E.G. SHADRINA, Ya.L. VOLPERT,
V.A. DANILOV, D.Ya. SHADRIN

BIOINDICATION OF MINING INDUSTRY INFLUENCE ON GROUND ECOSYSTEMS OF THE NORTH

Morphogenetical Approach

Edited by
Prof. *D.D. Savvinov*

NOVOSIBIRSK
«NAUKA»
2003

Е.Г. ШАДРИНА, Я.Л. ВОЛЬПЕРТ,
В.А. ДАНИЛОВ, Д.Я. ШАДРИН

БИОИНДИКАЦИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ СЕВЕРА

Морфогенетический подход

Ответственный редактор
доктор биологических наук, профессор *Д.Д. Саввинов*

НОВОСИБИРСК
«НАУКА»
2003

Шадрина Е.Г., Вольперт Я.Л., Данилов В.А., Шадрин Д.Я. Биоиндикация воздействия горнодобывающей промышленности на наземные экосистемы Севера: Морфогенетический подход. — Новосибирск: Наука, 2003. — 110 с.

ISBN 5—02—031745—4.

В монографии дана оценка качества среды в зоне воздействия объектов горнодобывающей промышленности. Рассмотрены показатели нарушения стабильности развития растений и животных в природных и техногенно-трансформированных биотопах Якутии. На примере мышевидных грызунов, насекомых, лиственных деревьев и кустарников оценена степень нарушения стабильности развития организмов и выявлено негативное влияние техногенных воздействий на состояние среды.

Книга рассчитана на биологов, зоологов, экологов широкого профиля, специалистов по охране окружающей среды.

Табл. 14. Ил. 36. Библиогр.: 87 назв.

Shadrina E.G., Volpert Ya.L., Danilov V.A., Shadrin D.Ya. Bioindication of Mining Industry Influence on Ground Ecosystems of the North: Morphogenetical Approach. — Novosibirsk: Nauka, 2003. — 110 p.

The monograph is devoted to the problem of assessment of environment quality in the area of mining industry influence. Indices of plants and animals developmental stability deviation in natural and technogenically transformed biotopes of Yakutia are considered. The degree of developmental stability deviation is assessed by the size of deviation from the ideal bilaterally symmetric structure. As models are selected small rodents, insectivores, deciduous trees and shrubberies. The conclusion is drawn that there is negative technogenic influence on environment. It is noted that organism developmental stability deviations under similar forms of anthropogenic influence are more significant in northern regions than in less extreme ones.

Tabl. 14. Ill. 36. Ref.: 87.

Рецензенты

доктор биологических наук *Н.Н. Винокуров*
кандидат биологических наук *Ю.С. Луковцев*

Утверждено к печати Ученым советом
Института прикладной экологии Севера АН РС (Я)

ТП—04—I—№ 87

ISBN 5—02—031745—4

© Е.Г. Шадрина, Я.Л. Вольперт,
В.А. Данилов, Д.Я. Шадрин, 2003
© Институт прикладной экологии
Севера АН РС (Я), 2003
© Оформление. «Наука». Сибирская
издательская фирма РАН, 2003

ПРЕДИСЛОВИЕ

Российский Север, в том числе и Якутия, в индустриальном плане характеризуется прежде всего развитием горнодобывающей промышленности. К настоящему времени фактически все северные территории в той или иной степени освоены этой формой хозяйственной деятельности. Более того, перспективные планы промышленного развития региона также связаны в первую очередь с развитием добычи полезных ископаемых. Имеется в виду как расширение географии и наращивание объема добычи традиционных направлений, так и освоение новых видов ресурсов. При этом широко известен факт низкой устойчивости северных экосистем к различным формам антропогенной деятельности. Последнее обстоятельство определяется низким видовым богатством и видоразнообразием, низкой биологической продуктивностью, обедненностью трофических связей северных экосистем и, вполне возможно, низкой устойчивостью организмов и популяций, существующих в условиях, близких к экстремальным.

До последнего времени исследования территорий в экологическом плане, в том числе оценка последствий техногенных воздействий, проводились в основном физическими и химическими средствами контроля. В то же время влияние промышленности, в частности горнодобывающей, на биоту весьма многообразно и далеко не всегда может прогнозироваться исходя из физико-химических показателей абиотических компонентов среды. Как известно, суммарное воздействие загрязнителей на биологические объекты — не просто арифметическая сумма каждого отдельного фактора, при комплексном характере антропогенного воздействия фактически невозможно учесть варианты антагонистического и синергического взаимодействия поллютантов, а также аккумуляцию веществ на отдельных трофических уровнях экосистемы.

