологические системы: кровеносная, нервная, иммунная) уровни выделены условно в подтверждение идеи о том, что

устойчивость всех внутренних органов организма выше устойчивости всего организма. Начиная с организменного уровня, устойчивость сообщества биоценоза и биосферы определяется их способностью к созданию относительно постоянной биотической и абиотической среды, в которой возможны существование организмов и эволюция популяций. Следовательно, от молекулярного до популяционного уровня организации живой материи устойчивость биосистем определяется в большей степени их приспособляемостью, т.е. пассивной защитой. Начиная с уровня сообщества, характер биологических механизмов, обеспечивающих устойчивость, становится принципиально другим — активным, создаются системы круговоротов веществ, энергии и информации, обеспечивающих стабильность биосферы. Создаются природоохранные экраны: озоновый, углекислый; обеспечивается цикличность климатических условий планеты. И в этих условиях сформировавшейся биосферы «разменной монетой» стабильности экологической среды становится организм, т.к. это наиболее неустойчивая, а значит, и наиболее пластичная единица структурной организации биосферы.

Адаптационные возможности биосистем

Все биологические системы, независимо от их уровня организации, существуют в изменяющейся окружающей среде. Чтобы выжить и успешно преобразовывать косную среду, необходимо развить механизмы, позволяющие сохранять функциональную и структурную целостность живого в пределах изменчивости окружающей среды. В принципе это основная задача живого — выжить, что и осуществляется путем приспособления биосистем к среде или адаптацией. Адаптации как по каждому фактору, так и по совокупности факторов имеют определенные биохимические, физиологические, генетические и экологические пределы, predeterminedенные на генетическом уровне. Совокупность всех адаптационных характеристик организма, популяции, экосистемы и определяет их экологическую нишу, т.е. ту среду обитания, в которой возможно оптимальное развитие живых организмов. Если уровень воздействующих на организм факторов превышает адаптационные возможности биосистемы, происходит деградация, разрушение части или всей биосистемы. В последнее время в научной литературе достаточно широко используется термин «стресс». Под стрессом в широком биологическом смысле подразумевается реакция биосистемы на экстремальные (предельные значения адаптационных возможностей) воздействия факторов среды. С биоиндикационной точки зрения наибольший интерес представляет выявление таких экстремальных стрессовых воздействий, а также прогноз возможного уровня деградации биосистем. По мнению современных исследователей, существует по крайней мере шесть типов биоиндикационных реакций в зависимости от времени действия фактора (Stotker, 1980).

А — биоиндикатор через определенное время отвечает одноразовой сильной реакцией и затем теряет чувствительность;

Б — после определенного времени воздействия — сильная одноразовая реакция, которая продолжается определенное время и исчезает;

В — биоиндикатор реагирует с момента появления воздействия с одинаковой интенсивностью в течение длительного времени;

Г — после немедленной сильной реакции наблюдается ее затухание;

Д — реакция на воздействие медленно нарастает, достигает своего максимума и затухает;

Ж — колебательный характер ответных реакций.

В связи с тем, что все адаптивные реакции используют большое количество энергии при компенсации воздействующих факторов, можно установить несколько эмпирических правил компенсаторной адаптации.

Чем большая интенсивность воздействующего фактора, тем больше энергетических ресурсов должна затратить биосистема на его компенсацию.

Если фактор неизвестен биосистеме, то он не вызывает сигнальной — стимулирующей энергетику биосистемы — реакции, поэтому встраивается и ведет к разрушению биосистемы — мимикрирующий эффект: антропогенные факторы и синтезированные человеком новые химические вещества и радиоизотопы.

Адаптация биосистемы к экстремальным воздействиям вследствие больших ресурсных затрат приводит к деградации биосистемы — ее упрощению.

Что касается эволюционных адаптаций, т.е. приспособлений, обусловленных отбором, то для осуществления их требуется много времени. Так, по мнению Ч. Дарвина, эволюционная адаптация вьюрков на Галапагосских островах проходила в течение 1,5 миллиона лет. Если принять за среднюю продолжительность жизни вьюрка 5 лет, то ясно, что потребовалось минимум 20–30 тысяч поколений птиц для успешной эволюционной адаптации. Как известно, современная биосфера формировалась в течение 3,5 млрд. лет; относительно устойчивого состояния она достигла, по мнению В.Н. Вернадского, около 600 тыс. лет назад. Современные саванны в Африке и прерии в Америке возникли 30–40 тыс. лет назад в результате выжигания девственных лесов первобытным человеком, которые не восстановились до сих пор. Для восстановления кедровых лесов Сибири требуется 500–1000 лет. Средняя продолжительность жизни человека равняется 70–80 годам. В то же время техногенные воздействия стали экологическим фактором в последние 70–50 годам. Понятно, что за такой короткий срок эволюционно адаптироваться к антропогенным воздействиям реально могут только микроорганизмы и насекомые. Вероятно, они и останутся на Земле в случае развития глобальной антропологической экологической катастрофы.

Микроорганизмы — биоиндикаторы инфекционного состояния окружающей среды

Теоретически, в зависимости от уровня организации биосистем, меняются адаптационные возможности живых организмов. Для каждого уровня характерен свой специфический набор показателей, соответствующий выполняемым функциям. Особенности биохимического уровня организации являются:

1. Сохранение структурной целостности макромолекул при их функционировании в стрессовых условиях среды.

2. Эквивалентное снабжение клеток: энергетической валютой — аденозинтрифосфатом (АТФ), структурными предшественниками для синтеза запасных веществ — гликогена, жиров и т.д., нуклеиновых кислот и белков.

3. Сохранение систем, регулирующих скорости и направления метаболических процессов в соответствии с потребностями организма и их изменениями при вариации условий среды (Хочачка, Сомеро, 1988).

В настоящее время выделен ряд ключевых ферментов, которые изменяют свою активность в зависимости от степени загазованности окружающей среды: глюкозо-6-фосфат, супероксиддисмутаза, пероксидаза, фитогормоны, растворимые белки, липиды и т.д. Как правило, внутриклеточные макромолекулярные структуры достаточно надежно защищены от вредного антропогенного воздействия и существенные нарушения в них приводят к гибели организма. Большой интерес представляет явление «молекулярной мимикрии», т.е. встраивание изотопов типа C-14, Sr-90, I-131 и других в молекулярные комплексы живых организмов, накопление их и распространение в популяции, приводящее при достижении определенного критического уровня к развитию патологических процессов. К явлениям такого типа относится и распространение плазмид-искусственных нуклеиновых остатков, синтезированных человеком, при изготовлении искусственных антибиотиков. Попадая в организм человека и животных вместе с продуктами питания, они приводят к снижению иммунной резистентности и невосприимчивости организма к медикаментозным средствам.

Мир одноклеточных организмов состоит из огромного числа микроорганизмов, грибов, водорослей, встречающихся практически во всех теоретически возможных экологических нишах. Их обнаруживают как в термальных источниках Камчатки при $t \gg 80^{\circ}$, так и на Северном полюсе, в глубине океана и на самых высоких вершинах. Недавно были обнаружены микроорганизмы, живущие в радиоактивной воде атомного реактора. Все одноклеточные делятся на две большие группы: эукариоты — высшие микроорганизмы и прокариоты — низшие, не имеющие ядра одноклеточные. К эукариотам относятся водоросли, грибы-дрожжи и простейшие. Прокариоты — сине-зеленые водоросли и бактерии: спирохеты, гонококки, стафилококки, стрептококки, возбудители холеры, сибирской язвы и др. Простейшие осуществляют биосферный кругооборот кальция, формируют и поддерживают плодородный слой почвы — гумус. В процессе эволюции

биосферы виды одноклеточных организмов специализировались в определенных экологических нишах. Техногенное загрязнение атмосферы, почвы и водной среды, нарушая биологическое равновесие, приводит к образованию новых антропогенных экологических ниш, которые в первую очередь занимают микроорганизмы. О чем свидетельствуют появление новых инфекционных болезней (СПИД), рост хорошо известных заболеваний, формирование лекарственно устойчивых штаммов микроорганизмов. Следовательно, постоянный контроль видового разнообразия и численности микроорганизмов является одним из основных показателей состояния окружающей среды. Так увеличение сине-зеленых водорослей в проточных водоемах — характерный показатель загрязнения, заболачивания и деградации водоемов. Общую целлюлозную активность почв — способность гумусового слоя разлагать клетчатку определяют опытным путем, закладывая предварительно взвешенные кусочки материи — бязи на определенное время и глубину в гумусовый слой почвы. При повторном взвешивании можно получить показатели, характеризующие способность почвенных микроорганизмов разлагать целлюлозу, что является косвенной характеристикой обменных процессов почвенного горизонта.

Особенности биоиндикационных характеристик органов и тканей организма

Органы и ткани организма животных и растений проявляют дифференциальную чувствительность к различного вида антропогенным воздействиям. Еще в середине 1850 г. Штекхардтом были отмечены изменения окраски листьев растений за счет дыма, ядовитых газов и других стрессоров. В настоящее время (Шуберт, 1988) биоиндикационным методом, основанным на морфологии растений, построен ряд картосхем антропогенных влияний. Рассмотрим наиболее распространенные морфологические изменения растений, используемые в качестве биоиндикации. Хлороз — бледная окраска листьев между жилками — отвалы тяжелых металлов. Пожелтение краев или определенных участков листьев у лиственных деревьев — влияние хлоридов. Покраснение в виде пятен на листьях смородины и гортензии под действием SO_2 . Появление серебристой окраски поверхности листьев — действие фтористых соединений. Некрозы — отмирание ограниченных участков ткани листовой поверхности в следующей последовательности: при действии SO_2 образование грязно-зеленых пятен, после гибели пораженных клеток листа участки оседают, высыхают и за счет выделения дубильных веществ окрашиваются у деревьев в бурый цвет или выцветают до белой окраски: тюльпаны, лук, гладиолусы, зерновые культуры.

Дефолиация — опадение листьев происходит после появления некрозов и хлорозов. Так под влиянием соли, используемой для таяния снега, происходит осыпание хвои ели, опадение листвы у лип и каштанов. При

увеличении концентрации SO_2 в воздухе наблюдается опадение листвы у крыжовника и смородины. Аномальные изменения формы, количества и положения органов наблюдались у лиственных и хвойных деревьев после радиоактивного облучения.

В результате локальных некрозов возникает уродливая деформация, перетягивание, вздувание или искривление листовой пластинки, искривление побегов, сращение или расщепление отдельных органов. Под действием гербицидов отмечались деформация цветка — увеличение или уменьшение, изменения в морфологии лишайников (Федотов, 1979).

Изменения направления формы роста и ветвления, кустовидная и подушечная форма роста деревьев — лип — при хроническом загрязнении атмосферы HCl или SO_2 . При высокой концентрации газообразных выбросов предприятиями отмечается низкорослость растений, ползучие главные оси побегов, тесно расположенные узкие листья.

Изменение прироста многолетних растений определяется по ширине годичных колец. Для определения ширины годичных колец используется тонкий бур, с помощью которого извлекается керн древесины, измеряется величина прироста по годам. Годовой прирост деревьев — неспецифический тест, однако он позволяет непосредственно определить степень экологического неблагополучия в многолетней динамике. Используя способность деревьев к биоаккумуляции и консервации загрязняющих веществ, в особенности это касается хвойных деревьев, можно, применяя современные методы микроспектрального анализа, производить дифференциальную оценку степени загрязнения окружающей среды.

В. Несветайло выявил многолетнюю динамику накопления изотопа $C-14$. Характерно, что значительные повышения концентрации $C-14$ в годичных кольцах деревьев Томской области достаточно хорошо совпадают с атомными испытаниями на Семипалатинском полигоне и авариями на атомных реакторах в г. Северске.

Одним из неспецифических тестов, отражающих видовую адаптацию растений, является цитологический тест стерильности пыльцы, широко использующийся при оценки как химических загрязнений, так и радиоактивных, электромагнитных и других техногенных загрязнителей.

Наглядное представление о чувствительности растений к химическим загрязнениям окружающей среды дает табл. 1.

Таблица 1.

Чувствительность растений к длительному загрязнению атмосферы

| Наименование | SO ₂ | HF | NH ₃ | HCl | Cl ₂ |
|-------------------|-----------------|----|-----------------|-----|-----------------|
| Люцерна | + | | | | |
| Гречиха | + | | | | |
| Горох | + | | | | |
| Клевер | + | | | | |
| Виноград | | + | | | |
| Ландыш | | + | | | |
| Гладиолус | | + | | | |
| Касатик | | + | | | |
| Тюльпан | | + | | | |
| Нарцисс | | + | | | |
| Лук | | + | | | |
| Петрушка кудрявая | | + | | | |
| Рододендрон | | + | | | |
| Смородина красная | | | + | + | |
| Салат | | | + | + | |
| Шпинат | | | + | + | |
| Фасоль | | | | + | |
| Табак | | | | + | |
| Сельдерей | | | + | | |
| Томат | | | | | + |
| Латук | | | | + | + |

Биоиндикационная чувствительность органов и физиологических систем животных

У высших животных, включая человека, при всем разнообразии индивидуальных адаптаций развитие ее характеризуется общими закономерностями. Выделяются два этапа: первоначальный — срочной, но несовершенной адаптации и последующий этап — долговременной совершенной адаптации. Для обеспечения дополнительных энергетических затрат организма в процессе эволюции сформировался специальный физиологический механизм, описанный впервые Г. Селье и названный стрессом или общим адаптационным синдромом (ОАС). Стресс обеспечивается деятельностью гормонов надпочечников и половых желез. По совокупности физиологических показателей и состоянию надпочечных желез выделяют три стадии стресса: активации, тренировка, истощение или дистресс (Селье, 1960). Дистресс наступает в том случае, если орган, физиологическая система или весь организм не справляется с воздействующими на него факторами, что приводит к различного типа патологиям — заболеваниям.

В развитии всего адаптационного комплекса организма можно выделить индивидуальный тип адаптивных реакций, направленный на самосохранение,

выживание, и видовой — связанный с сохранением вида и популяции. К видовому типу адаптации относятся физиологические системы и органы, ответственные за воспроизводство, — мужская и женская половые системы и весь комплекс физиологических механизмов, ответственных за нормальное воспроизводство потомков.

Наиболее чувствительными к влиянию стрессоров являются гипоталамус — отдел головного мозга, ответственный за запуск стрессового механизма физиологических реакций, кора надпочечных желез, щитовидная железа, система желудочно-кишечного тракта, система крови, система сперматогенеза и женская половая система.

Следовательно, независимо от типа влияния естественного или антропогенного фактора при условии превышения его физиологического уровня в организме, развивается общий адаптационный синдром или стресс. Определение уровня стрессированности организма животных и человека можно проводить по хорошо известным биохимическим и морфологическим методикам состояния надпочечных желез. Углубление стрессовой ситуации приводит к развитию симптомов язвенной болезни и нарушению как в системе сперматогенеза, так и функционировании гонад.

Последующее усиление отрицательно действующего фактора стимулирует патологическое изменение органа-мишени: воспаление легких, сердечная недостаточность, цирроз печени, пиелонефриты, язвенные заболевания, и развитие раковых заболеваний. Появление и развитие злокачественных заболеваний животных используется в качестве биотеста, указывающего на полное несоответствие окружающей среды адаптационным возможностям организма.

Так при хроническом действии электромагнитных полей характерны раковые заболевания кожи, мозга, грудных желез. При действии радиации — канцерогенные заболевания крови — лейкозы. Выхлопные газы автотранспорта и аэрозоли угольной, нефтяной промышленности — рак легких. Тяжелые металлы, пестициды и органические загрязнения — рак желудка, печени и почек. Полициклические ароматические соединения — рак мошонки.

В качестве примера рассмотрим ситуацию с судаком, запущенным в 1963–1964 гг. в качестве промысловой рыбы в озеро Балхаш, на берегу которого находился один из крупнейших в СССР горнометаллургических комбинатов, сливавший все свои неочищенные отходы в озеро. Выпущенный судак интенсивно размножился. Являясь хищником, активно стал накапливать канцерогенные вещества, и в течение 1967–1969 гг. произошло массовое поражение данного вида рыбы злокачественными новообразованиями на голове, спине, брюшной стороне, видимое невооруженным глазом. Последующая массовая гибель судака облегчила его страдания, но не изменила тяжелой экологической ситуации озера Балхаш.

Необходимо отметить, что различные органы в зависимости от их функционального назначения обладают способностью к накоплению радионуклидов, тяжелых металлов и токсических соединений. Например, стронций и цезий активно накапливаются в

костях животных и печени. В печени и почках количество нуклидов может превышать их содержание по сравнению с мышцами в радиоактивно загрязненных районах в 1000 раз. Метилртутные и ртутьорганические соединения, накапливаясь в печени животных, легко проникают через гематоэнцефалический барьер мозга и вызывают нейротоксические эффекты. В 1972 г. был разработан метод, позволяющий по оценке количества ртути в птичьих перьях оценивать общую загрязненность ртутью среды обитания птиц (Vermeer, Armstrong, 1978). Кадмий, являясь одним из самых ядовитых тяжелых металлов, способен долго сохраняться в организме животных, и поэтому в печени у долгоживущих видов рыб и птиц его концентрация способна возрасти в 30 000 раз. Нитраты, накапливаясь в печени и почках, поступая в кровь, связываются с гемоглобином, препятствуют связыванию гемоглобина с кислородом и могут быть определены методами спектрального анализа.