Кроме того, имеются эколого-географические особенности реакции экосистемы в целом и отдельных ее элементов на одни и те же концентрации канцерогенных веществ. Как следствие, результаты большинства физико-химических методов анализа мало

информативны при сравнении данных из разных физико-географических зон. Это обстоятельство особенно важно для территории Якутии, так как последствия техногенных трансформаций в условиях Севера принципиально отличаются от таковых в южных регионах России [Вольперт, Сапожников, 1998; Захарова, 2000; Миронова, 2000].

Несмотря на определенные достижения, биоиндикационные исследования в Якутии только начинаются, и многие вопросы оценки воздействия антропогенных факторов на окружающую среду остаются неизученными. Последнее обстоятельство послужило основной причиной создания этой работы. Мы сознательно ограничились оценкой состояния среды в районе деятельности предприятий горнодобывающей промышленности как основного источника техногенного воздействия на экосистемы Якутии.

В сборе материала для представленной работы оказывали содействие и товарищескую помощь большое количество специалистов, которые в разное время работали вместе с авторами. В особенности необходимо отметить В.В. Протопопову. В обработке материала и в экспедиционных работах авторам помогали сотрудники межведомственной лаборатории биоиндикации Института прикладной экологии Севера АН РС (Я) В.Ю. Солдатов, Г.В. Сапожников, В.В. Величенко, Т.М. Портнягина, а также студенты Якутского государственного университета Н.Н. Осинцева, Н.Н. Михайлова, Н.И. Белолубская, А.И. Алексеева, Н.Н. Бурцева и многие другие.

Привлеченные в обсуждение данные по химическому составу почв любезно предоставлены кандидатом биологических наук В.Г. Тарабукиной, снимок из космоса окрестностей г. Нерюнгри — кандидатом физико-математических наук В.С. Соловьевым.

Авторы получали столь необходимую поддержку со стороны Заслуженного деятеля науки РФ, профессора, доктора биологических наук Д.Д. Саввинова, кандидата биологических наук Г.Н. Саввинова и доктора биологических наук профессора Б.М. Кершенгольца.

Большую консультативную помощь в методическом плане и в обсуждении монографии оказали член-корреспондент РАН В.М. Захаров и сотрудники лаборатории постнатального онтогенеза Института биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН А.С. Баранов, В.И. Борисов, А.В. Валецкий, Е.К. Чистякова и А.Т. Чубинишвили.

Всем перечисленным лицам авторы приносят свою искреннюю благодарность.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 98а № 01-04-96205).

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД В БИОИНДИКАЦИОННОЙ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА СРЕДЫ

1.1. Биоиндикация как способ оценки качества среды

Любое изучение биологических объектов самого разного уровня (организм, популяция, сообщество) можно рассматривать как элемент биоиндикации. Нами биоиндикационные исследования состояния среды понимаются значительно уже — как специализированные исследования, которые ставят задачу выявить какие-либо, в первую очередь антропогенные, изменения в окружающей среде или оценить состояние территории по состоянию живых организмов. Таким образом, биоиндикационные исследования — это не столько метод, сколько вопрос постановки задачи исследований.

Современная система биологической оценки качества среды — биоиндикации — должна соответствовать следующим основным требованиям [Здоровье..., 2000а]:

- возможность оценки степени отклонения от оптимума;
- общий характер используемых параметров, отражающих наиболее важные черты функционирования биологических систем;
- высокая чувствительность, позволяющая выявлять даже начальные (еще обратимые) изменения в состоянии живых существ в ответ на отклонения параметров среды;
- универсальность, позволяющая выявлять последствия воздействия на различные виды живых существ в различных регионах и типах экосистем;
- возможность оценки ситуации в природе;
- пригодность для широкого пользования.