Следовательно, биоиндикация органов и физиологических систем организма носит, как правило, неспецифический характер на всех уровнях устойчивости организма. В то же время дифференцированная способность к накоплению различными органами организма вредных техногенных веществ, позволяет весьма успешно, при использовании физико-химических методов, выявлять уровни загрязненности среды обитания.

Организменный уровень биоиндикационной чувствительности

Основной наблюдаемой единицей на уровне организмов является особь, семья или группа особей. Наиболее чувствительной реакцией — комплекс поведенческих изменений, позволяющих выжить особи при изменившихся внешних условиях. Хорошо выраженные реакции можно наблюдать у пресноводной амёбы в зависимости от концентрации растворенных в воде химических веществ. При низкой концентрации токсических веществ амёба сокращает свои ложноножки, при увеличении концентрации она превращается в клубок и затем погибает.

Под микроскопом можно наблюдать за увеличением частоты сокращений так называемой пульсирующей «вакуоли» амёбы в зависимости от концентрации токсических веществ в окружающей организм среде. Основная функция сократительной вакуоли — регуляция осмотического давления внутри тела простейшего, поэтому при попадании токсических веществ в организм амёбы сократительная активность пульсирующей вакуоли увеличивается.

Большое разнообразие в поведении характерно для пауков. В настоящее время насчитывается около 50–60 тысяч видов пауков, заселивших практически все возможные экологические ниши, занятые насекомыми. Являясь хищниками, пауки концентрируют в своем организме токсические вещества, изменяющие их поведение. Особый интерес в биоиндикационном отношении представляет строительная деятельность пауков. Пауки строят свои ловчие сети на деревьях, траве, в норках. Паутиной обернуты и коконы с яйцами у бегающих пауков. Из паутины

строятся семейные домики, в которых паучата проводят свои первые 2–3 личиночные стадии. Вся строительная деятельность пауков может быть промерена, сфотографирована, снята на видеокамеру в природных условиях с различной антропогенной нагрузкой и в модельных условиях при дозированных воздействиях физических, химических и биологических факторов.

Особый интерес представляют структурированные сети, т.е. ловчие сети пауков, имеющих вполне определенную структуру, характерную для каждого вида крестовиков (*Araneidae*). Ловчую сеть пауки-крестовики начинают строить после выхода из семейного домика — третья личиночная стадия. Для каждой возрастной стадии пауков существует, как нам удалось установить, типично-характерная структура паутины. С наступлением половозрелости ловчие колесовидные сети плетут в основном только самки, самцы заняты поиском самок и выполнением своей репродуктивной функции. Восстановление ловчих сетей происходит при отсутствии дождя ежедневно. Нарушенные в течение предыдущего дня участки паутины съедаются, т.к. паутинные нити преимущественно состоят из аминокислот. Как правило, восстановление паутины происходит в утренние предрассветные часы: в 5–7 часов.

Повсеместная распространенность пауков-крестовиков от тундры до пустыни, хорошая наглядность ловчих сеток, особенно утром, когда капельки росы как бы проявляют тонкую структуру паутины, небольшое количество времени, необходимое для набора статистического материала, — все это делает ловчую сеть пауков одним из привлекательных биоиндикационных экспресс-методов. В России обитает от 10 до 18 видов рода крестовиков (*Araneus*). Наиболее распространенным и, по нашему мнению (Карташев, Карташева, 2009), являются пауки: крестовик-обыкновенный и крестовик мраморный. Экологическая приспособляемость крестовика мраморного шире приспособляемости крестовика обыкновенного. Наличие специального убежища из свернутых листьев и сигнальной нити позволяет крестовику мраморному строить свои сети как в лесу, так и на открытых местах, не рискуя быть заметной добычей для птиц на ловчей сети, что характерно для крестовика обыкновенного. Строя свои сети на относительно открытых пространствах, пауки подвергаются влиянию тех антропогенных факторов, которые существуют в данной местности: радиации, электромагнитных полей, химических веществ, аэрозолей, которые вместе с конденсатом накапливаются на клейких ловчих сетках паука и поедаются вместе с нарушенными участками ловчей сети. Являясь хищниками, пауки способны концентрировать в своем теле тяжелые металлы и токсические вещества, нарушающие поведение животного. Необходимо отметить, что все алгоритмы пищевой деятельности животного фиксируются в структуре ловчей сетки. При необходимости можно легко узнать, чем и в каком количестве питается паук, т.к. жертвы удачной охоты также фиксируются с помощью паутины. Ежедневное возобновление строительства ловчих сеток позволяет проследить динамику влияния одного либо комплексного действия

антропогенных факторов. Анализ структуры паутины необходимо проводить рано утром, когда она еще покрыта росой, хорошо заметна и не нарушена попавшими в нее насекомыми. В искусственных условиях пауки хорошо плетут паутины в садках размером 1 куб. м из марли или оконной сетки с выдвигаемыми стенками. В таких садках можно исследовать дифференциальную чувствительность, устойчивость пауков и форму структуры их ловчих сеток в зависимости от концентрации токсичных веществ или уровня физических воздействий. Экспериментальное построение аналогичных калибровочных кривых значительно повышает достоверность интерпретации биоиндикационных оценок в природных условиях. Схема типичной ловчей сети паука-крестовика представлена на

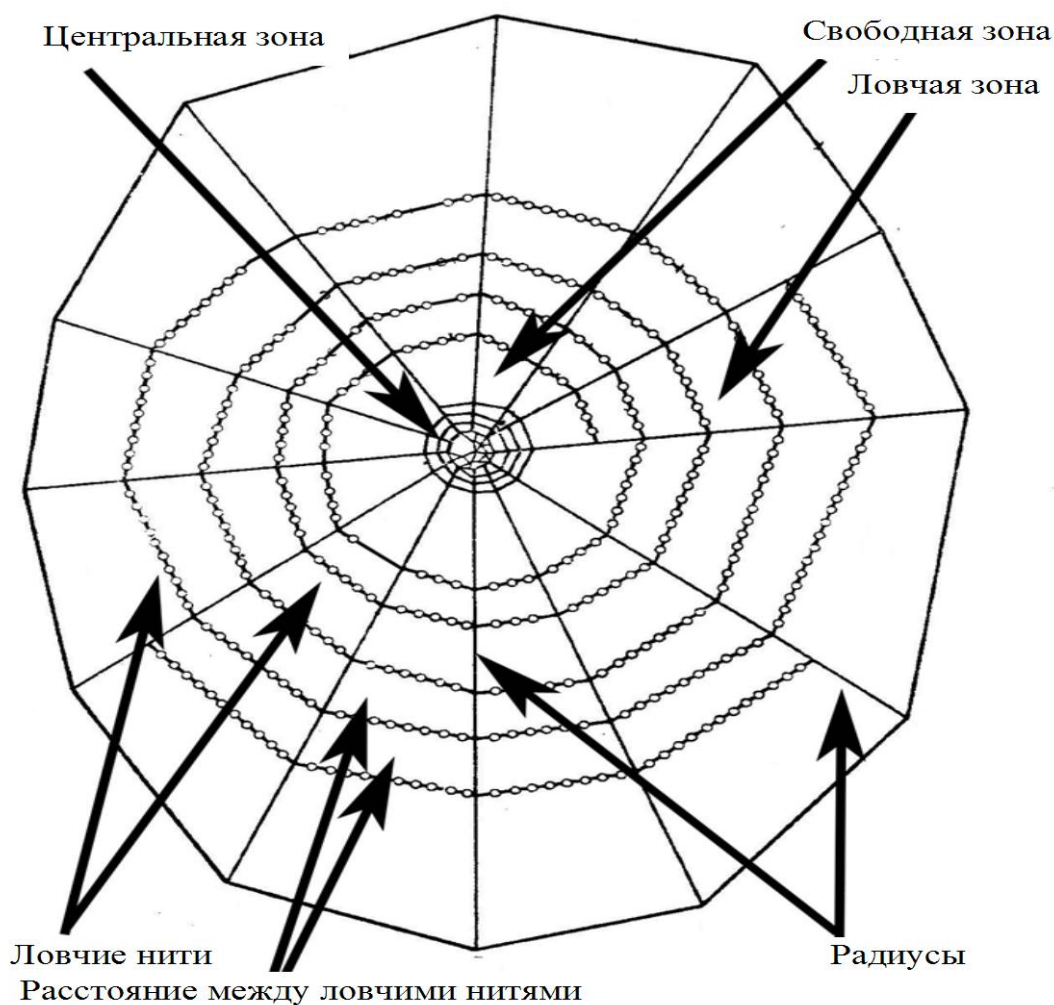


рис.1.

Центральная зона заплетена неклеякими нитями, и количество витков в центральной зоне является видовым признаком рода пауков-крестовиков. Далее следует незаплетенный промежуток так называемой свободной зоны, после которой следуют клейкие витки ловчей зоны, натянутые на радиусы, исходящие из центральной зоны. Для количественной оценки структуры ловчей сети пауков-крестовиков нами использовались следующие показатели: высота центра над землей, число радиусов: верхних, нижних, длина радиусов, число витков центральной зоны, вертикальный и горизонтальный диаметры центральной зоны, вертикальный и горизонтальный размеры свободной зоны, вертикальный и горизонтальный

размеры ловчей зоны, число ловчих нитей в секторах: по горизонтали и вертикали, расстояние между ловчими нитями, количество и тип отклонений или «аномалий» в структуре ловчей сетки паука. Анализ примерно 10 тысяч ловчих сетей пауков-крестовиков (*A. mormoreus*) позволил нам выделить достаточно типичные аномалии в структуре ловчих сетей (рис. 2,3) пауков кругопрядов.

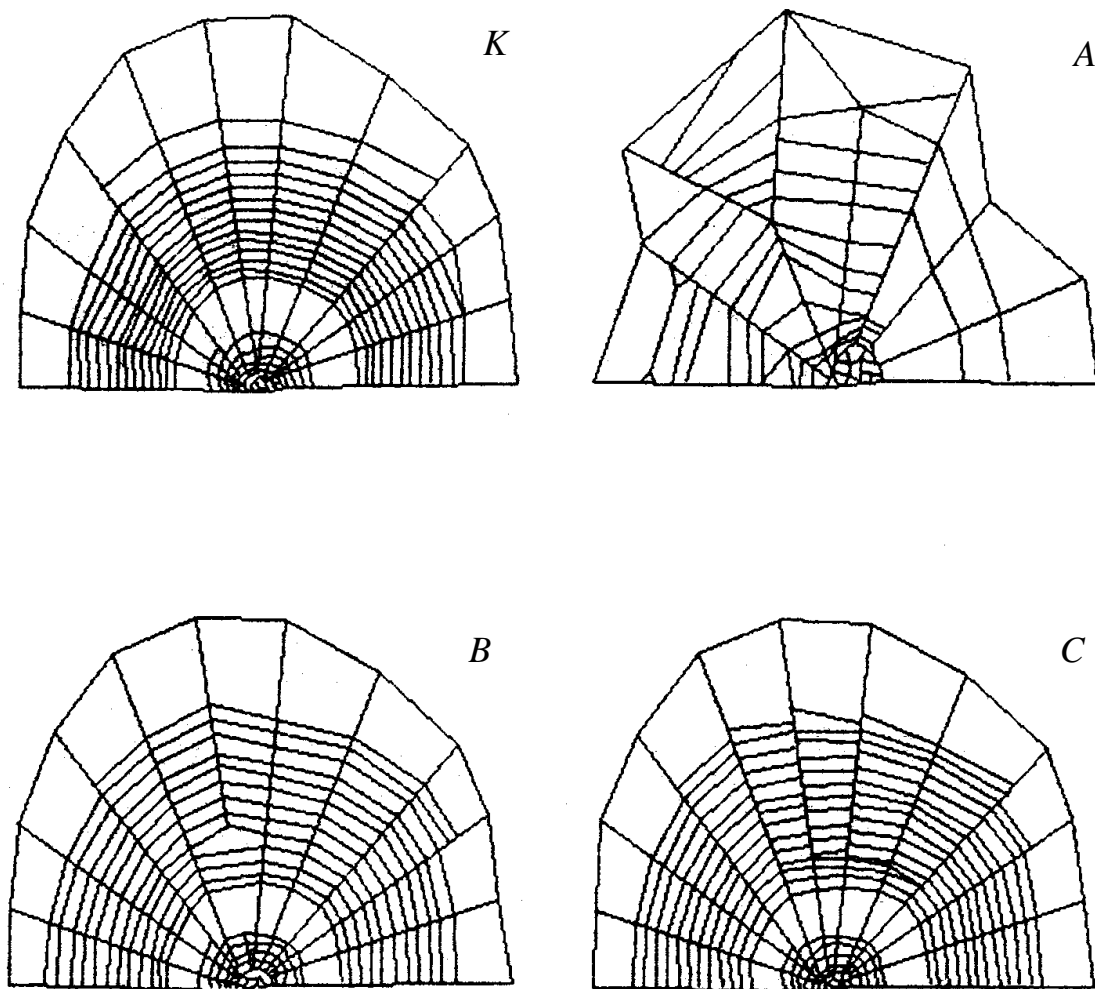


Рис. 2. Типы аномалий в ловчих сетях пауков-кругопрядов:
K — фрагмент эталонной ловчей сети; *A* — абсолютно аномальная сеть; *B* — укороченный радиус; *C* — ступенчатость ловчей спирали

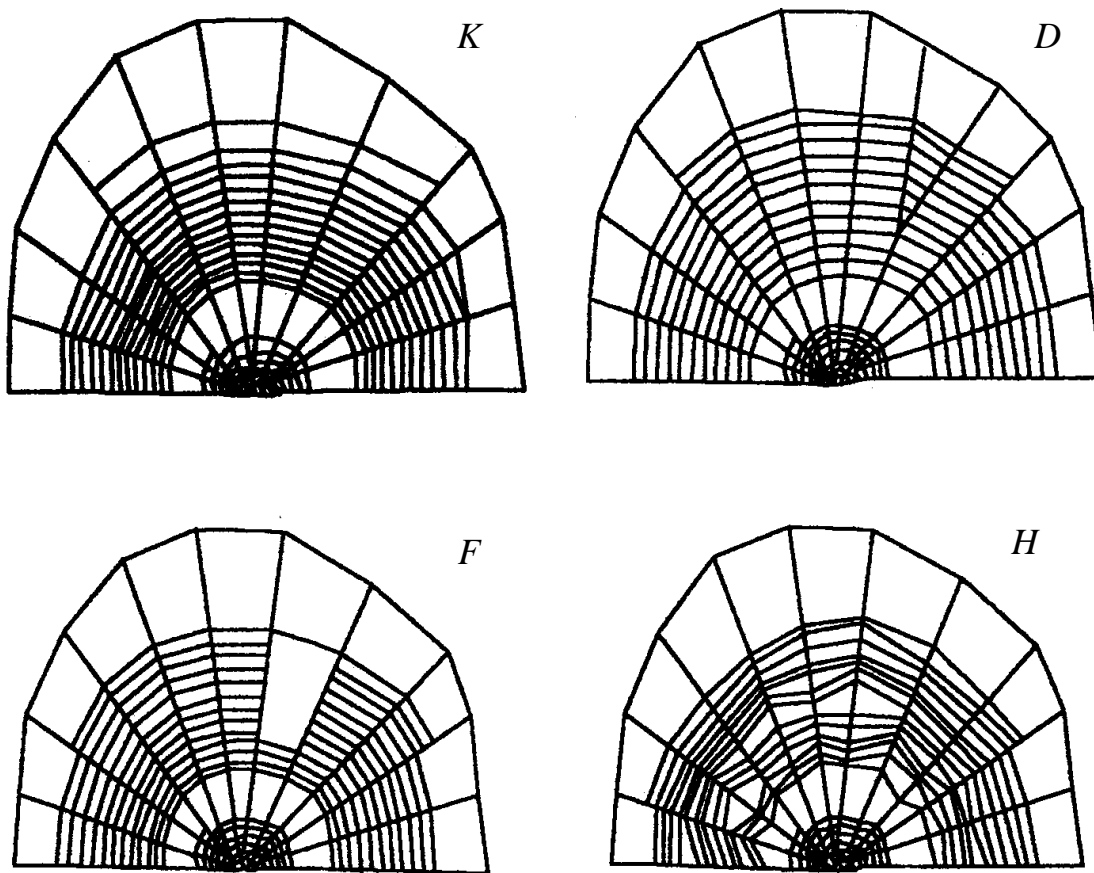


Рис. 3. Типы аномалий в ловчих сетях пауков-кругопрядов:
K — фрагмент эталонной ловчей сети; *D* — раздвоение радиуса;
F — отсутствие ловчих нитей в секторе;
H — ломаная ловчая спираль

Полностью аномальная сеть, сектор которой представлен на рис. 2, А, характерна для патологически больных пауков, на которого экологическая среда, токсические вещества повлияли в такой степени, что животное не способно плести нормальную сеть и скорее всего умрет. Изменения в структуре ловчих сетей, определенные нами как «аномалии», отражают нарушения в поведении паука.

Следовательно, вся картина дифференцированной адаптации, позволяющей различить тип воздействующего фактора, протекает в диапазоне структурных различий ловчей зоны пауков от *K* до *A*. В экспериментальных условиях при искусственном облучении пауков в дозе от 10 до 100 Р/час нами были получены аномалии типа *F*, проявляющие себя в незаплетении одного, двух или трех секторов ловчей зоны пауков-крестовиков. Необходимо отметить, что пауки очень устойчивы к действию радиации.

В наших экспериментах пауки на 100 % погибали только при дозе облучения, равной 1500 Р/час, в то время как нормальной фоновой дозой

является 12 мкР/час. При искусственном облучении возрастает количество различного типа аномалий — чем выше доза, тем чаще встречаются аномалии типа F и A. у пауков. Следовательно, реакция пауков отражает реальную интегральную биологическую опасность радиоактивного окружения. В интегральную картину, вероятно, можно включить излучения α , β , γ ; затем радионуклидную загрязненность, циркулирующую по пищевым цепям, а также суммарное количество микрорадиоактивных выбросов радиохимического завода. На основании паутинного теста, используемого в качестве биоиндикационного экспресс-метода, можно достаточно хорошо проводить качественную комплексную оценку радиоэкологической обстановки.

С целью выяснения особенностей в поведенческой реакции пауков при действии химических веществ использовалась аминная соль, раствором которой из пульверизатора опрыскивались сетки пауков-крестовиков. В результате проведенных исследований выяснилось, что в зависимости от концентрации раствора аминной соли происходит увеличение общего количества нарушений структуры ловчих сетей с преобладанием аномалий С-типа. Аномалии С-типа выражаются в нарушении параллельности по секторам в заплетении клейких ловчих нитей ловчей зоны паутины.

При увеличении концентрации аминной соли количество «не параллельных» секторов увеличивается, растет количество и других видов аномалий, возникает асимметричность всей сетки и, наконец, сеть становится полностью аномальной.

В период летних полевых исследований 1995–1997 гг. нами обследовались ловчие сети пауков-крестовиков, живущих в сосняке вокруг очистных сооружений Томского нефтеперерабатывающего комбината. Прежде всего, в районе очистных сооружений была отмечена низкая численность пауков-крестовиков относительно контрольных местообитаний.

Во-вторых, доминирующим типом нарушений в структуре ловчих сетей оказались аномалии С-типа, которые наблюдались ранее в экспериментальных условиях под влиянием аминной соли. Можно с большой долей вероятности дифференцировать радиоэкологические и химические влияния, используя в качестве биоиндикатора структуру ловчей сети пауков-крестовиков.

Необходимо отметить, что количественный учет ловчих сетей пауков, проведенный ранним росистым утром, может быть использован как биоиндикатор массового скопления летающих насекомых. Вдоль рек и озер плетет свои круговые горизонтальные сети интересный паук-кругопряд семейства *Tetragnthidae*. Ловчие сети тетрагнат хорошо структурированы. Ареал их распространения очень широк: зона тайги, Камчатка, средне-европейская часть, Казахстан, Туркмения.

Поведение насекомых — основа экологического биотестирования

Класс насекомых по праву считается самым многочисленным и многообразным по числу представленных видов в биосфере. Обладая относительно небольшим периодом индивидуальной жизни от месяца до нескольких лет, насекомые способны в большей степени, чем другие животные, видоизменяться и адаптироваться. По моему глубокому убеждению, если бы наши знания о поведении насекомых были достаточно полными, то практически все антропогенные изменения окружающей среды и прогноз последствий этих изменений можно было бы осуществить на основе биотестирования насекомых. Так нарушение трофического поведения гусениц тутового шелкопряда отмечено при воздействии фтора. Изменение роящей активности муравьев *Formica polycten* при действии пестицидов коррелирует с их выживаемостью. При действии инсектицидов наездники-бракониды перестают откладывать яйца в тела тлей, а совершают чистящие движения (Козлов, 1992). Общее физиологическое состояние организма насекомого, определяемое по общему количеству гемоцитов, хорошо коррелирует с загрязнением сернистым ангидридом и тяжелыми металлами.

В ряде случаев наблюдается повышение устойчивости насекомых к инфекционным заболеваниям. По данным В.С. Бирга, гусеницы соснового шелкопряда в зоне среднего антропогенного загрязнения оказались в 2 раза более устойчивыми, чем гусеницы из чистых местообитаний. Наблюдалось также отсутствие летней диапаузы у жужелиц *Nebria brevicolor* в зоне загрязнения тяжелыми металлами. Нарушение коммуникационного поведения сообществ насекомых: муравьи, пчелы, отмечалось при повышении содержания соединений меди, цинка, хрома, соли ртути, кадмия, свинца. Поэтому отсутствие муравейников в типичных биоценозах может быть использовано при биотестировании тяжелых металлов. В то же время лесные муравьи активно питаются иксодовыми клещами, которые, в свою очередь, являются разносчиками энцефалита и болезни Лайма в Сибири и на Дальнем Востоке.

Обычно радиус действия охотничьих троп лесного муравейника — 50–100 м. С большой уверенностью можно считать, что в этом же радиусе практически отсутствуют самые страшные для городского человека «звери» тайги — клещи. На территории муравейников можно безбоязненно устраивать пикники, привалы, разбивать палатки, но при этом не следует тревожить муравьиную жизнь — жизнь этого удивительного лесного народа.

Достаточно широкое распространение получило использование меда и прополиса для определения концентрации в них тяжелых металлов и других токсических соединений. Беря пробы меда и прополиса в различных регионах, можно составить достаточно подробную карту загрязненности интересующего нас района, а также осуществлять мониторинг экологического состояния окружающей среды.

Переменное электрическое поле линий электропередачи и подстанций при напряженности 10 кВ/м и выше изменяет траекторию полета крупных насекомых: стрекоз, бабочек. У бабочек, в результате наведенного при

действии электрического поля электростатического заряда при полете через ЛЭП СВН в непосредственной близости от проводов наблюдается эффект «схлопывания». Бабочки падают на землю, «разряжаются» и вновь порхают, правда, при этом стараются не подлетать к проводам (Орлов, 1990).

Биоиндикационные реакции позвоночных животных

Рыбы. Наиболее чувствительной формой поведения рыб при изменении физико-химических свойств водоемов является нерестовая миграция промысловых рыб: лосося, сига, осетра, стерляди, муксуна, хариуса. Известно, что наиболее ценные породы рыб мечут икру в чистой воде при максимальной концентрации в воде кислорода. Ориентация к месту нерестилищ происходит у рыб с помощью органов боковой линии и химических рецепторов. Естественно, что всякое химическое и электромагнитное загрязнение рек и озер нарушает нерестовую миграцию рыб. Так, в Томской области в результате активной добычи нефти и загрязнения рек, по данным А.Н. Гундризера, нарушена сезонная миграция осетровых. Полупроходная рыба муксун поздней осенью проходила на нерест в реки Томь, Чулым и другие малые реки. Регулярные сбросы в Томь токсических веществ, включавших фенолы и другие органические соединения, промышленностью Кемеровской области привели к загрязнению реки Томи и отсутствию нерестовых косяков муксуна. Муксун стал нереститься в низовьях рек Томи и Оби. Перестроечная волна закрытия предприятий значительно снизила количество сбрасываемых токсических веществ в реку Томь. И в течение 1993–1997 гг. наблюдается увеличение численности нерестящихся косяков муксуна в Томи. Аналогичная ситуация наблюдается и в некоторых малых реках Кемеровской области, в которых за последние пять лет появились не встречавшийся там более 30 лет хариус, таймень и речная минога.

Современное строительство нефтепроводов и газопроводов, пересекающих речные бассейны, и сопутствующая им антикоррозийная электрохимическая защита трубопроводов, подающая на поверхность трубы электростатический потенциал: 8–36 В, а в случае появления коррозии и ток, равный 2 А, также препятствуют нерестовой миграции рыб. По нашим данным, в области нефтепровода наблюдается задержка сезонной и нерестовой миграции: для стерляди — в 2–3 раза, для муксуна — в 3–6 раз. По данным А.В. Яблокова, электрические поля пересекающих Волгу высоковольтных линий электропередачи также нарушают миграцию осетровых рыб. Экспериментальные исследования показали, что незначительное количество ДДТ и хлорофоса вызывает угнетение дыхания и авитаминоз у беспозвоночных гаммарид и рыб. Сотрудниками МГУ разработана методика контроля качества воды при фенольном загрязнении, основанная на характерном изменении поведения рыб. При использовании в качестве индикатора рыб *Micropterus salmoides* регистрировались в воде концентрации

ртути — 0,05 мг/л, меди — 0,05 мг/л, кадмия — 0,2 мг/л, фенола — 0,5 мг/л, аммония — 1 мг/л, цианидов — 0,05 мг/л. Значительное повышение загрязненности водоемов органическими отходами тяжелых металлов и радионуклидами приводит к изменению морфологии организма рыб. Наиболее значительные изменения наблюдаются в плавниках рыб, особенно в спинном плавнике. По данным Т.В. Юраковой (1998), в спинном плавнике, как правило, происходит сокращение числа отростков — у голяна в реке Казанке Томской области, но иногда наблюдается и увеличение. Интересную трансформацию, по данным тех же авторов, претерпел карась, обитающий в речке с повышенной радиоактивностью в г. Северске. Как известно, караси — гермафродиты, т.е. у них имеются и женские и мужские половые органы, однако, начиная с 1990 г., в речке регулярно отлавливают разнополых карасей.

Земноводные и пресмыкающиеся. Предки всех сухопутных позвоночных — лягушки, жабы, тритоны, змеи, ящерицы, полозы, черепахи и крокодилы, наверное, в большей степени, чем остальные виды, подвергались отрицательному антропогенному влиянию. И почти повсеместно взяты под формальную или реальную охрану. Сокращение их мест обитания отрицательно сказывается на численности их популяций и видовом разнообразии. Поэтому само наличие этих представителей в природной среде можно рассматривать в качестве индикатора относительного экологического благополучия. По данным американских исследователей, полициклические ароматические углеводы (ПАУ), попадающие в водоемы с нефтью, у хвостатых амфибий (*Ambistoma trigrinum*) вызывают в коже новообразования и цисты.

Так, по данным В.Н. Курановой (1992 г.), в районе г. Северска Томской области морфологические уродства у сеголеток остромордой лягушки достигают 34–46%. Наиболее выраженные аномалии в развитии амфибии отмечаются в районе впадения водного сброса радиохимических отходов в р. Томь: необычная пигментация кожных покровов ~ 2%; врожденные уродства конечностей — отсутствие части или всей передней и задней конечности ~ 4% ; повышенная васкуляризация кожи животных ~ 45%, выражающаяся в расширении капилляров и мелких сосудов, множественные кровоизлияния под эпидермисом амфибий и т.д. В качестве одного из эмбриотропных биотестов достаточно часто используется икра амфибий, позволяющая в зависимости от стадии ее созревания по количеству отклонений и уродств оценивать степень антропогенного воздействия на наблюдаемую популяцию. В большей степени поведение рептилий используется при прогнозировании стихийных бедствий: оползней, наводнений, землетрясений. В исследованиях китайских и казахстанских ученых собран обширный материал по миграциям рептилий, нарушению их зимней спячки и другим изменениям в поведении животных в период времени, предшествующий землетрясению.

Птицы. Относятся к классу позвоночных животных, тело их покрыто перьями, передние конечности преобразовались в крылья. Для птиц

характерен энергичный обмен веществ. Им свойственны сложные формы групповой организации, поведения и сигнализации, обеспечивающие эффективность размножения, кормодобывания и миграцию.

По отношению к местообитанию птицы консервативны. Каждый вид и подвид занимает определенный район. Гнездование птиц ежегодно происходит на определенном участке — гнездовой территории. Перелетные птицы, как правило, возвращаются к месту своего гнездования.

Естественно, что особенности гнездовой экологии птиц широко используются в качестве индикатора экологического состояния района. Наряду с изучением естественных кладок орнитологами используются искусственные гнездовья-скворечники со съемными верхними крышками, позволяющими регулярно проводить наблюдения за величиной кладки яиц, числом вылупившихся птенцов, их развитием, питанием и сроками вылета. В скворечниках, как правило, в зависимости от типа биотопа, поселяются скворцы, воробьи и другие птицы — дуплогнездники: синицы, горихвостки, поползни, мухоловки и т.д. Скворечники позволяют осуществлять контролируемый полевой эксперимент: их можно выставить в необходимом для статистической обработки количестве, ставить на территориях, которые интересуют эколога.

Следовательно, данный метод может быть рекомендован в качестве одного из важных показателей экологического мониторинга. В наших многолетних исследованиях, проводимых О.Г. Нехорошевым под ЛЭП-500, было установлено отрицательное влияние переменного электрического поля ЛЭП на заселяемость скворечников, рост и развитие птенцов. Известны факты отрицательного воздействия ДДТ на истончение скорлупы у многих хищных птиц: орлана-белохвоста, бурого пеликана. В колонии бурого пеликана массовая гибель яиц была связана с раздавливанием яиц с тонкой скорлупой птицами, сидящими в гнезде (Кулини, 1981).

Для большинства птиц характерны весенне-осенние миграционные перелеты. Последние десятилетия миграциям птиц посвящены многочисленные исследования орнитологов всего мира. Разрушение мест гнездования птиц, изменения климатических условий, загрязнение среды обитания птиц — все это нарушает древние пути миграции птиц и используется в качестве биологических индикаторов глобального экологического нарушения биосферы.

Адаптации в онтогенезе животных

Онтогенез — индивидуальное развитие организма от зародыша до смерти. Биологический период жизни каждого организма, в зависимости от вида биосистем, колеблется от суток до тысячи лет у деревьев. В процессе онтогенеза проявляются способности организма к выживанию и созданию репродуктивного потомства. Эволюционно развитие особи происходит нормально только в определенном диапазоне экологических факторов.

В процессе индивидуальной жизни каждая особь отличается от других особей данного вида. Индивидуальные особенности особей определяют полиморфизм популяции, а вероятность разнообразия признаков будущей популяции с помощью естественного отбора реализуется в онтогенезе.

Естественно, что адаптации, развившиеся в процессе индивидуального развития, обладают высокой прогностической ценностью. Под адаптацией понимается способность любой системы получать новую информацию для приближения своего поведения и структуры к оптимальным показателям. Системы адаптивны, если при изменении в их окружении или внутреннем состоянии, снижающем их эффективность в выполнении своих функций, они реагируют или откликаются, изменяя свое собственное состояние или состояние окружающей среды так, чтобы их эффективность увеличилась (Акофф, Эмерли, 1974). Термин «адаптация» в общем случае выступает в трех аспектах: 1 – адаптация как свойство системы приспосабливаться к возможным изменениям функционирования; 2 – адаптация как сам процесс приспособления адаптивной системы; 3 – адаптация как метод, основанный на обработке поступающей информации и приспособленный для достижения некоторого критерия оптимизации.

Первый аспект определяет свойство – адаптивность системы. Второй аспект определяет процесс приспособления системы – адаптацию. Третий аспект определяет метод адаптации – адаптационные алгоритмы. Если при этом системы дополняются способностью к дальнейшей адаптации при появлении новых изменений то такие модели следует называть адаптивными (Светуньков, 1999).

Адаптация в кибернетике – процесс накопления и использования информации в системе, направленный на достижение определенного, обычно оптимального в некотором смысле, состояния или поведения системы при начальной неопределенности и изменяющихся внешних условиях. При этом могут изменяться параметры и структура системы, алгоритм функционирования, управляющие воздействия и т.п. Адаптация применяется в тех случаях, когда воздействующие на систему факторы являются полностью или частично неизвестными. В процессе адаптации система накапливает данные об этих факторах и определяет их характеристики. Адаптация реализуется в адаптивных системах управления, частным случаем которых являются самонастраивающиеся системы. Адаптацию можно рассматривать как процесс самообучения системы к новым условиям. **Скорость адаптации** можно определить экспериментальным путем на кибернетических моделях либо экспертной оценкой темпов накопления знаний человечеством, процессом приспособления строений и функций организмов и их органов к условиям среды. В живых организмах приспособления возникают и развиваются под воздействием трех основных факторов: изменчивости, наследственности и естественного отбора. В результате повышается устойчивость организма к холоду, теплу, недостатку кислорода, изменениям давления и т.д. В технических системах адаптация заключается в накоплении и последующем использовании

информации о законах изменения состояния управляемого объекта или условий управления. В более широком масштабе адаптациями в биологии называют возникновение и развитие определенных, конкретных морфофизиологических свойств, значения которых для организма связаны с теми или иными общими или частными условиями его абиотической и биотической среды.

Филогенетическая адаптация – это процесс, длящийся на протяжении жизней нескольких поколений, и поэтому не может быть свойством одного отдельно взятого организма. Гомеостаз организма как основное свойство есть результат филогенетической адаптации. Однообразие представителей человеческого вида проявляется не в строгом сходстве морфологических и функциональных признаков отдельных индивидов, а в соответствии их внешним условиям окружающей среды. Различие в строении органов и тканей не является отрицанием нормы. Важно, соответствуют ли строение и его функции вариациям внешней среды. Если структура соответствует колебаниям внешних факторов, значит, она обеспечивает жизнеспособность организма и определяет его выживаемость.