В настоящее время биоиндикационные исследования при оценке состояния среды получили широкое распространение, при этом надо отметить многообразие такого рода работ. Прежде всего, это физико-химические методы, позволяющие выявить поллютанты разного рода и радионуклиды в тканях организмов [Ильенко, 1974; Безель и др., 1986; Лебедева, Рябцев, 1999; и др.]. Такие методы позволяют точно установить, в какой степени конкретные загрязнения из окружающей среды осаждаются в тканях растений и животных, однако они не отвечают на вопрос, в чем выражается

негативное воздействие какого-либо поллютанта на организм? Достаточно широко распространены в последнее время работы, анализирующие изменения состава сообществ разных групп организмов под воздействием разного рода антропогенных факторов: почвенной фауны беспозвоночных [Кривошук, 1994], наземных позвоночных [Куликова, 1979; Булавинцев, 1981; Дегтярев, 1985; Вольперт, Шадрин, 1996; Юдкин и др., 1996; Вартапетов, Юдкин, 1998; Вольперт, Сапожников, 1998; Петров, 2000], растительных сообществ [Андреев, 1977; Захарова, 2000], микроорганизмов [Кравченко и др., 1999].

Отдельную и очень интересную группу работ составляют исследования, анализирующие зависимость от загрязнения среды частоты хромосомных aberrаций и более мелких мутаций у организмов разных таксономических групп — дождевых червей [Викторов, 1999], хирономид [Кариофонды..., 1996], млекопитающих [Померанцева и др., 1990].

В цели нашей книги не входит подробный анализ всех исследований по биоиндикации, но можно отметить отдельные черты, затрудняющие работу с некоторыми методами. Хотя большинство такого рода работ представляет большой теоретический и практический интерес, часть методик весьма трудоемки, поэтому не применимы для широких мониторинговых исследований, часть — работают с труднодоступными и не везде встречающимися видами. Кроме того, многие методы биоиндикации позволяют выявить в основном крупные изменения, затрагивающие наследственный аппарат или биоценологические связи на стадии необратимых нарушений экосистемы. В этом плане большой интерес представляют более чувствительные методики, регистрирующие мелкие ненаследственные изменения организмов на ранних стадиях трансформации биоты.

1.2. Стабильность развития организмов как основа для оценки качества среды

Одним из наиболее прогрессивных и удобных в применении методов биоиндикации является комплексный подход к оценке качества среды по состоянию живых организмов, разработанный сотрудниками Института биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН под руководством В.М. Захарова. Он успешно применялся при оценке промышленных, в том числе радиоактивных загрязнений и

других антропогенных воздействий [Биотест..., 1993; Последствия..., 1996; Здоровье..., 2000a]. Указанная методика хорошо зарекомендовала себя при оценке последствий аварии на Чернобыльской АЭС [Последствия..., 1996]. Сходный подход, но с использованием только морфогенетических показателей мелких млекопитающих, был применен при анализе состояния среды в зоне Уральского радиоактивного следа [Васильев и др., 1996] и на Украине [Ушакова, Слепов, 1999].

В основе комплексного подхода «Биотест» лежит оценка стабильности индивидуального развития организмов разных систематических групп и трофических уровней с помощью морфогенетических, цитогенетических, иммунологических, физиологических и биохимических параметров.

Стабильность развития — чувствительный индикатор состояния природных популяций, позволяющий оценивать суммарное антропогенное воздействие. Оптимальное протекание процессов развития поддерживается сложной системой буферных гомеостатических механизмов. Нарушение гомеостаза развития выражается в изменении различных параметров функционирования живых систем. Используемая система включает широкий спектр независимых друг от друга методов, с помощью которых проводится разносторонняя оценка гомеостаза. Их скоррелированный отклик служит надежным свидетельством изменения состояния организма. Сходство ответов, выявляемых для разных видов, обеспечивает надежную оценку изменения состояния экосистемы [Последствия..., 1996]. Ценность данного метода в том, что он позволяет оценить суммарное негативное воздействие на организм разных факторов и делает сравнимыми результаты, полученные в разных географических точках и в регионах, подвергающихся разного рода техногенным воздействиям. Оценить стабильность индивидуального развития можно с применением разных подходов — морфогенетического, цитогенетического, биохимического, иммунологического и т.п.

Предложенная система методов обеспечивает разностороннюю характеристику состояния организма по уровню гомеостаза развития. Ядро этой системы методов составляют три основных подхода, позволяющие оценить стабильность развития, цитогенетический гомеостаз и иммунный статус — наиболее существенные характеристики для выявления отклонений в общем состоянии организма. Причем морфогенетический подход, основанный на оценке стабильности развития, может быть рекомендован в качестве базового для оценки состояния организма в природных популяциях

[Биотест..., 1993]. В силу относительной простоты он пригоден для проведения анализа многих видов и сканирования ситуации на больших пространствах. Выявление сходных изменений по различным морфологическим структурам, показатели стабильности развития которых обычно нескоррелированы, дает основания для заключения об изменении общего состояния организма. Оцениваемые при этом морфологические отклонения, видимо, не имеют сами по себе большого значения для жизнеспособности организма, что определяет высокую чувствительность этого подхода. В то же время существенные изменения этих показателей оказываются связанными с отклонениями в наиболее важных характеристиках (генетических, иммунологических и др.). Таким образом, морфогенетический подход выступает в качестве чувствительного индикатора важных изменений, происходящих в состоянии организма. Преимуществом подхода является и низкая видоспецифичность; диапазон изменений показателя стабильности развития оказывается сходным для разных видов. Именно поэтому данный подход был использован при выполнении настоящей работы.

1.3. Морфогенетический подход при оценке качества среды

Морфогенетический гомеостаз оценивается по нарушению морфогенетических процессов. Оценка стабильности развития сводится к выявлению тех морфологических особенностей, которые возникают вследствие нарушения развития. С морфологической точки зрения изменения гомеостаза выявляются по показателям флуктуирующей асимметрии. Необходимая информация при этом может быть получена путем анализа различных количественных и качественных признаков у разных видов растений и животных.

При средовом или генетическом стрессе значения асимметрии различных, даже нескоррелированных между собой признаков, показывают согласованные изменения. Это означает, что информация, получаемая при анализе ограниченного набора признаков, позволяет охарактеризовать стабильность развития организма в целом [Захаров, 1987; Developmental..., 1992; Zakharov, 1992].

Случайная изменчивость в качестве характеристики стабильности развития рассматривается как следствие некоторых случайных нарушений, происходящих в процессе онтогенеза. Незначительные фенотипические различия могут быть оценены лишь как

свидетельство некоторого несовершенства развития, его неспособности к формированию идентичных типов в популяции. Именно в этом смысле по возрастанию флуктуирующей асимметрии выявляется нарушение стабильности развития, т.е. снижение способности к развитию сходного фенотипического эффекта на обеих сторонах тела при данных условиях.

Фундаментальными исследованиями показано, что одно из внешних проявлений нарушений гомеостаза развития — отклонения в симметрии тела и отдельных органов; указанные нарушения возникают на стадии формирования тканей, что приводит к нарушению развития организма в целом [Захаров, 1987; Leary, Allendorf, 1989]. В результате такого рода нарушений в строении органов возникают мелкие ненаследственные изменения, приводящие к асимметрии между левой и правой сторонами тела [Захаров, 1987]. Такие явления есть следствие ошибок в ходе развития организма, при нормальных условиях их уровень минимален, но возрастает при любом стрессирующем воздействии, что и приводит к повышению асимметрии [Захаров, 1987; Palmer, Strobeck, 1986; Parsons, 1990, 1992].

На практике этот вид асимметрии (флуктуирующая асимметрия) определяется по нормальному распределению относительно нуля различий между сторонами тела, взятыми со знаком «+» или «—», при суммировании которых должна получиться величина, близкая к нулю [Захаров, 1987; Van Valen, 1962]. Под флуктуирующей асимметрией понимают мелкие ненаправленные отклонения от идеального симметричного состояния, не имеющие самостоятельного адаптивного значения и возникающие как результат случайных ошибок развития в ходе онтогенеза, прежде всего — пренатального [Захаров, 1987]. Частота и значимость таких случайностей, а также и устойчивость к ним зависят как от генотипов особей, так и от воздействий среды, которые могут нарушать стабильность развития [Leary et al., 1983, 1992; Zakharov, Sikorsky, 1997].

При выяснении зависимости стабильности индивидуального развития от внешних условий обнаружено, что наиболее высокий уровень стабильности (минимальная величина случайной изменчивости развития) характерен лишь для определенного значения (или достаточно узкого диапазона) исследуемого параметра среды и неспецифично снижается при любых отклонениях от него. Дестабилизация развития неизменно наблюдается при отклонении от оптимальных условий вне зависимости от изменения величины самих анализируемых признаков. Такой эффект, улавливаемый

обычно по возрастанию значения флуктуирующей асимметрии, не может быть связан с прямым воздействием неоптимальных условий на формирование определенной структуры. В отношении млекопитающих отношения развивающегося индивидуума с внешней средой в этом случае оказываются опосредованными через организм матери и неблагоприятные внешние условия (холод, тепло, шум) могут выражаться в возрастании асимметрии различных признаков лишь в силу общей дестабилизации развития, происходящей вследствие изменения физиологического состояния самки. Но это оказывается справедливым и для тех случаев, когда развивающийся организм оказывается подверженным непосредственному воздействию внешних условий [Palmer, Strobeck, 1992].