Содержание понятия адаптации охватывает не только способность живых систем отражать посредством изменения факторы среды, но и способность этих систем в процессе взаимодействия создавать механизмы и модели активного изменения и преобразования среды, в которой они обитают. В основу современных представлений об адаптации в медицине положено определение Жана Батиста Ламарка (1744–1829) о том, что при изменении условий изменяется и организм. Следовательно, под адаптацией понимается совокупность реакций, обеспечивающих приспособление организма или его органа к изменению окружающих условий (Малов, 2001).

Адаптация, как и адаптационный ответ, может осуществляться на различных уровнях: 1 – на уровне клетки в виде функциональных или морфологических изменений; 2 – на уровне органа или группы клеток, имеющих одинаковую функцию; 3 – на уровне организма как морфологического, так и функционального целого, представляющего собой совокупность всех физиологических функций, направленных на сохранение жизненных функций и самой жизни. С учетом этого Н. Hensel выделяет различные уровни адаптационных процессов: 1 – привыкание, 2 – функциональная адаптация, 3 – трофо-пластическая адаптация. Под привыканием подразумевается начальный процесс адаптации под влиянием кратковременного воздействия стрессора.

Под функциональной адаптацией подразумевается продолжительное состояние, возникающее под влиянием определенных раздражителей, приводящих к физиологическим изменениям гомеостаза человека и животных. Трофо-пластическая адаптация является дальнейшей ступенью адаптационных процессов и не принадлежит к терапевтической области реабилитационной медицины, так как при ней наступают морфологические изменения органов и систем организма.

Главное содержание адаптации, по мнению Т. Пилат, – это внутренние процессы в системе, которые обеспечивают сохранение ее внешних функций по отношению к среде. Если структура системы обеспечивает ей нормальное функционирование в данных условиях среды, то такую систему следует считать адаптированной к этим условиям. На этой стадии устанавливается динамическое равновесие, при котором происходит изменение физиологических показателей в границах нормы.

Адаптация – понятие чрезвычайно широкое. Оно включает в себя огромный массив проблем – биолого-медицинских, социальных, психологических, технических, географических, исторических и т.д. По существу, сам процесс развития жизни на Земле предполагает адаптацию организмов к окружающей среде и к существующим условиям, так как их возникновение и выживание возможны только при соответствии окружающей среде, а это соответствие достигается путем адаптации. Выживают те организмы, которые вырабатывают лучшие формы своего сохранения. Их развитие, переход на более высокую степень обусловлены необходимостью адаптации. Болгарский философ И. Калайков отмечает, что понятие адаптации относится к той группе общенаучных понятий, которые действительны для многих отраслей знания. В понятие «адаптация» вкладывается определенное содержание, характеризующее закономерные стороны и свойства живой материи. Понятие адаптации, охватывает, в частности, два свойства, присущих любой форме существования живой материи: свойство живых систем снимать воздействие раздражителей с помощью изменения, которое реализуется посредством отражения – следа и отражения – ответной реакции, и свойство живых систем вырабатывать в себе в процессе взаимодействия способность к изменениям. Понятие адаптации включает в свое содержание изменения, ведущие живую систему к укреплению в ней антиэнтропийных процессов, к самовосстановлению, стабилизации и прогрессу (Калайков, 1984, Агаджанян, 1998).

Таким образом, понятие адаптации отображает в своем содержании как общее, одну из бесчисленных сторон универсальной связи и взаимодействий действительности, так и особенное содержание объективных связей и отношений между организмом и средой. В конечном счете, адаптация отражает и специфические, конкретные формы связи живых систем, которые формировали в процессе эволюции различные уровни своей организации от раздражимости до сознания.

Эти конкретные виды связей устанавливаются в зависимости от характеристик жизненных условий и уровня организации живых систем. Процесс физиологической адаптации к необычным, экстремальным условиям проходит несколько стадий или фаз: вначале преобладают явления декомпенсации – нарушения функций, затем неполного приспособления – активный поиск организмом устойчивых состояний, соответствующих новым условиям среды, и, наконец, фаза относительно устойчивого приспособления. Это хорошо прослеживается, например, при адаптации к высоте. Изменения условий в этом случае комплексны, но наибольшую роль

играет недостаточность парциального давления кислорода в связи с общим понижением барометрического давления (Бушов, 1992). При подъёме на высоту наблюдаются головокружения, нарушения зрительного и слухового восприятия, одышка и другие явления, характерные для высотной болезни. Постепенно в результате адаптации явления декомпенсации нейтрализуются и возникает приспособленность к этим необычным условиям: увеличивается количество эритроцитов, растёт способность гемоглобина связывать кислород, усиливается лёгочная вентиляция, нормализуются сердечная деятельность, состояние нервной системы и т.д. Как правило, понятие адаптации используется при относительно кратковременных воздействиях факторов на организм, в то время как более длительное влияние, охватывающее периоды существования нескольких поколений, относят к акклиматизации.

Акклиматизация – приспособление организмов – возможна двумя путями: 1) изменением обмена веществ организмов. Такого рода изменения – *модификации* не наследуются и определяются нормой реакции организма. В этом случае происходит *натурализация*, например многие злостные и карантинные сорняки и вредители, имеющие широкую норму реакции генотипа и свободно распространяющиеся по планете. При этом генетическая структура популяции или вида не изменяется; 2) изменением генетической структуры вида. Типичной **акклиматизацией – приспособлением** к факторам, определяющим генетическую структуру вида и обуславливающим **выживание**, – является естественный отбор. В онтогенезе **приспособление организмов** определяется богатством генофонда популяции. Некоторое значение при **акклиматизации** имеют спонтанные мутации, но частота их невелика. **Акклиматизация** происходит при переселении организмов в новые для них районы или места, где они ранее были истреблены. **Акклиматизация** наблюдается при изменении условий обитания, например при вырубке лесов или посадке лесных полос, орошении пустынь или осушении болот и т.д. В этих случаях одни организмы откочёвывают или гибнут, другие приспособляются к новым условиям среды, т.е. акклиматизируются (Шварц, 1980).

Конечным итогом акклиматизации является выживаемость популяций в новых условиях, в то время как физиологическую адаптацию в онтогенезе необходимо рассматривать в качестве определяющего процесса при селекции особей. В этом отношении большое значение имеет выяснение зависимостей развития адаптивных реакций в постнатальном онтогенезе при хроническом действии факторов.

В постнатальном онтогенезе на уровне организма выделяются основные процессы, формирующие физиологические адаптивные реакции: ростовые процессы, пролиферация, дифференцировка, генетическая и нейрогуморальная регуляция онтогенеза, возрастная устойчивость, критические периоды развития.

Совокупность всех адаптационных изменений в онтогенезе можно разделить на индивидуальные и видовые.

К видовым приспособлениям относят смертность особей на различных этапах индивидуального развития, тератогенез — врожденные аномалии развития, препятствующие нормальному размножению, а также нарушения в репродуктивной системе: сперматогенезе, оогенезе.

К индивидуальным адаптациям относится весь комплекс экологофизиологических механизмов, обеспечивающих гомеостаз организма.

По нашим данным, хронические действия электромагнитных полей при увеличении напряженности приводят к увеличению частоты колебаний в постнатальном онтогенезе показателей индивидуальной адаптации белых мышей, в то время как показатели видовой адаптации животных возрастают по амплитуде.

Естественно, что увеличение по амплитуде показателей видовой адаптации в онтогенезе сопровождается и летальным исходом наиболее неустойчивой части особей. При последующем увеличении интенсивности воздействующего фактора и увеличении частоты колебаний показателей индивидуальной адаптации происходит срыв систем гомеостаза, развиваются патологии, приводящие к летальному исходу (Карташев, 2010).

Большой интерес представляет эволюция онтогенеза живых организмов. Рассмотрим, как в процессе эволюции меняется соотношение между двумя основными периодами онтогенеза: эмбриональным и половозрелым (взрослым). Для простейших как при бесполом, так и при половом размножении эмбриональная стадия, т.е. стадия формирования самого организма, занимает от 1 до 5% периода всего индивидуального развития.

Но уже у губок происходит увеличение эмбрионального периода до 10–20% в связи с образованием свободноплавающей личинки, которая прикрепляется к субстрату в наиболее оптимальных экологических условиях. Начиная с губок, личиночные стадии организма беспозвоночных приобретают особую экологическую роль за счет расширения экологической возможности выбора оптимальных условий местообитания (Догель, 1981). Наибольшего расцвета личиночные стадии со сложными процессами метаморфоза достигли у насекомых, где они занимают 90-98% всего периода индивидуального развития организма.

Вместе с превращением внешнего скелета во внутренний: у хордовых и позвоночных животных с развитием и увеличением по массе как спинного, так и головного мозга происходит и сокращение эмбрионально-личиночной стадии развития до 1-5% и, соответственно, увеличение постэмбриональной стадии с новыми этапами онтогенеза. Это ювенильный; период полового созревания; репродуктивный — период размножения; инволюционный — период старения. Все устойчивые этапы онтогенеза — эмбриональные, личиночные и постнатальные — разделены так называемыми «критическими периодами», в которых осуществляется переход от одного типа гомеостазирования к последующему возрастному этапу. Критические периоды являются самыми чувствительными этапами индивидуального развития организма. В критические периоды энергетические и метаболические ресурсы направлены на создание относительно нового организма, соответствующего новому возрастному состоянию, и поэтому

защитные механизмы адаптации наименее устойчивы к действию вредных факторов среды. Естественно, что критические периоды, как правило, ограничены во времени и по возможности защищены поведенческими алгоритмами.

Несмотря на все возможные превентивные меры, хронические антропогенные факторы, не вызывающие серьезных изменений в стабилизированных периодах онтогенеза, могут оказывать существенное биологическое влияние в критические периоды развития. Хроническое действие переменного электрического поля приводит к наиболее выраженным нарушениям в системе надпочечных и щитовидной желез в критические периоды развития организма животных. Постнатальный онтогенез животных и человека представляет собой развёртывание генетической программы индивидуального организма во времени с целью оптимальной реализации воспроизводства и сохранения преимуществ вида. Физиологические системы млекопитающих обеспечивают развитие и приспособление организма к условиям окружающей среды. Комплексное исследование гистоморфологических показателей системы крови, сперматогенеза, надпочечных и щитовидной желез беспородных белых мышей по пятнадцати возрастным периодам позволило уточнить возрастные особенности критических периодов каждой из физиологических систем. Выявленные статистические зависимости возрастных динамик показателей каждой из подсистем позволили описать три типа интегральных зависимостей постнатального развития животных. Прежде всего, это рост и увеличение массы тела, характеризующийся аллометрической возрастной зависимостью. Для второй интегральной возрастной составляющей – пролиферативной активности – характерно торможение после максимальных значений в первые дни после рождения. Третья составляющая, включающая интенсивность эндокринных процессов и дифференцировки клеток носит колебательный тип возрастной зависимости в постнатальном онтогенезе животных. Следовательно, постнатальный онтогенез животных может быть представлен в виде развивающейся системы, состоящей из процессов роста, противоположного процесса торможения и деградации и волнообразных изменений, синхронизирующих разнонаправленные процессы развития организма. Вероятно, интенсивность колебательных физиологических изменений определяет степень устойчивости организма к внешним воздействиям и продолжительность индивидуальной жизни животных и человека.

Изучение хронических факторов, по продолжительности воздействия сравнимых с периодом индивидуальной жизни мышей, позволило выявить новые физиологические зависимости в постнатальном развитии животных. Длительное влияние переменного электрического поля приводит к системным кумулятивным изменениям физиологических систем, наиболее выраженным в критические периоды ювенильного и инволюционного возраста животных. Кумулятивные изменения в системе сперматогенеза при действии электрического поля снижают количество сперматозоидов и

сокращают длительность активного периода сексуальной деятельности организма животных. Постоянная цеолитовая подкормка стимулирует физиологические процессы в молодом возрасте, менее эффективна на этапе половозрелости и приводит к негативным процессам в старости. Исследования выявили и негативные последствия длительного применения цеолитов в среднем и старом возрасте, проявляющиеся в снижении уровня сексуальной активности, сперматогенеза и дисбалансе в системе крови животных. Необходимо подчеркнуть сбалансированность внутренней среды организма, и введение, как и необоснованное выведение биологически целесообразных веществ оказывает негативное воздействие на физиологическое состояние животных и человека. Изучение длительного влияния зоопрепарата на физиологическое состояние мышей в молодом, среднем и старом возрасте выявило волнообразный характер адаптивных реакций. В начальный период действия наблюдается повышение исследуемых показателей, которое сменяется угнетением. Поэтому при регламентации каждого из зоопрепаратов в качестве биологических добавок необходимо учитывать не только безопасную физиологическую дозу, но и длительность использования биологически активных добавок для каждого возрастного периода животных и человека. Профилактическое, предварительное введение препарата приводит к повышению радиорезистентности и более мягкому развитию адаптивных реакций организма млекопитающих при действии относительно небольших доз ионизирующего излучения.

Выделены четыре составляющие адаптационного процесса постнатального онтогенеза животных. Первая составляющая, ответственная за изменения роста и массы тела, при действии хронических факторов варьирует в пределах интенсивности ростовых процессов. Вторая компонента аналогична возрастной динамике пролиферативной активности, и длительное влияние факторов приводит к изменениям её возрастной динамики и торможению в начальный период старения. В третьей составляющей присутствуют адаптивные процессы дифференцировки клеток тканей. Для неё типичен волнообразный принцип развития адаптивных реакций в постнатальном онтогенезе животных, и внешние воздействия десинхронизируют возрастные зависимости показателей состояния организма. Аналогичный характер возрастных адаптаций проявляется и в эндокринных процессах, частота и амплитуда которых пропорциональна уровню воздействия хронических факторов на развивающийся организм. В то же время возрастная устойчивость в различные периоды индивидуальной жизни животных и человека оказывает корректирующее влияние на интенсивность и успешность адаптаций в постнатальном онтогенезе. (Карташев, 2010). Необходимо отметить, что современные предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и предельно допустимые уровни (ПДУ) физических воздействий, разрабатываются без учета критических периодов индивидуального развития животных и человека. Естественно, что в качестве биоиндикаторов онтогенеза

целесообразно прежде всего обратить внимание на наиболее чувствительные этапы онтогенеза. Таким этапом, по мнению большинства исследователей, является эмбриональный период развития живых организмов (Рэфф, Кофман, 1986).

Как правило, эмбриональные изменения носят неспецифический характер, т.е. они оценивают общую экологическую напряженность, и только в отдельных случаях при проведении дополнительных экспериментальных исследований может быть выявлена специфичность повреждающего фактора (табл. 4). Различного рода тератогенные (уродливые) изменения растений достаточно успешно используются в качестве индикаторов степени загрязнения биогеоценозов (Бондарь, Частоколенко, 1990).

В качестве показателей анализируется частота встречаемости различных отклонений в развитии: карликовость, ветвистость, компактность, образование наростов на стволах деревьев. Для оценки репродуктивной способности — плодовитость, асинхронность в развитии соцветий, степень стерильности соцветий, бутонов и пыльцы.

Т а б л и ц а 2

Соотношение мутагенного, гонадотропного и эмбрионного эффектов для техногенных воздействий

| Фактор | Мутагенность | Гонадотропность | Эмбриотропность |
|-------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| Этиленмин | + | + | + |
| Хлоропрен | + | + | + |
| Окись этилена | + | — | — |
| Уреган | + | — | + |
| Тетрациклин | + | + | + |
| Винилхлорид | + | — | — |
| Пирролидин | — | + | — |
| Динил | — | — | + |
| Капролактам | — | + | + |
| Диметилформамид | — | — | + |
| Фенол | — | + | + |
| Бензол | + | — | + |
| Бензин | — | + | + |
| Бензопирен | — | — | + |
| НС1 | — | — | + |
| 2, 4, 5 - Т | + | + | + |
| Радионуклиды | + | + | + |
| Электромагн. поля | — | + | + |
| Шум > 90 дВ | — | — | + |
| Кадмий | — | + | + |
| Ртуть | — | + | + |
| Цинк | — | + | + |

При инкубировании икринок форели с бензопиреном — одним из основных токсических веществ при неполном сгорании автомобильного топлива в концентрациях, равных загрязненным рекам, увеличивалось в 4 раза число морфологических аномалий: отсутствие пигментации, деформация позвоночника, аномальное развитие или отсутствие глаз. Аналогичные изменения отмечались при действии малатиона на лягушечью икру.

. Неоднократно наблюдались случаи появления уродливых птенцов при попадании в корм полихлорбифенилов (ПХБ). Задержка в развитии, росте и созревании организмов также является достаточно чувствительным биоиндикаторным показателем загрязнения окружающей среды. По данным А.Г. Гусева, 0,1 мг/л концентрация нефтепродуктов в воде приводит к нарушению жизненного цикла зоопланктона. Ветвистоусые рачки-дафнии при загрязнении водоемов откладывают в выводковую камеру только неоплодотворенные яйца, из которых выходят одни самцы.

Установлено, что растворенные хлорорганические вещества останавливают развитие некоторых видов морского фитопланктона. Токсины цианобактерий при загрязнении водоемов органикой угнетают рост пресноводных рыб.