В силу того, что наблюдаемые при этом фенотипические различия не являются еще нарушениями развития в строгом смысле слова и не оказывают ощутимого влияния на жизнеспособность, некоторая дестабилизация развития оказывается высокочувствительным показателем, позволяющим улавливать такие незначительные онтогенетические изменения в ответ на небольшие отклонения в условиях среды, при которых еще не имеют места собственно нарушения. Сама же зависимость стабильности развития от средовых факторов может быть выявлена лишь на популяционном уровне.

Указанный метод позволяет выявить изменения биотической составляющей окружающей среды до того, как они приобретут явный и часто необратимый характер. Для практического применения важно, что информация об отклонении от нормы может быть получена путем анализа различных количественных и качественных признаков у разных видов растений и животных, т.е. у организмов разных трофических уровней.

В качестве популяционного показателя в практике используется средняя арифметическая ФА.

Для оценки уровня стабильности развития по системе морфологических признаков используются интегральные показатели, среди них основным является средняя частота асимметричного проявления на признак. При этом учитывается лишь сам факт несходства значений признака на разных сторонах тела. При использовании средней асимметрии на признак учитывается не только факт различия между сторонами, но и его значение. Третьим показателем служит среднее число мелких фенотипических отклонений.

В последнее время появились работы, рассматривающие зависимость уровня флуктуирующей асимметрии организмов от степени загрязнения среды. Особенно интересны в этом плане работы,

позволяющие проследить долговременные изменения этого показателя внутри одной популяции. Это возможно путем сравнения выборок из одной и той же популяции до и после начала интенсивного антропогенного воздействия. Такие данные были получены в отношении серого тюленя и кольчатой нерпы в Балтийском море [Zakharov et al., 1997]. Сравнение сборов, сделанных в три разных периода, показало сходные временные изменения для обоих видов: существенное нарушение стабильности развития под влиянием возрастания загрязнения среды и последующее снижение этого показателя в период слабого загрязнения. Исследования, проводившиеся в течение 2 лет в зоне действия Восточно-Уральского радиоактивного следа, показали, что у красной полевки в этом регионе возросла частота асимметричных проявлений в распределении краниологических признаков и повысилась частота морфогенетических уродств в строении черепа по сравнению с контрольными местообитаниями [Васильев и др., 1996]. Проведенные в Англии исследования на рыбах показали, что уровень флуктуирующей асимметрии возрастает при повышении загрязнения водоема [Allenbach et al., 1999]. Нарушения стабильности развития на всех уровнях, в том числе и морфогенетическом, отмечены при исследовании покрытосеменных растений, рыб, амфибий, мелких млекопитающих в Брянской области в зоне действия последствий Чернобыльской катастрофы, на территории химических предприятий на юге Украины и в Новгородской области, в долине Нижней и Средней Волги [Последствия..., 1996; Кряжева и др., 1996; Здоровье..., 2000a].

Таким образом, явление флуктуирующей асимметрии относится к числу общебиологических феноменов, наблюдаемых в разных группах организмов и имеет разную причинную обусловленность (загрязнение среды химическими и радиационными поллютантами, генетическая дестабилизация, социальный стресс, обитание на периферии ареала). Благодаря этому параметры ФА могут использоваться в теоретических и прикладных исследованиях как показатели напряженности взаимоотношений организма и среды.

1.4. Регионы и объекты исследования

Исследования проводились в бесснежный период 1994—2001 гг. Материалы собирались в четырех регионах Якутии, характеризующихся наибольшим развитием предприятий горнодобывающего комплекса (рис. 1.1).

Рис. 1.1. Места проведения полевых работ.

Воздействие угледобывающей промышленности рассмотрено на примере двух разрезов — Кангаласского (Центральная Якутия) и Нерюнгринского (Южная Якутия).

Предприятия алмазодобывающей промышленности сосредоточены в Западной Якутии, где обследовано несколько объектов: в 1999 г. — в среднем течении р. Мархи, где начато освоение новых алмазных трубок Накынского кимберлитового поля, в 2000 г. — в среднем течении р. Далдын, в зоне деятельности Удачинского ГОК и в 2001 г. — в окрестностях старейшего на территории Якутии алмазодобывающего предприятия — Мирнинского ГОКа.