Для оценки репродуктивной функции достаточно универсальным тестом являются процессы сперматогенеза и оогенеза. Вероятно, это самые древние процессы биосистем и наиболее консервативные. Процесс сперматогенеза за исключением небольших вариаций остался неизменным для всех беспозвоночных и позвоночных животных и состоит из образования диплоидных сперматогоний, сперматоцитов, делений с образованием гаплоидного числа хромосом — сперматид, процессом их дифференцировки в сперматозоиды. Поскольку конечным результатом всех адаптивных реакций организма является благополучие потомства, нарушения в системе сперматогенеза и оогенеза, вероятно, могут быть использованы в качестве одного из универсальных биотестов для всех животных при оценке их устойчивости к антропогенным загрязнениям окружающей среды. В наших исследованиях удалось установить дифференцированный характер изменений в системе сперматогенеза мышей в зависимости от природы воздействующего фактора. Так хронические дозы радиации 5 рад приводили к нарушениям сперматогоний, в то время как хроническое влияние переменного электрического поля (40 кВ/м, 50 Гц) вызывало нарушения при дифференцировке сперматид в сперматозоиды. Как в первом, так и во втором случае наблюдалась стерильность организма в более раннем возрастном периоде, чем у группы контрольных животных. Достаточно эффективным показателем является и количество находящихся на последней стадии зародышей в икре лягушки и рыб. У мышевидных грызунов при ухудшении экологических условий происходит резорбция, или рассасывание, эмбрионов, однако гистоморфологическими методами достаточно четко можно установить, какое количество эмбрионов было первоначально.

Немаловажное значение в индивидуальном развитии животных занимают онкологические заболевания, провоцируемые токсическими веществами антропогенного происхождения. Практически все виды животных, обитающих в различных средах, оказываются чувствительными к токсикантам. В связи с тем, что патологические процессы раковых заболеваний протекают по общему механизму, выявление частоты встречаемости онкологических заболеваний у животных является перспективным направлением биоиндикационной оценки состояния природной среды. Методики определения онкологических заболеваний животных сравнительно не трудоемки, позволяют определить очаги заболеваний и сделать ретроспективные выводы о вероятности развития онкогенеза у проживающих в данном районе людей.

Популяционно-видовой уровень биоиндикации

Все виды животных организмов в естественных условиях представлены конкретными популяциями. В современной экологии популяции живых организмов рассматриваются как элементарные единицы микроэволюции, которые способны реагировать на изменения среды перестройкой своего генофонда. Как группа совместно обитающих особей одного вида, популяция является элементарной единицей биоценотического взаимодействия. Естественно, что под влиянием антропогенных факторов, разрушающих среду обитания, одни популяции вымирают, другие, более устойчивые, и, как правило, более просто организованные, расширяют свои ареалы обитания. К первому типу видов животных и растений можно отнести сокращающиеся популяции видов, занесенных в Красную книгу. Численность этих видов является индикатором экологического благополучия конкретно рассматриваемого биоценоза, исчезновение видов из их среды обитания можно рассматривать как деградацию эволюционно сложившихся природных сообществ.

Растения. Размеры ареалов популяций растений существенно зависят от газодымных выбросов. В качестве биоиндикатора многолетних наблюдений загрязненности может быть использован дымоустойчивый вид накипного лишайника (*Liecanora coniza-coides*), который встречается на всех древесно-кустарниковых породах (Шуберт, 1988). Уменьшение обилия лишайников коррелирует с концентрацией SO_2 в воздухе. Водное растение чилим (*Trapa natans*) распространено только в чистых, незагрязненных водоемах. Значительное сокращение чилима в реках и озерах Европы происходит в результате увеличения концентрации углеводов.

Аэрозоли ZnO , PbO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 и NCl отрицательно сказываются на росте пихты, ели и в последнюю очередь сосны. Необходимо отметить, что пихта очень чувствительна к атмосферным и гидрологическим загрязнениям. Картирование ареалов пихты при многолетней динамике может быть использовано в качестве оценки степени атмосферной загрязненности промышленными предприятиями. Высокой

устойчивостью к SO_2 обладает японская лиственница, и вытеснение ею лиственницы обыкновенной также свидетельствует о неблагоприятной экологической ситуации. По отношению к тяжелым металлам также можно выделить ряд устойчивых растений: подорожник — устойчив к мышьяку и окисям свинца автомобильных газов, полевица (*Agrostis tennis*) — устойчива к меди, смолевка хлопущка, фиалки (*Viola calaminaria*), армерия Галлера, армерия приморская, которые растут на старых отвалах медных рудников.

Весь комплекс антропогенных воздействий в первую очередь оказывает широкое воздействие на растительность, изменяет эволюционно сложившиеся ареалы популяций растений. Для оценки и прогнозирования возникающих экологических ситуаций необходимы исследования по составлению подробных геоботанических карт природных территорий и разработка на их основе долговременных рекультивационных комплексных мероприятий в зависимости от целевого использования природных территорий.

Беспозвоночные. Использование популяций беспозвоночных животных в качестве биоиндикаторов позволяет охватить почти все известные среды обитания биосистем.

Популяционные показатели позволяют оценить антропогенное воздействие на среду обитания в биологически понятных характеристиках, учитывающих как антагонизм и синергизм влияния загрязнителей, так и модификацию их экосистемными процессами.

В качестве биоиндикаторов используются, как правило, такие виды животных, жизненные функции которых скоррелированы с факторами внешней среды. Наблюдаемые изменения показателей состояния популяций необходимо соотносить друг с другом или с контролем по схеме, предложенной G. Stocker (1981).

I. Абсолютные стандарты

1. Сравнение с характеристиками объектов, находящихся вне зоны воздействия.

2. Сравнение с экспериментальными результатами.

3. Сравнение с характеристиками объектов, полученными в прошлом.

4. Изучение градиента изменений одного и того же объекта.

II. Относительные стандарты

1. Выявление корреляций с пространственно-временными изменениями факторов условий обитания.

2. Выявление эталонных объектов, незначительные антропогенные влияния.

3. Сравнительный перекрестный анализ по абсолютным и относительным стандартам.

Как правило, выделяют две группы индикаторов:

1 — реагирующие на нарушения экологической ниши — виды-указатели.

2 — аккумулирующие загрязняющие вещества — тест-виды.

Выбранные виды, как правило, должны обладать низкой подвижностью, быть массовыми, широко распространенными, однородные в

таксономическом плане, с исследованной популяционной структурой, обладающие широкой индикационной пластичностью.

В таблице 3 представлены наиболее широко используемые виды беспозвоночных по основным типам антропогенных загрязнителей.

В качестве индикаторов используются различные группы беспозвоночных, в лучшей степени этот вопрос разработан для почвообитающих и водных видов.

Анализ коэффициентов корреляции между уровнем загрязнения, определяемым техническими средствами, и отловом в почвенные ловушки представителей энтомофауны позволил считать, что для индикации SO₂ могут быть использованы стафилиниды и таракановые, коэффициенты корреляции Rk для которых равны: – 0.649 и – 0.535. Для оксидов азота — жужелицы, Rk = – 0.63; фтора — долгоносики, Rk = – 0.52; полужесткокрылые, Rk = – 0.48 и жужелицы, Rk = – 0.47.

Беспозвоночные — индикаторы антропогенных загрязнений

| Тип воздействия | Виды беспозвоночных | Реакции на популяционном уровне |
|---|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| CO ₂ , SO ₂ , NO ₂ | Ночные бабочки, сатурнии, медведицы, пяденица, божья коровка | 70 % темноокрашенные мутанты |
| | Клещи — оribатидаы, сеноеды, саранчовые, листоеды, пауки-крестовики, муравьи, мухи-журчалки | Снижение численности |
| | Короеды, листовертки, моли-пестрянки, клопы-подкорники, трипсы, сосущие насекомые, тли, хермесы, трубковерты, долгоносики, моли-чехлоносики, побеговьюн, выемчатокрылая моль, пяденицы, волнянки, сосновый бражник, сосновая совка, пилильщики, звездный ткач, стафилиниды, сосновые лубоеды | Увеличивают численность |
| Тяжелые металлы | Пластинчатоусые, жужелицы — концентрируют цинк | Изменения в плотности расселения |
| | Пчелы | Накапливают свинец и кадмий в меде |
| | Пластинчатые жуки, злаковые мухи, коконопряды | Накапливают свинец, кадмий, никель |
| | Подкорник (<i>Aradus cinnamomeus</i>) | Плотность популяции пропорциональна градиенту загрязненности |
| Радионуклиды | Кузнечики, кошенили | Накопление цезия и стронция в 2-5 раз |
| | Тли (0.05-5 кР) | Снижается плодовитость |
| | Совки и пяденицы | Накапливают радиоактивные аэрозоли и разносят на большие расстояния |
| | Муравьи и термиты | Накапливают радионуклиды |
| | Пчелы (5 кР) | Облучение приводит к распаду колоний |

Изменение условий местообитания отмечалось у короедов в загазованных насаждениях, выражающееся в заселении несвойственным им участков ствола, искривлении маточных ходов и отсутствии отдушин для видов, обитающих под толстой корой. При исследовании чешуекрылых фитофагов в зоне загрязнения комбината Североникель М.В. Козловым установлено изменение характера распределения мин первичных беззубых молей семейства Egioscranidae, выражающееся в переходе от равномерного распределения по кронам берез к преимущественно групповому в нижнем ярусе крон. Большой интерес представляют изменения структуры популяции фитофагов при действии антропогенных факторов — размещение фитофагов по частям листа, листьям годичного побега, типам побегов, ярусам кроны

растений, характер распределения колоний и особей. Перспективным также, на наш взгляд, представляется использование в качестве биоиндикаторов популяционной структуры: пространственной, временной, возрастной, ловчих сетей и семейных домиков пауков.

Наиболее интересной и многообещающей группой беспозвоночных, используемых в качестве биоиндикаторов химического загрязнения почвы, являются дождевые черви и раковинные амёбы. (Карташев, Смолина, 2011) Широкое распространение почвенных беспозвоночных позволяет рассматривать их в качестве биоиндикаторов состояния почв в широком диапазоне воздействий естественных и антропогенных факторов. Развитие нефтедобывающей отрасли Западной Сибири привело к широкомасштабным загрязнениям почвенного покрова естественных биоценозов. Почвенные беспозвоночные, являясь составными компонентами почвенных экосистем, отражают негативные изменения при нефтезагрязнениях. Раковинные амёбы устойчивы к различного типа загрязнителям, относительно быстро размножаются, численность и видовой состав сообществ рассматриваются в качестве биоиндикаторов равновесного состояния почвенной зоосферы. Хроническое влияние нефтезагрязнений приводит к частичной элиминации неустойчивых видов тестаций в зависимости от концентрации нефти в почве. На основании проведённых исследований по хроническому влиянию нефтезагрязнений на сообщества раковинных амёб можно выделить некоторые общие зависимости в изменении структуры и численности элементов сообществ. В зависимости от длительности действия нефти рассматриваются четыре основные стадии развития адаптаций сообществ тестаций.

1. Стадия резистентности в течение первых шести суток, в течение которых сохраняется исходный уровень численности амёб.

2. Стадия снижения численности и видового разнообразия сообществ, которая наблюдается в течение последующих восьми суток и осуществляется в колебательном режиме.

3. Депрессивная стадия цистирования и вымирания, при которой происходит подавление развития, размножения, значительное снижение численности и видового разнообразия простейших.

4. Восстановительная стадия характеризуется повышением численности и видового разнообразия тестаций пропорционально деградации нефтезагрязнений, происходит в колебательном режиме.

В результате проведённых исследований по влиянию нефтезагрязнений на почву сухого луга и раковинных амёб установлено, что устойчивость амёб и их выживаемость существенно зависят от их морфологических особенностей: наличия двойной камеры в строении раковин. Виды двухкамерных амёб характеризуются повышенной относительно однокамерных тестаций выживаемостью и способностью к более быстрому восстановлению первоначальной численности. На основании проведённых исследований по хроническому влиянию нефтезагрязнений на сообщества раковинных амёб можно выделить основные процессы в изменении структуры и численности

элементов сообществ. Первый процесс характеризуется увеличением амплитуды и частоты колебаний численности видов сообществ. Второй-временным смещением и диссинхронизацией колебаний численности родов раковинных амёб. Третий – развитие антикорреляционных зависимостей в колебательных процессах динамик численности видовых групп сообществ. Дифференциация уровней численности на доминантные, субдоминантные, рецессивные и вымирающие виды Вымирание неадаптированных групп и построение новой структуры сообществ. Четвёртый-восстановительный: повышение численности выживших видов и синхронизация колебаний сезонных динамик численности составляющих видов сообществ. Необходимо отметить, что каждый из этапов перестройки сообществ обратим и при уменьшении действующих факторов способен к восстановлению.

При действии нефти происходит значительное снижение численности тестаций с последующим периодом восстановления. Повышенные концентрации нефти оказывают влияние на длительность восстановительного периода простейших. Уровень влажности почв определяет характер адаптивных реакций к нефти сообществ амёб. При высоком уровне влажности и покрытии почвенного слоя водой наблюдается значительное снижение численности всех видов раковинных амёб, обусловленное снижением килорода с последующим восстановлением пропорциональным повышению кислорода в припочвенном слое.

Дождевые черви при хроническом действии нефти и нефтепродуктов мигрируют из загрязнённых участков в горизонтальном направлении. Высокие концентрации нефти, бензина и дизельного топлива приводят к гибели животных. Высокая токсичность характерна для бензина и дизельного топлива. Необходимо отметить, что дизельное топливо и бензин относятся к группе веществ с более высокими коэффициентами испарения, чем нефти. Процессы дезактивации нефтепродуктов в почве проходят быстрее относительно нефтезагрязнений. Участки, загрязнённые нефтепродуктами, заселяются червями быстрее участков, загрязнённых нефтью. Выявлены адаптивные реакции популяции дождевых червей при хроническом влиянии нефтезагрязнений и нефтепродуктов: первый этап – частичная гибель и горизонтальная миграция из загрязнённой области, второй-миграция из приграничных районов, третий – постепенное заселение участков пропорциональное почвообразовательным восстановительным процессам. Установлено, что у дождевых червей, подвергшихся влиянию нефти и нефтепродуктов независимо от дозы загрязнителя, происходит снижение числа амебоцитов с нормальной формой ядер и увеличение числа амебоцитов с измененной формой ядер. Проведённые исследования выявили новые адаптивные изменения структуры сообществ раковинных амёб и популяций дождевых червей в зависимости от концентрации нефти и нефтепродуктов в почвах западной Сибири. На основании полученных зависимостей можно оценивать состояние восстановления почвенного покрова при нефтезагрязнениях. Результаты проведённых исследований в комплексе с

другими биологическими показателями могут быть использованы для оценки состояния почв в широком диапазоне воздействующих факторов.

В одном гектаре почвы содержится несколько тысяч дождевых червей, которые пропускают через свое тело от 2 до 5 г почвы в сутки, перерабатывают растительные остатки и роют ходы глубиной до 1,5 м. Длительность жизни дождевых червей составляет 4 до 6 лет, достаточно большой период, в течение которого в теле животного могут накапливаться токсины, тяжелые металлы и радионуклиды. Естественно, что численность червей, возрастной состав легко поддаются учету в пересчете на 1 кв. м и могут служить в качестве одного из основных биоиндикаторов при проведении экологического мониторинга почв. Последующий химический анализ всего организма животных позволяет определить доминирующие токсические факторы, снижающие численность дождевых червей и загрязняющие почвенный слой.

В пресноводных водоемах оценка степени загрязненности проводится на основе анализа донных сообществ и зоопланктона (Гиляров, 1987, Макрушин, 1974). Разработанная система показателей включает: численность донных беспозвоночных (колич./кв.м) — N , биомассу данных беспозвоночных (г/кв. м) — B , количество таксонов — S , индекс видового разнообразия — H , индекс доминирования — d , Y_s — индекс сапробности, K — хирономидный индекс, H_g — олигохетный индекс, W — биотический индекс. В соответствии с принятыми классами чистоты пресных вод по пятибалльной системе устанавливается и шкала присутствия донных беспозвоночных: III класс — слабая загрязненность, личинки насекомых, хирономиды, ручейник, моллюски, зоопланктон; IV класс — умеренная загрязненность, олигохеты — трубочник, хирономиды, моллюски; V класс — сильная загрязненность, трубочник. Следовательно, чистые водоемы — биоиндикаторы ручейник и личинки насекомых. Загрязненные водоемы — трубочник — индикатор органической загрязненности и хирономиды — мотыль, которые аккумулируют тяжелые металлы и радионуклиды. Что касается зоопланктона, то, по данным Рузаевой и Попковой, в водоемах г. Северска, сильно загрязненных радионуклидами (300-400 мкР/час) в результате регулярного сброса жидких отходов радиохимического завода, присутствуют панцирные коловратки — брахиониды и хидориды. Общей характеристикой сильно загрязненных водоемов является тенденция к уменьшению и исчезновению в составе зоопланктона фильтраторов с преобладанием собирателей и хватателей (табл. 4).