Золотодобывающая промышленность республики развита на территории Южной Якутии, где нами обследована территория Якокит-Селигдарского междуречья (среднее течение р. Алдан) и на северо-востоке, где обследованы окрестности пос. Кулар (бассейн нижнего течения р. Яны).

Во всех точках сбор материала проводился одновременно на ненарушенных прямыми техногенными воздействиями территориях, которые рассматриваются нами как контроль, и на участках, подвергшихся трансформации при добыче полезных ископаемых.

Объекты исследования. Для определения степени нарушения стабильности развития биотической составляющей среды вследствие трансформации природных ландшафтов нами были выбраны мелкие млекопитающие и лиственные деревья и кустарники. Под мелкими млекопитающими в данном случае принимаются мышевидные грызуны и насекомоядные. Изучение показателей стабильности развития указанных групп организмов позволило охватить исследованиями основные составляющие экосистемы — продуценты (растения), консументы I порядка (полевки) и консументы II порядка (бурозубки).

Выбор объектов объясняется как целями нашего исследования, так и особенностями флоры и фауны региона.

Растения являются чувствительным объектом, позволяющим оценивать комплекс воздействий, характерный для данной территории в целом, поскольку ассимилируют вещества и подвержены прямому воздействию одновременно из двух сред — почвы и воздуха. Кроме того, растения ведут прикрепленный образ жизни, и, таким образом, их состояние отражает, прежде всего, загрязнение конкретного локального местообитания. Выбор деревьев и кустарников обусловлен их многолетием и, как следствие, способностью отражать долговременные воздействия тех или иных факторов. Для оценки показателя флуктуирующей асимметрии использовали лист как орган, обладающий билатеральной симметрией. Это оправдывается также большой экологической восприимчивостью данного органа [Кузьмин и др., 1989].

Мелкие млекопитающие выбраны в качестве консументов в силу многочисленности данной группы и широкого расселения в регионах исследования. Немногочисленность амфибий в таежных биотопах Якутии делает их слабо пригодными для наших целей. Рыбы в качестве объекта морфогенетического подхода еще менее пригодны, так как во многих водоемах, подвергавшихся воздействию сброса минерализованных или кислых вод, ихтиофауна серьезно нарушена. Насекомые нами не рассматривались, так как из-за мелких размеров в значительной степени подвержены воздействию условий микростообитаний.

Методы исследования. Мелкие млекопитающие отлавливались общепринятыми методами — давилками Геро и ловчими канавками с конусами [Кучерук, 1963; Карасева, Телицына, 1995]. Отлов

проводился параллельно во всех облавливаемых местообитаниях. Отловлено около 2000 экз. мелких млекопитающих, относящихся к 16 видам, но для анализа показателей стабильности развития были выбраны лишь наиболее многочисленны виды — красная полевка (*Clethrionomys rutilus*), полевка-экономка (*Microtus oeconomus*), средняя (*Sorex caecutiens*) и тундрная (*S. tundrensis*) бурозубки:

Объем собранного материала для оценки степени нарушения стабильности развития биотической составляющей среды на примере мелких млекопитающих и растений

Объект исследования	n
<i>При воздействии угледобывающей промышленности</i>	
Центральная Якутия (Кангаласский угольный разрез), 1997—1999	
Красная полевка	192
Полевка-экономка	56
Средняя бурозубка	22
Береза плосколистная	800
Ива корзиночная	900
Свидина белая	900
<i>Южная Якутия (Нерюнгринский угольный разрез), 1999—2001</i>	
Красная полевка	130
Средняя бурозубка	38
Береза плосколистная	497
Дюшекия кустарниковая	3883
<i>При воздействии алмазодобывающей промышленности</i>	
Западная Якутия (Мирнинский ГОК), 2001	
Узкочерепная полевка	28
Полевка-экономка	13
Красная полевка	138
Средняя бурозубка	82
Тундрная бурозубка	45
Бурая бурозубка	28
Крупнозубая бурозубка	11
Береза плосколистная	758
Дюшекия кустарниковая	280

Объект исследования	n
<i>Западная Якутия (Удачинский ГОК), 2000</i>	
Красная полевка	18
Полевка-экономка	60
Тундрная бурозубка	6
Дюшекия кустарниковая	199
<i>Западная Якутия (Накынское кимберлитовое поле), 1999</i>	
Красная полевка	124
Красно-серая полевка	54
Полевка-экономка	46
Лесной лемминг	49
Средняя бурозубка	82
Тундрная бурозубка	71
Крупнозубая бурозубка	72
Береза плосколистная	400
<i>При воздействии золотодобывающей промышленности</i>	
Южная Якутия (Якокит-Селигдарское междуречье), 1994—1997	
Красная полевка	67
Красно-серая полевка	44
Полевка-экономка	40
Средняя бурозубка	129
Береза плосколистная	400
Дюшекия кустарниковая	250
Ива корзиночная	467
<i>Северо-Восточная Якутия (низовья р. Яны), 1994—1995</i>	
Полевка-экономка	33
Тундрная бурозубка	67
Всего:	
черепов мелких млекопитающих	1745
листьев растений	9734

В ряде случаев дополнительно привлечены данные по узкочерепной (*M. gregalis*) и красно-серой (*Cl. rufocanus*) полевкам, лесному леммингу (*Myopus schisticolor*), а также крупнозубой (*S. daphaenodon*) и бурой (*S. roboratus*) бурозубкам.

Для оценки степени нарушения стабильности развития у млекопитающих нами исследовались черепные признаки (отверстия для выхода нервов и сосудов) по методике, предложенной московскими учеными Института биологии развития им. Н.К. Колцова РАН В.М. Захаровым с соавт. [1984; Здоровье..., 2000б]. Для оценки уровня гомеостаза развития с морфогенетической точки зрения желательно получение оценки по ряду различных нескоррелированных между собой признаков. Для получения искомой характеристики мы выбрали у полевок 15 краниологических черепных признаков (отверстия для выхода нервов и кровеносных сосудов), у насекомоядных — 10 (рис. 1.2, 1.3). Каждый фен учитывался на правой и левой сторонах черепа и асимметричными считались те признаки, проявление которых различалось на разных сторонах. Флуктуирующая асимметрия оценивалась частотой асимметричных проявлений признаков на особь, а в качестве популяционного показателя использовали среднюю арифметическую частоту асимметричного проявления признаков (ЧАП), выраженную десятичной дробью (отношение асимметричных признаков к общему числу исследованных [Последствия..., 1996; Захаров и др., 2000а]).

Для оценки флуктуирующей асимметрии выбирались широко распространенные местные виды лиственных пород, в основном береза плосколистная, ива корзиночная и дюшекия кустарниковая. Надо отметить, что наиболее разработана методика выявления показателя ФА для березы повислой (вид, достаточно близкий к плосколистной). Всего собрано и промерено 9 734 листьев березы плосколистной (*Betula platyphylla*), дюшекии кустарниковой (*Duschekia fruticosa*), ивы корзиночной (*Salix viminalis*) и свидины белой (*Swida alba*).

У растений показатель ФА определялся по асимметрии жилкования листовой пластинки. Листья в количестве по 10 шт. с 10 деревьев в каждой точке собирались с укороченных побегов нижней

Рис. 1.2. Схема расположения морфологических признаков для оценки стабильности развития полевок.

Краниологические признаки: 1 — foramen diastemae; 2 — foramen basis processus zygomaticum; 3 — foramen palatinae; 4 — foramen ovale ancessorius; 5 — foramen hypoglossum; 6 — foramen supraorbitalis; 7 — foramen supraorbitalis anterior; 8 — foramen supraorbitalis posterior; 9 — foramen squamosum; 10 — foramen mastoideum; 11 — foramen mastoideum accessorius; 12 — foramen mandibularis pars alveolaris; 13 — foramen basis mandibularis; 14 — foramen mandibularis masseterica; 15 — foramen processus condilaris.

Рис. 1.3. Схема расположения морфологических признаков для оценки стабильности развития бурозубок.

Краниологические признаки: 1 — foramen palatinum anterior; 2 — foramina basis palatinum posterior accessorius minor; 3 — foramen palatinum posterior; 4 — foramen palatinum laminae; 5 — foramen accessorius canale; 6 — foramen basisphenoidalis lateralis; 7 — foramen parietale anterior; 8 — foramen parietale media; 9 — foramen parietale posterior; 10 — foramen parietale corner.