**Биоиндикационные характеристики различных вод
(Цит. по Г. Фелленбергу, 1966)**

| Критерий | Низкая загрязненность (олигосанпробы) | Средняя загрязненность | | Высокая загрязненность (полисанпробы) |
|-------------------|---|--|--|---|
| | | (β - мезосанпробы) | (α - мезосанпробы) | |
| Содержание O_2 | 8 мг/л | 6 мг/л | 2 мг/л | < 2 мг/л |
| БПК ₅ | 1 мг/л | 2 - 6 мг/л | 7 - 13 мг/л | 15 мг/л |
| Кол -во планктона | Малое | Большое | Среднее | Отсутствует |
| Видовой состав | Аэробные бактерии, водоросли, колловратки, планарии | Нитевидные бактерии, водоросли, креветки, улитки | Анаэробные бактерии, сине-зеленые водоросли, простейшие, пиявки, трубочник | Сине-зеленые водоросли, трубочник, хирономиды, ресничные инфузории, грибы |
| Рыбы | Лососевые | Много разных видов рыб | Мало видов рыб | Отсутствуют |

Контроль за экологическим состоянием воздуха в районе завода по сжиганию осадка сточных вод в Петербурге полностью доверен представителям животного мира. Теперь на помощь речным ракам, контролирующим состояние воды, пришли гигантские африканские улитки, которым доверено следить за чистотой воздуха. Зоологи предприятия «Водоканал Санкт-Петербурга» на Юго-Западных очистных сооружениях (ЮЗОС) на Волхонском шоссе рассказали ИТАР-ТАСС, что брюхоногие моллюски *Achatina* — таково научное название африканских улиток — дышат воздухом с примесью дыма, выходящего из трубы завода. К их раковинам прикреплены оптоволоконные датчики сердцебиения и поведения (двигательной активности). Показания приборов о функциональном состоянии животных считываются с помощью специальной программы в автоматическом режиме. Если со временем все улитки станут хуже себя чувствовать -, а это будет понятно по измерениям — система просигнализирует об этом, после чего специалисты выяснят причины ухудшения состояния воздуха.

Система биомониторинга воздуха на границе санитарно-защитной зоны завода реагирует не только на резкие и значительные по величине изменения степени биологической опасности загрязненного воздуха. На заводе есть индикаторная «спецгруппа» улиток. По их состоянию фиксируется накопление возможного негативного влияния на здоровье, связанного с хроническим токсическим воздействием загрязняющих веществ, выбрасываемых с дымовыми газами, даже при относительно низких концентрациях таких веществ.

Биоэлектронная система разработана учеными Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН (НИЦЭБ РАН).

На всех крупнейших станциях аэрации Санкт-Петербурга работают заводы по сжиганию осадка, но город на Неве стал первым мегаполисом в мире, где проблема утилизации осадка сточных вод полностью решена. Первый завод по сжиганию осадка был построен в 1997 году на Центральной станции аэрации. Завод на Юго-Западных очистных сооружениях заработал в ноябре 2007 года. В основу проектирования установки газоочистки завода были заложены жесткие российские и европейские требования к выбросам в атмосферу загрязняющих веществ

Предварительный и далеко не полный анализ возможностей популяции беспозвоночных животных в качестве индикаторов степени экологической стрессированности позволяет считать данное направление исследований относительно неразработанным, но перспективным в плане потенциальных нераскрытых возможностей.

Рыбы. Следующая достаточно интересная группа животных — рыбы. Прежде всего необходимо отметить одну характерную для всего класса биоиндикационную черту. Виды рыб, обладающие высокими вкусовыми и питательными качествами, живут и нерестятся в чистых, не загрязненных водоемах. Для нормального нереста ценных в промысловом отношении рыб — сиг, лосось, осетр, стерлядь, хариус, форель — необходима чистая холодная вода с максимальным количеством растворенного в ней кислорода. Все морские наиболее ценные продукты — устрицы, омары, угри, миноги и т.д. — также для сохранения своей популяции нуждаются в чистых, не загрязненных водах. В то же время карповые — лещ, язь, карп, елец, карась — хорошо размножаются в теплых и загрязненных водах. Естественно, что соотношение численности популяций высокопромысловых рыб к численности популяций низкопродуктивных рыб является индикатором степени загрязненности водоемов. Пожалуй, это один из очевидных случаев, когда экономические интересы общества совпадают с экологической целесообразностью. К наиболее устойчивым видам по отношению к органическим, радионуклидным и загрязнениям тяжелыми металлами относятся популяции карася, корюшки и гальяна. Показателями чистой воды является водяная минога, таймень, хариус, сиговые и т.д.

У рыб, планктона и моллюсков при закислении водоемов и снижении $pH < 5,2$ в первую очередь нарушается обмен Ca^{++} . У водорослей нарушается фотосинтез, у моллюсков разрушаются раковины, у рыб нарушается минеральный обмен. При $pH < 4,5$ из силикатов выщелачиваются ионы алюминия (Al^{+++}), которые вызывают некрозы тканей организма рыб и их гибель.

Одной из основных характеристик популяции рыб является возрастная структура популяций. В экологически устойчивых водоемах все три группы представлены приблизительно в равных соотношениях. А наличие старых крупных особей всегда являлось индикатором природной чистоты водоема. При загрязнении водоемов наряду с уменьшением видового разнообразия увеличивается численность молодых особей, карликовых, с ускоренным периодом созревания.

Так большая выживаемость голяна и корюшки в загрязненных техногенными выбросами водоемах Томской области объясняется способностью этих видов рыб к многократному нересту в течение одного сезона (Юракова, 1989). Как только водоем слегка очистится, рыбы откладывают икру, вылупившиеся мальки на 80-90% не доживают до взрослого состояния, происходит повторный нерест и т.д. В результате в сильно загрязненных водоемах при отловах доминируют молодые недоразвитые особи популяций устойчивых к загрязнению рыб. В реках, где уровень радиоактивности на поверхности колеблется от 30 до 700 мкР/час, наблюдались различные морфофизиологические изменения в организме карася, сазана, судака и щуки: пучеглазие ~ 5%, отечность тела и брюшка ~ 5-25 % ; полное разрушение структуры чешуи ~ 7% ; частичная дезориентация чешуи ~ 5-16% ; структурные нарушения в семенниках рыб ~ 8-25% ; частичная дегенерация ооцитов ~ 8-25% ; недоразвитие гонад ~ 8-13% ; полная дегенерация ооцитов ~ 9-12 % ; деформация ооцитов ~ 14-50% (Юракова, 1992).

Таким образом, уменьшение видового разнообразия, снижение численности ценных в промысловом отношении рыб, уменьшение размеров и преобладание молодежи в возрастной структуре являются индикаторами ухудшения экологического состояния водоемов.

На северо-востоке Японии, где по-прежнему происходят подземные точки, страдают не только люди, но и животные. Ученые заговорили о возможном ущербе для природы и животных. Причем, как теперь выясняется, птицы и рыбы предсказали землетрясение за несколько месяцев до того, как оно произошло.

Флора и фауна Японии в легком беспокойстве, ведь потрянуло не только землю, но и воду и даже воздух. К чести рыб, которые обитают в Тихом океане, они пытались предупредить о катастрофе заранее. Несколько последних месяцев японские рыбаки с удивлением вылавливали сетями глубоководную ремень-рыбу. Эта длинная и тонкая обитательница океана, похожая на змею, обычно не поднимается на глубину выше 200 метров. Именно она массово всплывала перед чилийским и тайванским

землетрясениями в прошлом году. Согласно японским легендам, рыба-ремень всплывает, только чтобы предупредить о надвигающемся землетрясении. Донные рыбы, особенно сомы, действительно хорошо чувствуют малейшее колебание дна, поясняет профессор кафедры ихтиологии биологического факультета МГУ А. Касумян.

«Сомовые рыбы очень чувствительны к геомагнитным изменениям. Даже были попытки использовать эту способность, чтобы предсказывать события. К сожалению, это не завершилось пока хорошими результатами», — рассказывает Касумян.

Кто не успел уплыть подальше от японского берега в пятницу, скорее всего, погиб, говорит Касумян. Огромное количество рыбы выбросило на сушу, самые нежные умерли от серных газов еще в воде.

«В основном опасны газы, которые проходят через водную толщу к атмосфере. И пока они проходят, часть веществ растворяется в воде. Могут отмечаться локальные случаи гибели рыб», — поясняет Касумян.

Впрочем, последствия для тех, кто выжил, также будут малоприятными, особенно когда весь мусор с земли начнет возвращаться обратно в океан, уверяет заведующий лабораторией прибрежной фауны Института океанологии РАН Н. Кучерук.

«Повреждение прибрежных нефтехимических заводов, производств и сброс различных загрязнителей — это не очень хорошо. Различные ракообразные, крабы, лангусты, моллюски, водоросли морской капусты, ламинарии — все это пострадало. Восстановление, если ничего больше не произойдет, должно занять от года до пяти лет», — подсчитывает Кучерук.

Пострадали от буйства стихии и пернатые.

В Японии традиционно зимуют журавли, в том числе и занесенные в Красную книгу, к примеру, японский журавль. В Стране восходящего солнца много морских птиц, которые находятся под угрозой исчезновения, — те же рыбный филин и хохлатый старик, объясняет президент Союза охраны птиц России Виктор Зубакин.

«Цунами может смыть гнезда морских птиц, находящихся на скальных обрывах. Цунами могло затопить и какие-то места кормежки для птиц. Безусловно, если произошло разрушение зданий, то синантропные птицы, которые гнездятся на зданиях, тоже могли пострадать», — утверждает эксперт.

Говорить о последствиях, по мнению экспертов, пока рано. Четких данных о том, кто из животных пострадал, нет. В любом случае серьезных и невосполнимых потерь флора и фауна Японии не понесла, считают ученые. Звери умнее людей: все из них, кто могли, покинули зону бедствия еще до землетрясения.

Амфибии и рептилии. Могут быть названы индикаторами чистых или умеренно загрязненных мест обитания. Проживая в местах с повышенной влажностью, как правило это низины, в которых сохраняются небольшие водоемы при стоке вод, собирающие все токсичные вещества с достаточно

большой поверхности, амфибии и пресмыкающиеся, вероятно, в большей степени подвержены воздействию техногенных загрязнений. Прежде всего необходимо отметить большую сельскохозяйственную ценность лягушек и жаб, которые активно уничтожают вредителей сельскохозяйственных культур — слизней, личинок, жуков и других беспозвоночных. Увеличение численности популяции лягушек и жаб на мичуринском участке — хороший индикатор экологического благополучия сельскохозяйственных культур. Для оценки загрязненности территории удобно пользоваться относительным учетом амфибий. Весной около небольших водоемов собираются жабы, количество эмбрионов икры жаб и лягушек можно соотнести с относительной численностью головастиков на различных стадиях развития, которые питаются водными растениями и растительными отходами.

Питание змей разнообразно, однако в лесной зоне Сибири более 50% составляют мышевидные грызуны, на которых паразитируют иксодовые клещи — переносчики энцефалита и болезни Лайма. Увеличение численности популяции змей способствует снижению численности мышевидных, а значит, препятствует распространению заболеваний.

Птицы. Популяции птиц представляют собой наиболее мобильную группу организмов животных. Кочевки, миграции, достаточно большие гнездовые и кормовые территории — все это позволяет считать птичье население космополитами биосферы, интегрирующими вредные антропогенные воздействия в широком пространственном ареале. Миграционные пути птиц достаточно хорошо изучены и продолжают интенсивно исследоваться. Гнездовые территории птиц и их численность несложно определять на учетных маршрутах. Популяции птиц, вероятно, использовались в качестве первых биоиндикаторов токсического действия пестицидов на биологические системы. Более подробные данные о реакции популяций различных видов птиц по литературным источникам представлены в таблице 8. Наиболее чувствительными периодами к вредному влиянию техногенных факторов, по мнению ведущих орнитологов и нашим собственным исследованиям, являются эмбриональный и период выкармливания птенцов. По данным О.Г. Нехорошева, на основании 15-летних наблюдений за гнездовой экологией скворца обыкновенного максимальный отход птенцов наблюдается в 6-й день после появления птенцов. Аналогичные данные для крякв были получены американскими исследователями. Необходимо отметить, что численность популяции птиц характеризует, как правило, комплексное влияние антропогенных факторов. Помимо техногенных воздействий, при ослаблении популяции и сокращении ее численности усиливается пресс хищников, которые приводят к еще более выраженному падению численности.

Практически все нарушенные местообитания птиц характеризуются увеличением численности врановых. В этом отношении ворон можно рассматривать в качестве индикаторов комплексного загрязнения и

антропогенного воздействия, разрушающего среду обитания, находящуюся в неустойчивом экологическом состоянии.

Млекопитающие. Учет и использование крупных и средних млекопитающих в качестве биоиндикаторов осложняется охотничьим и браконьерским промыслом. В то же время численность и видовое разнообразие крупных млекопитающих — хороший показатель не нарушенных антропогенным воздействием природных биоценозов.

При количественном учете лосей, оленей, косуль широко используются авиаучеты. Более детальную картину численности, видового разнообразия и территориального распределения дают регулярные учеты по следам на снежном покрове.

При развитии нефтепромыслов в Западной Сибири и варварском отношении нефтяных компаний к животному миру произошло значительное сокращение численности лосей, медведя, соболя, белки и других промысловых животных.

Наблюдаются изменения миграционных путей: перекочевки лосей и северного оленя, обусловленные строительством нефтепроводов и газопроводов.

Остановка и закрытие нерентабельных предприятий Кемеровской области, сбрасывающих токсические отходы в реки, способствовали увеличению численности бобра.

Сокращение выращивания сельскохозяйственных культур способствует увеличению численности популяции зайца, барсука, крота, хомячка и сурка.

Наиболее информативными, с точки зрения оценки загрязненности природных территорий, представляются популяции мышевидных грызунов (Шубин, 1980, 1991): бурозубки, полевки, мыши, крысы. Все эти виды обладают достаточно высокой пластичностью, территориальны, характеризуются высокой способностью к размножению и распространены повсеместно, что позволяет проводить их сравнительный анализ.

Относительные учеты численности мышевидных можно проводить в течение всего года: зимой — по количеству следов и отдушин, весной — по количеству кормовых столиков, туалетов, нор, летом — по количеству попадаемости в живоловушки или ловчие канавки.

В благоприятных в экологическом отношении условиях увеличивается видовое разнообразие, численность, количество самок, количество детенышей в помете мышевидных грызунов. В неблагоприятных условиях значительно сокращается видовое разнообразие, остаются наиболее устойчивые виды к данному типу антропогенных загрязнений.

По нашим наблюдениям и данным Н.Г. Дмитриевой, на загрязненных радионуклидами территориях г. Северска доминирующими видами являются бурозубка и полевка обыкновенная, характеризующиеся широкой экологической пластичностью, коротким периодом индивидуальной жизни и многочисленным потомством.

При хронических токсических загрязнениях верхнего почвенного горизонта хорошим индикатором является численность популяции крота,

который живет до 7 лет и питается почвенными беспозвоночными, аккумулируя токсические компоненты.

Биоиндикатора загрязнения верхних надземных и верхних ярусов биоценоза может быть использован анализ структуры популяций летучих мышей, своеобразных долгожителей среди мышевидных: около 7-10 лет. Снижение общего уровня загазованности в Кемеровской области соответствует увеличению встречаемости в сумерках летучих мышей, начиная с 1990 г.

Для оценки вероятных последствий антропогенного влияния на популяции видов млекопитающих необходимо выявить основные направления в развитии данного процесса. По мнению Н.Г. Шубина (1991), необходимо использовать следующие биологические показатели: численность особей вида, размеры ареала каждого вида, тип пространственной и временной структуры ареала; размеры животных, продолжительность жизни, плодовитость, смертность, сроки размножения, характер поведения, питание, состав и качество потребляемых кормов, особенности пространственной структуры популяции: половой, возрастной состав, характер использования территории.

Биоценотический уровень индикации

А. Тенсли в 1935 г. охарактеризовал особенности биоценозов: «Хотя организмы могут претендовать на то, чтобы мы уделяли им основное внимание, однако, когда мы более глубоко вдумаемся, то не можем отделить их от конкретной окружающей обстановки, вместе с которой они составляют единую физическую систему. Такие системы, с точки зрения эколога, являются основными единицами природы на земной поверхности». В структуре биоценозов определяют: продуцентов — главную энергетическую часть, образованную автотрофными зелеными растениями, синтезирующими живое вещество. Консументы, потребляющие аккумулированную растениями солнечную энергию в живом веществе, представленные в основном животными и редуценты — гетеротрофные организмы, разрушающие отмершее вещество и отходы: бактерии, грибы и беспозвоночные животные.

Биоценозы активно противостоят различным нарушающим воздействиям, перераспределяя функциональные нагрузки внутри системы в пределах устойчивости. В зависимости от совокупности климатических, ландшафтных и других условий формируются биоценозы различного типа: океанические, пресноводные, тропические, лесные, степные, тундровые, обладающие различной устойчивостью и временем восстановления при нарушении их гомеостаза. Значительные изменения условий среды приводят к изменению структуры биоценозов, при этом один тип биоценоза сменяется другим. Такой характер изменений носит название сукцессии. Наиболее исследованы восстановительные сукцессии, вызванные нарушением или уничтожением основного природного биогеоценоза в результате пожара, лавины или

деятельности человека. Как правило, современные биоценозы в результате антропогенной деятельности в 70% случаев находятся на той или иной восстановительной стадии сукцессии. В случае уничтожения кедрача происходит активное развитие разнотравья, сменяющееся кустарниковой растительностью, затем березой, осиной, сосной, пихтой, елью и только на последнем этапе — кедром. Весь процесс занимает от 200 до 500 лет. Следовательно, российское березовое ожерелье — хороший биоиндикатор разрушенных человеком коренных природных биогеоценозов. Сукцессионные ряды построены для многих типов биоценозов, что позволяет на основании их видовой идентификации определять этапы восстановления.

В этом отношении большой интерес представляют исследования по индикации регрессионной сукцессии, когда при воздействии антропогенных факторов происходит последовательная деградация биоценозов. Наблюдения показывают, что такие изменения носят лавинообразный характер с промежуточными стадиями относительной устойчивости в короткие промежутки времени при незначительных, с точки зрения современного человека, антропогенных изменениях среды. В качестве примера можно рассмотреть деградацию второго по величине, после Байкала, в бывшем СССР озера Балхаш и Аральского озера.

С древних времен на территории степей и полупустыни находилось уникальное озеро Балхаш. Это озеро среди барханов является жемчужиной Казахстана. Две реки с горных отрогов Тянь-Шаня несли свои воды в Балхаш: Или и Каратал. Несмотря на свою относительно небольшую глубину (15-20 м), за многие тысячелетия озеро сформировало уникальную устойчивую экосистему. В самом озере в изобилии водились сазан, осман, маринка, окунь. Камыши и плавни вокруг озера служили надежным укрытием для многочисленных птиц: уток, чаек, пеликанов, цапель, фазанов. Весенние прилеты утиных порой закрывали солнце, словно тучей. На побережье водились лисы, волки, тигры, кабаны. Успешно акклиматизированная ондатра давала в казну ежегодно до сотни тысяч шкурок. Казалось, ничто в мире не способно было нарушить идеальное состояние этого райского места среди пустыни.

В начале века в Прибалхашье обнаружены залежи меди, строится в 30–40-е годы один из самых крупных горнометаллургических комбинатов, отходы которого, включающие практически всю таблицу Менделеева, с повышенной концентрацией серной кислоты, без всякой очистки по каналу шириной 5 м и глубиной 1,5 м сплошным потоком ежедневно сбрасываются в озеро. Одна из впадающих в озеро рек перегораживается плотиной с целью создания вблизи г. Алма-Ата Копчагайского водохранилища. На южном берегу озера начинают заниматься рисоводством. Для борьбы с сорняками используется огромное количество минеральных удобрений и пестицидов, которые распыляются с самолета, а затем стекают в озеро. В результате ихтиологических разработок местных ученых мужей в Балхаш интродуцируются новые виды рыб: судак, жерих, сом, осетр, лещ, елец. Стремление к интенсификации животноводства в Прибалхашье приводит к

необходимости весенне-осенних палов многолетнего камыша прибрежной зоны. В результате таких пожаров гибнет огромное количество птиц и животных. Выживших птенцов уток и ондатру начинают уничтожать сомы, популяция которых быстро возросла, но впоследствии и снизилась, оставаясь на стационарном уровне. Понадобились жёсткие меры по ограничению рыбной ловли и охоты в течении многих лет, чтобы к 2012 г. начался процесс восстановления уникального озера и его ресурсов.

Итак, можно выделить следующие этапы деградации озера, проходившие в течение 20 лет с 1960-го по 1980 г. в результате антропогенной деятельности. Загрязнение озера органическими отходами и пестицидами, приводящими к заражению и гибели рыбы и водоплавающей птицы. Зарыбление хищными породами рыб — к исчезновению эндемиков озера: османа, маринки, окуня и значительному сокращению популяций сазана, с последующим сокращением рыбных запасов, размножению ельца и леща и сохранению соответствующей кормовой базы невысокой численности жериха и сома.

В результате снижения уровня воды на 2–3 м и обмеления огромных площадей произошло интенсивное развитие сине-зеленых водорослей, заболачивание прибрежной зоны, приводящее к потере нерестилищ и усилению процессов загрязнения озера. В настоящее время озеро Балхаш как бы поделилось на две части: южную, в которую впадает река, более чистую, способную к восстановлению, и северную, обреченную на заболачивание. Характерно, что экологическая катастрофа озера совпала с закрытием рыбозавода, горнометаллургического комбината, бесплодными попытками разведения риса и даже Копчагайское водохранилище оказалось вроде никому и не нужным.

Аналогичные процессы медленного распространения радионуклидов, только в более глобальных масштабах, наблюдаются вокруг всех атомных центров: Челябинска, Красноярска, Северска. Сбросы жидких радиоактивных отходов вначале в отстойные озера, где у кромки воды интенсивность излучения около 1000 мкР/час, затем по каналам (300 мкР/час) непосредственно в речные водоемы постепенно, но неуклонно насыщают биологическую среду долгоживущими радионуклидами. Так с предприятий г. Северска в протоку р. Томи вот уже в течение 40 лет постоянно идет сброс жидких радиоактивных отходов (40–100 мкР/час). Все долгоживущие радионуклиды постепенно заполняют трофические цепи, накапливаясь у консументов различного трофического уровня, приводя к непрогнозируемым последствиям для всего Обского бассейна. Озера-отстойники активно используются утками для гнездовья, а также для отдыха при весенне-осенних миграциях как наиболее спокойные водоемы, способствуя трансграничному переносу радионуклидов.

В отношении биоиндикации степени нарушения экосистем может быть достаточно широко использовано правило А. Тинемана: «Чем больше отклонения от оптимума, тем меньше видовое разнообразие, но относительно большее количество оставшихся видов».

Более дифференцированный анализ позволил нам предложить следующую последовательность индикации нарушений в экосистемах:

1. Исчезновение или уменьшение узкоспециализированных видов, характерных для коренных, сформировавшихся биоценозов.
2. Смена доминирующих видов.
3. Упрощение трофической структуры, снижение видового разнообразия экосистем.
4. Развитие или интродукция видов, устойчивых к характеру разрушающего биоценоз воздействия.
5. Элиминация, или снижение численности долгоживущих видов, или замена их короткоживущими быстроразмножающимися видами.
6. Скачкообразное изменение устойчивости биоценоза, перерождение его в другой, более примитивный, тип в результате медленной аккумуляции разрушающих влияний.
7. Чем глубже нарушена структура биоценоза, тем на более ранних фазах восстановления заканчивается сукцессионный процесс.

Замкнутость биоценозов по веществу неизбежно приводит к накоплению токсических веществ по трофическим цепям на верхних уровнях экосистем. В биогеоценозах тундры происходит увеличение концентрации Sr-90 и Се-137 следующим образом: почва — 1000 у.е., лишайники — 300 у.е., олени — 6000 у.е., эскимосы — 10000 у.е.

Многочисленны примеры биоаккумуляции токсических веществ в водной среде (табл.5.)

Т а б л и ц а 5

**Биоаккумуляция некоторых веществ в водной среде
(по А.В. Яблокову, 1985)**

| Токсические вещества | Организмы | Коэффициент аккумуляции |
|----------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Тяжелые металлы | Водоросли, макрофиты, губки, моллюски | 1000 - 100 000 |
| Кадмий | Креветки, грибы | 175, в 5 раз |
| Лептофос | Солнечная рыба | 773 |
| Эндрин | Толстоголовый пимефалис | 6800 |
| Хлорпирифос | Пимефалис | 1700 |
| Кепон | Кариозубик | 7400 |
| ДДТ | Пимефалис, устрицы | 133000 - 70 000 |
| ТДЕ | Фитопланктон | 333 |
| | Гагара | 107000-179000 |
| Ртуть | Рыбы | 100-1000 |
| Радионуклиды | Рыбы, коршун-канюк, лось | 100-1000 |

Снижение первичной продукции водных экосистем наблюдалось при загрязнении хлорорганическими соединениями. При концентрации ДДТ 10–8 в пресной воде, интенсивность фотосинтеза фитопланктона

уменьшается на 20–50%, а при концентрации 10–7 — на 80%. Концентрация 1 мг/л нефти приводит к снижению первичной продуктивности водоемов на 30–60%. Замедление фотосинтеза на 25–50% у пресноводных водорослей отмечалось при содержании PbCl₂ в концентрации 10–7 (Шипунов, 1981).

Одним из наиболее перспективных биоиндикационных методов динамической оценки аэрозольных загрязнений является разработанный в 70-е годы Ю.А. Львовым метод послойного годового анализа торфяной залежи мхов *Sphagnum fuscum*. Методика позволяет определять вид и степень аэрозольных загрязнений. Проведенные А.П. Бояркиной (1998) исследования динамики изменения железа, кобальта, скандия по аэрозолям торфяника вблизи г. Томска с начала века по 1990 г. хорошо коррелируют как с развитием промышленности в г. Томске, так и с динамикой основных форм раковых заболеваний жителей этого города.

Особенности ландшафтной биоиндикации

Элементарной ландшафтной единицей является экотоп, который состоит из физиотопа, биотопа и формы землепользования. В свою очередь физиотоп включает морфотоп, педотоп, гидротоп и климатотоп. Биотоп состоит из фитотопа и зоотопа, которые и являются его биологическими индикаторами.

Тип растительности, связанный с соответствующей формой местообитания, характеризует вид ландшафта. Для описания ландшафта, в зависимости от поставленных задач, используются ландшафтные карты разной размерности.

С целью оценки степени антропогенной нарушенности ландшафта проводят сравнительный анализ современных карт с картами, построенными на основании архивных данных. Такое сравнение позволяет моделировать потенциальную естественную растительность, что дает возможность оценить вероятность выживания коренных биоценозов, потенциальное и реальное видовое разнообразие, а также направление рекультивационных работ по сохранению природных биоценозов. Основой ландшафтного картирования служит аэрофотосъемка, на которую затем наносятся уточнения, получаемые во время маршрутных исследований, состоящие в уточнении микрорельефа, типа растительности, размерности биоценозов, местообитаний видов растений и животных, занесенных в Красную книгу, и т.д.

Такая подробная ландшафтная карта теоретически должна лежать в основе любой проектной деятельности государственных и коммерческих организаций при использовании любых природных территорий. Аналогичная карта используется и при кадастре сельскохозяйственных земель.

Тип растительности, область ее распространения при динамической съемке позволяют судить о скорости сукцессионных процессов, а также о степени влияния антропогенных факторов, приводящих к деградации биоценозов: опустыниванию, сокращению ареалов лиственных лесов при кислотных осадках и токсических аэрозолях.

При размещении объектов топливно-энергетического комплекса необходимо выявление ландшафтных местностей и региональных физико-химических единиц, в пределах местностей — ранжирование по видам и уровням проявления негативных процессов, оценка экологических лимитов при использовании экологических ресурсов и антропогенных изменений.

Для оценки экологического ресурса ландшафта используется индекс экологической ценности (ИЭЦ), определяемый следующим образом:

$$\text{ИЭЦ} = E + R + S + V \quad ,$$

где n — число биоценозов, E — доля биоценозов в общей площади, R — относительная редкость биоценоза, S — богатство видов растений, V — богатство видов животных.

Современное потепление климата, обусловленное 500-летним повышением средней годовой температуры, усиливающимся в результате парникового эффекта, приводит к подтаиванию криолитозоны — зоны вечной мерзлоты.

Ледники во всем мире отступают, и это должно продолжаться до 2300–2400 гг. Подтаивание языков криолитозоны в Сибири и Северной Америке приводит к увеличению количества болот и озер, к изменению рельефа местности, созданию критических ситуаций в процессе пространственного размещения инфраструктуры газо-нефтяной отрасли.

В частности, оптимальное строительство дорог, магистральные прокладки нефте-, газопроводов и линий электропередачи.

Использование ландшафтной индикации, основанной на оценке степени замещения северных растительных сообществ биоценозами умеренной зоны, позволяет оценить скорость отступления криолитозоны, масштабность происходящих изменений, а также возможный экономический урон при последующей трансформации рельефа местности.

По прогнозам, активный процесс подтаивания южной границы вечной мерзлоты достаточно активно будет развиваться в ближайшие 50-100 лет, и современная растительная структура Западной Сибири уже начала трансформироваться.

В глобальном масштабе биосферы выделяют своеобразную тройственную зависимость: климат—ландшафт—педосфера.

Устойчивое соотношение между которыми отражает устойчивость биосферы. Самым вариабильным, чутко реагирующим на изменения в устойчивости биосферы является климат. Современные изменения климата — тайфуны, наводнения, снегопады в южных районах, потепления в северных районах — указывают на явную нестабильность отношений в «тройственном союзе», которая происходит в результате отрицательного влияния антропогенных факторов.

Космическое земледение

Трудно переоценить значение интегральных показателей экологических систем, усредненных в больших пространственно-временных масштабах. Дистанционные методы космического спектрального анализа позволяют проводить интегральную оценку экологического состояния природных ресурсов в масштабе всей планеты (Израэль, 1984). Еще в 70-е годы советскими спутниками принимались изображения, позволяющие с высокой степенью точности оценивать пастбищные ресурсы Средней Азии. Зависимость между биомассой и коэффициентом спектральной яркости наиболее выражена в диапазоне 0,59–0,68 мкм. В области 0,28–14 мкм можно определять физиологические состояния растительности: болезни, стадии вегетации. Гумусность почвы достаточно хорошо коррелирует со спектральной яркостью в видимом диапазоне, что позволяет проводить в большом масштабе картирование почв в зависимости от их типа, засоленности, влажности, степени эрозийности. В диапазоне длин волн 0,7–1,1 мкм можно наблюдать за состоянием водохранилищ и природных водных объектов по положению береговых границ и уровню воды. В области 0,52–0,57 и 0,41–0,48 мкм можно оценивать развитие эвтрофикации, загрязнение водной поверхности нефтью, взвешенными частицами и поверхностно-активными промышленными отходами. Хорошо прослеживаются и антропогенные шлейфы аэрозолей, распространяющиеся на сотни и тысячи километров.

Следовательно, вся совокупность антропогенных изменений на планете приводит к изменению альбедо, т.е. интегральной спектральной яркости, что позволяет в самом общем виде оценивать уровень антропогенной нарушенности Земли.

Основываясь на анализе литературных данных и своих собственных исследованиях по биоиндикации антропогенных воздействий, можно выявить следующую закономерность в развитии адаптивных реакций биосистем. Если уровень воздействующего фактора не превышает адаптационных возможностей организма, популяции и экосистемы, то реакция биосистемы, как правило, носит специфический характер.

Следовательно, возможно выделить биотест — указатель, который наиболее однозначно и специфично реагирует на интересующий нас антропогенный фактор. Используя выделенный нормированный биотест или группу биотестов, можно оценивать уровень конкретного вида загрязнений. В том случае, когда уровень воздействующего фактора превышает адаптивные возможности биосистем, развивается неспецифическая реакция деградации биосистем. Этапы разрушения биосистем также зависят от уровня антропогенных влияний и могут быть использованы в качестве индикаторов запредельной нагрузки на биосистему.

Научно обоснованное применение комплексной методики биотестирования позволяет прогнозировать развитие экологической ситуации в региональном и глобальном масштабах.

Несомненно, что биотестирование антропогенных воздействий является только первым шагом при создании экологической системы оценки и

прогноза состояния природной среды. Уже сейчас выживаемость крупных млекопитающих, птиц, земноводных, пресмыкающихся, ценных в промысловом отношении рыб и других животных определяется степенью влияния на них антропогенных факторов. Последующее углубление экологического кризиса как в глобальном, так и региональном масштабе с неизбежностью будет воздействовать на все большие компоненты биосферы. Отсутствие достаточного количества данных и ясного концептуального представления об экологической роли техногенных изменений естественной среды приведет к непредсказуемым катастрофическим изменениям для всего живого на Земле. С целью оценки возможных последствий необходимо переходить к созданию дифференцированной шкалы биоиндикации в зависимости от уровня организации биосистем. С другой стороны, необходимо на качественном и количественном уровне проводить интегральную оценку загрязнения различного типа биоценозов, что позволит ранжировать их по степени устойчивости ко всему комплексу антропогенных влияний. На основании выявленных ограничений возможно остановить лавинообразный процесс деградации экосистем.

Современный этап оценки экологического состояния природной среды характеризуется все более выраженной тенденцией к созданию комплексных систем экологического мониторинга и разработке концепций биопрогнозирования.

Комплексная система физико-химических датчиков контроля состояния окружающей среды и необходимый набор биоиндикационных тестов, функционирующих в реальном масштабе времени, позволяют создать основу для последующего экологического прогнозирования. Экологический прогноз может иметь качественную и количественную формы.

В основе количественного прогноза лежат различные математические методы оценки поступающих данных с последующей качественной интерпретацией. В то же время вся совокупность данных экологического мониторинга может быть достаточно широко использована при оптимизации хозяйственной деятельности человека, обосновании стоимости природных ресурсов и оценке реальной способности природной среды к восстановлению.

Представляется целесообразным расширение и углубление научных исследований по биоиндикации экологического состояния природных биоценозов как в региональном, так и глобальном масштабе.

Подводя итоги далеко не полного использования биоиндикационных методов при оценке антропогенного загрязнения природной среды, необходимо отметить, что техногенные изменения проявляются на всех уровнях организации живого, от молекулярного до биосферного. Глобальность наблюдаемых изменений внушает большую тревогу относительно благополучного существования прежде всего человеческой популяции.

Прослеживается явная социальная недооценка ценности биоиндикационных методов, чрезвычайно ограниченное вложение средств,

отсутствие комплексных академических институтов, занимающихся разработкой этих проблем. Это, в свою очередь, приводит к углублению экологического кризиса и созданию все более сложной ситуации в региональном и глобальном масштабе.

БИОПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КАТАСТРОФ

Под экологическими катастрофами подразумевают относительно быстрые, разрушительные изменения среды обитания, приводящие к гибели живых организмов, деградации экосистем и изменению ландшафтной структуры. Различают природные экологические катастрофы: засухи, наводнения, пожары, оползни, ураганы, землетрясения, вулканическую деятельность и антропогенные: пожары, кислотные дожди, химические загрязнения, разливы нефти, аварии на атомных станциях и т.д.

Как природные, так и антропогенные катаклизмы, в свою очередь, могут быть дифференцированы на биологически прогнозируемые и не прогнозируемые. Биологически прогнозируемые т.е. имеющие в принципе подготовительную низкоэнергетическую стадию, которая воспринимается биосистемами в качестве сигнальной информации, и не имеющие подготовительной стадии. Иллюстрацией последнего типа катастроф могут являться пожары, нефтяные аварии, сбросы токсических отходов, чрезвычайные ситуации на атомных станциях.

Нас будут интересовать экологические катастрофы первого типа. Рассмотрим вероятностный ход развития событий в случае свершившегося природного катаклизма: большая часть растений и животных погибнет, другая часть будет травмирована, а третья — уцелеет, спасаясь бегством.

Какую же тактику должны выбрать биосистемы при получении ими сигналов о приближении катастрофических изменений. Естественно, что аналогичную той, которая произошла бы в случае реализации явления, только в более мягкой форме: те кто спали — проснулись, те кто находились в убежищах, угрожающих их жизни: норы, пещеры, дупла, покинули бы их, те которые могли бы покинуть данный район, постарались бы это сделать. Растения постарались бы отцвести, животные либо вывести свое потомство, либо отказаться от размножения в данном регионе и т.д.

В результате предпринятых совместных усилий: а) увеличилась бы дисперсия показателей экосистемы; б) изменился бы колебательный характер биоритмических процессов (суточный, сезонный), нарушающийся импульсными, прерывистыми изменениями, которые усиливались бы по мере приближения к критическим событиям; в) значительно возросла бы доля аномального типа поведения животных, ускорились бы компоненты миграционного поведения; г) развился и начал бы широко распространяться

среди животных стресс или общий адаптационный синдром (Карташев, 1996).

Таковы основные, на наш взгляд, реакции биосистем, которые могут являться биоиндикаторами природных катаклизмов. В связи с тем что максимальное количество исследований посвящено биопредвестникам землетрясений, рассмотрим накопленные данные и современные представления по этой проблеме.

Развитие биопрогнозирования землетрясений

Под прогнозом понимается «предсказание места и времени возникновения будущих землетрясений с указанием их возможной силы и характера проявления на поверхности Земли» (Ракитаке, 1979).

Поиски предвестников и прогноз землетрясений — таков современный этап развития сейсмологии. Большое значение придается геолого-геофизическим исследованиям, требующим проведения точных и непрерывных измерений вариаций многих физических полей и свойств земной коры, ее деформации, магнитоэлектрических процессов, сейсмичности с ее характеристиками, газово-жидкого режима и пр. Подробная сводка данных о физических явлениях, предшествующих землетрясению, дана в монографии проф. Т. Ракитаке (1979). В этой работе (оригинальное издание в 1976 г.) автор упоминает и о «необычном поведении рыб и животных» перед землетрясениями, но весьма скептически, в разделе «Предвидение землетрясений — различные легенды». Однако, спустя два года, этот же автор в своем новом исследовании относится к данным о «биосейсмопредвестниках» более внимательно, приводя многочисленные наблюдения «необычного» поведения животных в сопоставлении с физическими характеристиками сейсмических факторов. В связи с возрастающим интересом к проблеме биосейсмопредвестников представляется целесообразным дать сжатый обзор литературных данных по этому вопросу.

Отдельные указания на необычное поведение некоторых классов, видов и особей животных — особенно птиц, млекопитающих — можно найти в старой европейской литературе. Но только во второй половине 70-х годов были предприняты попытки систематизировать отдельные наблюдения и единичные исследования раздельно по странам Азии (Китаю и Японии), где наблюдения за животными наиболее длительны и многочисленны, а также по Европе и Америке.

Наибольшее количество — тысячи случаев — наблюдений за аномальным поведением животных (преимущественно сухопутных) перед землетрясением собрано к настоящему времени в КНР. Наблюдения там относятся к 68 видам животных, главным образом домашних. Только в текущем столетии предшествующее аномальное поведение животных на территории Китая отмечено перед несколькими десятками землетрясений с магнитудой от 4,7 до 8,5. Более того, слежение за аномальным поведением

животных — интегральная часть сейсмопрогностической программы КНР (Shen Ling Huang, 1978).

По японским источникам известны многочисленные случаи аномального поведения перед сильными землетрясениями водных организмов, главным образом рыб (зубаток, трески, сардин, тунцов, пеламид, акул, гольцов, угрей и т.д.), а также других обитателей моря — крабов, омаров, осьминогов, трепангов, каракатиц, планктона. В Японии имеются и данные о предвестниковых аномалиях в поведении многих видов сухопутных животных (Pukulnake, 1979).

Поворотным событием в отношении исследователей к рассматриваемой проблеме с точки зрения использования биосейсмопредвестников в целях прогноза стала Первая конференция по аномальному поведению животных перед землетрясением, состоявшаяся в сентябре 1976 г. в США. Конференции предшествовало, и в сущности ее стимулировало в значительной мере (на краткосрочной стадии прогноза), успешное предсказание по аномальному поведению животных Хайченского землетрясения 4 февраля 1975 г. с $M = 7,3$ и нескольких более ранних землетрясений умеренной силы в КНР.

Правда, незадолго до этой конференции, 28 июля 1976 г. в КНР произошло катастрофическое Тангшанское землетрясение с $M = 7,8$, которое не предварялось, в отличие от Хайченского, ярко выраженными геофизическими предвестниками, а биологические предвестники в количестве 2093 случаев были, к сожалению, выявлены лишь при ретроспективном опросе после события, унесшего около 600 тыс. человеческих жизней.

Обобщение в материалах этой конференции, разбросанных в мировой литературе, отрывочных данных показало, что наблюдения за аномальным поведением животных в разных странах и в разное время, у не имевших между собой связи народов, оказались очень похожи как в отношении набора видов животных, домашних и диких, группового и индивидуального образа жизни, так и в отношении конкретных особенностей их поведения.

Свежие и достоверные наблюдения в США, Италии, Гватемале оказались подобны тем, что были известны по историческим источникам в Европе и Азии. Хотя ни одно из множества сообщений не удовлетворяло принятым в научных исследованиях биологов и геофизиков стандартам, а многие сильные землетрясения не сопровождались сообщениями об аномалиях в поведении животных (специальных опросов не было), большинство участников конференции признало явление реальным и заслуживающим специальных комплексных исследований.

В последующие за первой конференцией годы была проведена Вторая конференция на ту же тему, отмечался всплеск публикаций, главным образом в американской печати, с изложением как результатов проведенных после ряда землетрясений опросов, так и с анализом возможных причин аномального поведения животных перед землетрясениями (Clellon, 1980).

В нашей стране известно более 20 научных публикаций, посвященных разным аспектам проблемы биосейсмопрогноза, не считая публикаций с описанием отдельных случаев необычного поведения животных перед землетрясениями. Таких землетрясений на территории нашей страны известно около 50, причем число их резко возросло в семидесятые-восьмидесятые годы. По-видимому, это отражает процесс повышения внимания к аномальному поведению животных перед землетрясениями в СНГ (Кунин, 1979).

В отличие от сейсмических и других инструментальных данных о предвестниках землетрясений, сведения о биопредвестниках имеют иные источники. В самом общем плане, включая и исторический разрез, к источникам биопредвестниковой информации можно отнести мифы и легенды данного народа или страны, местные поверья, пословицы и поговорки, сведения из древних текстов, летописей, античной, средневековой и более поздней литературы, данные исследований ученых в нашем веке, включая специальные опросы населения после землетрясений, материалы наблюдений на экспериментальных биостанциях, биополигонах, а также сведения от неспециалистов (местных жителей и случайных очевидцев). Соотношения видов информации, из которых складывается общее представление о количестве и качестве наблюдавшихся случаев биопредвестников, различаются для разных стран и территорий. Так в Японии издан ряд книг, опубликованы статьи, где подробно описаны многочисленные случаи наблюдения как неспециалистами, так и учеными аномального поведения животных не менее чем перед 25 сильными землетрясениями, происшедшими в XIX и XX веках.

После проведения в США Первой конференции по аномальному поведению животных перед землетрясениями в Японии наметилось усиление внимания к биопредвестникам, и в программу работ японских ученых по предсказанию землетрясений, наряду с изучением многих геофизических, геохимических и других предвестников, было включено и исследование поведения сухопутных животных, рыб и растений (Vsemi, 1977). Иное положение сложилось в Китае. После сильного землетрясения с $M = 6,8$ в округе Хеингтан провинции Хопей в Северном Китае в 1966 г., перед которым все собаки покинули свои конуры и тем самым спаслись, китайские ученые провели исследование в национальном масштабе вариаций поведения животных перед землетрясениями. Они обследовали места, которые подвергались землетрясениям в первой половине XX столетия. Проинтервьюировав стариков и собрав информацию из большинства доступных источников, они представили предварительный доклад, касающийся 58 видов домашних и диких животных, которые проявили необычное поведение перед этими землетрясениями. С 1968 г. современная биопредвестниковая информация начала накапливаться на открытой в провинции Хопей первой экспериментальной станции прогноза землетрясений, где использовались биологические наблюдения. Вторая такая же станция была установлена в провинции Синхиянг в 1971 г. С 1972 г.

дополнительным источником огромного объема биопредвестниковой информации стали многочисленные группы добровольцев-непрофессионалов, работающих в тесной координации со специалистами по прогнозу землетрясений Государственного сейсмологического бюро Китая.

В Китае проводятся и опросы населения после сильных землетрясений с целью выявления предшествовавших явлений, в том числе и биопредвестников. Таким образом, в этой стране общий массив информации о биопредвестниках состоит из двух типов данных — собранных до событий и после них. К сожалению, нам не известно китайских работ по сравнению качественных и количественных характеристик истинно предвестниковой и ретроспективной предвестниковой биологической информации.

В нашей стране пока не опубликовано специальной полной сводки сведений о биопредвестниках землетрясений, происшедших на территории СССР за всю историю страны. Единственная попытка такого рода была предпринята в начале 80-х гг. А.А. Никоновым (1981, 1982). В результате целенаправленных поисков ему удалось собрать из разных литературных источников и путем расспросов достаточно определенные, но далеко не полные и не во всех случаях надежные, первичные сведения об аномальном поведении животных перед 21 землетрясением на территории СССР. Все сведения исходят от неспециалистов (местных жителей и случайных очевидцев), получены более или менее случайно, сообщены устно или проникли в печать после события, т.е. относятся к так называемой ретроспективно предвестниковой информации. Объем этой информации к моменту Спитакской сейсмокатастрофы 7 декабря 1988 г. составлял десятки наблюдений. Многие сведения из разных мест и для разных лет сходны между собой и, будучи получены совершенно независимо, вполне согласуются с опубликованными за рубежом.

21–22 апреля 1991 г. в Крыму был проведен Первый всесоюзный семинар «Биологические аспекты прогнозирования землетрясений», на котором было заслушано более 50 сообщений по данной тематике. Европейские ученые, по-видимому, широко не проводят работ по использованию животных для целей прогноза землетрясений, однако в отдельных публикациях описываются случаи появления биопредвестников и выдвигаются гипотезы объяснения причин их возникновения. В европейской и американской литературе нет обобщающих работ по исследованию биопредвестников. В сводках и обзорных работах американские исследователи, хотя и приводят данные собственных ретроспективных опросов, все же преимущественно опираются на опыт, накопленный в КНР и Японии. Имеются сведения, что в США были попытки организовать получение перспективной биопредвестниковой информации путем установки специальных телефонов (так называемых «hot line»). Однако люди звонили, как правило, после землетрясений.

Опубликованные в мировой литературе данные, по самым предварительным оценкам, содержат сведения не более чем о двухстах землетрясениях, перед которыми наблюдались биопредвестники. Приведенная оценка ничтожно мала по сравнению с числом сильных

землетрясений, происшедших в наше столетие, ибо ежегодно на планете происходит в среднем около 90 событий с $M=6$. Естественно, что реальное число замеченных людьми случаев значительно больше, чем их попало в литературу. Устные рассказы об аномальном поведении животных перед землетрясениями имеют широкое хождение в Японии, Китае и многих сейсмоопасных районах СНГ.

Недостаточность информации о биопредвестниках обусловлена не только возникновением многих сильных землетрясений в области акваторий морей и океанов, а также в пределах малонаселенных территорий суши, но и отсутствием (за исключением КНР) специальной службы наблюдения на региональном, национальном, и тем более глобальном, уровнях. До настоящего времени не опубликовано данных по отдельным странам или территориям, касающихся оценок доли событий, предварявшихся биопредвестниками, среди общего числа происшедших сильных землетрясений. Это позволяет оценить для биосейсмопрогноза процент ошибок типа «пропуск цели».

К отдельным историческим сведениям такого рода относится описание сильнейшего землетрясения 20 мая 1861 г., разрушившего город Мендозу на восточном склоне Кордильер, но не предварявшегося обычным в таких случаях гулом, и «животные, которые почти всегда чувствуют бедствие и беспокойством предуведомляют людей, в этот раз не предчувствовали катастрофы, наступившую без всяких предшествующих признаков».

Американскими исследователями при анализе результатов ретроспективных опросов вывод о наличии или отсутствии биопредвестников делается, исходя из некоторых априорно эмпирически подобранных критериев, например, величины отношения числа сведений об аномальном поведении животных к общему числу ответов опрошенных наблюдателей.

Совершенно не исследован вопрос о реакциях различных биообъектов на так называемые «медленные землетрясения», или криптовые события, которые не вызывают разрушений на поверхности земли и не приводят к гибели людей.

В то же время при этих событиях может сбрасываться энергия, по порядку величины сопоставимая с сильными, разрушительными землетрясениями. Не исключено, что некоторые живые организмы могут реагировать на эти события и предваряющие и сопровождающие их физические процессы (например, на упругие колебания в инфразвуковом диапазоне частот). Вопрос требует изучения, т.к. может иметь отношение к проблеме оценок возможных ошибок типа «ложная тревога» при биосейсмопрогнозе.

Имеющаяся в научной литературе биоинформация о биопредвестниках землетрясений весьма неоднородна по качеству. Более того, нет единой методологии ее получения, отсутствует определение того, что рассматривать в качестве единицы биопредвестников, не разработаны критерии оценки разных видов и источников информации. Сложность решения этих вопросов обусловлена тем, что они относятся не только к областям прогностики и

геофизики, но и к областям этологии (если речь идет об аномальном поведении животных) и психологии, как индивидуальной, так и социальной. Построение системы биопрогнозирования землетрясений позволит снизить число человеческих жертв и перейти к принципиально новой системе экологического прогнозирования природных катаклизмов.

Список литературы.

1.Карташев А.Г. Экологические аспекты нефтедобывающей отрасли Западной Сибири. ТУСУР. Томск, 2007.- 218 с. (50 экз.)

2. Карташев А.Г., Смолина Т.В. Влияние нефтезагрязнений на почвенных беспозвоночных животных. В-Спектр, Томск. 2011. 146 с. (15 экз.)

(<http://edu.tusur.ru/training/publications/298>)

3.Карташев А. Г. Биоиндикация экологического состояния окружающей среды. «СКК-ПРЕСС», 1999.-224 с.(10 экз.)

4.Карташев А.Г., Карташева А.А. Структура ловчих сетей пауков-кругопрядов. ТУСУР, Томск, 2009. 120 с.(15 экз.)

(<http://edu.tusur.ru/training/publications/299>)

6. Карташев А. Г. Влияние хронических факторов в постнатальном онтогенезе животных. «В-Спектр», Томск, 2010.-122 с.(15 экз.)

(<http://edu.tusur.ru/training/publications/300>)

Контрольные вопросы:

- 1.Исторические аспекты развития биоиндикационных методов.
2. Особенности биотестирования и оценки состояния экосистем.
3. Уровни организации биосистем и биоиндикационных исследований.
- 4.Биоиндикация загрязнений атмосферы.
5. Распространённые биоиндикационные методы тестирования водоёмов.
6. Структура почв и методы биоиндикации.
- 7.Оценка уровня деградации почв методами биоиндикации.
8. Динамики численности популяций индикаторных видов.
- 9.Особенности популяционно-видового уровня биоиндикации состояния природной среды.
- 10.Этапы сукцессии биоценозов как основа биоиндикационного анализа.
- 11.Оценка уровня антропогенных воздействий на наземные экосистемы.
12. Ландшафтная биоиндикация.
- 13.Особенности биоиндикации биосферных процессов.
- 14.Методы прогнозирования биосферных процессов.