части кроны у деревьев генеративного возраста, растущих в условиях примерно одинаковой освещенности. Листья промерялись в программе Photoshop 5.0 после сканирования. Линейные промеры проводились с точностью до 0,1 мм, угловые — до 0,1°.

У березы с каждого листа брались по пять промеров [Последствия..., 1996; Кряжева и др., 1996] (рис. 1.4). Для дюшекии, свидины и ивы методика была несколько модифицирована из-за особенностей формы и жилкования листовой пластинки и расположения

Рис. 1.4. Схема промеров листа березы, использованная для оценки величины флуктуирующей асимметрии.

1 — ширина полулиста; 2 — длина второй от основания жилки второго порядка; 3 — расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 4 — расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка; 5 — угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

листьев. У дюшекии кустарниковой добавлен шестой промер — ширина полулиста в нижней четверти пластинки, а у ивы для промеров использовалась не вторая от основания жилка второго порядка, а третья — четвертая.

Рис. 1.5. Особенности строения листовой пластинки и фенотипы дюшекии кустарниковой.

а — нормальное строение и жилкование; б — неровный край листовой пластинки; в—д — жилка второго порядка: в — непарная первая; г — добавочная; д — дихотомическое разветвление.

Показатель ФА у растений оценивался с помощью интегрального показателя — среднего относительного различия на признак (средняя арифметическая отношения разности к сумме промеров листа слева и справа, отнесенная к числу признаков).

В ряде случаев дополнительно рассматривалась частота встречаемости фенотипов — мелких ненаследственных отклонений от нормального строения и жилкования листовой пластинки. В частности, у дюшечки и березы нами отмечены неровный край основания листовой пластинки, непарная первая жилка второго порядка, наличие добавочной (вставочной) жилки второго порядка с одной стороны, дихотомическое разветвление жилки первого или второго порядка (рис. 1.5).

Для анализа показателей стабильности развития использовали общепринятые статистические параметры — среднюю арифметическую, ее ошибку, дисперсию признака. Для выявления статистически значимых различий между значениями этого показателя в разных выборках использовали *t*-критерий Стьюдента [Плохинский, 1961; Лакин, 1980].

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Якутия занимает площадь около 3 млн км², простираясь от 56 до 78° с.ш. и от 106 до 163° в.д. В ее состав входят различные геоморфологические образования — от обширных низменностей, едва возвышающихся над уровнем моря, до высокогорий, достигающих 3000 м абс. высоты. Взаимодействие тектонических процессов с выветриванием различных по литологическому составу и прочности горных пород создали большую пестроту морфологических черт рельефа. Наличие многолетней мерзлоты обусловило образование своеобразных мерзлотных форм рельефа курумы, кекуры, термокарстовые озера, бугры пучения на равнинах [Коржуев, 1965].

2.1. Рельеф

Долина р. Лены служит естественной границей между областями с горным и равнинным рельефом. К востоку и югу от этой реки распространены преимущественно горные формы рельефа, к западу — равнинные. На севере республики до побережья Ледовитого океана простираются низменности. Горы северо-востока Якутии сложены сильно дислоцированными осадочными породами палеозоя и мезозоя, среди которых выступают интрузивные кристаллические породы. Для них характерна ступенчатость рельефа: чередование сравнительно низких горных цепей с мягкими очертаниями и высоких крутосклонных хребтов Верхоянского и Черского, Оймяконским, Алазейским и Юкагирским плоскогорьями [Сивцева др., 1990].

Осевая часть Верхоянского хребта представляет собой сильно расчлененное альпийское среднегорье, частично высокогорье. Абсолютные высоты обычно не превышают 2500 м и только на юге в горном массиве Сунтар-Хаята достигают 3010 м.

В Верхоянскую горную систему входят также Адычанское нагорье, Бытантайское плоскогорье, Верхоянская и Табалахская впадины. Реки здесь глубоко врезались в днища своих долин в виде каньонов со скалистыми стенами до 100—120 м высоты.

На юго-востоке, где Сибирская платформа соприкасается с Джугжуро-Становой и Байкальской раннепалеозойскими складчатыми областями, располагаются горы Алдано-Учурского хребта, Олекмо-Чарского нагорья и северного склона Станового хребта [Коржуев, 1965].

В центральных частях горных массивов Южной Якутии (с высотами около 2000 м) наблюдаются альпийские формы рельефа со свежими следами горно-долинного оледенения. На высотах ниже 1100—1200 м развит преимущественно эрозионный рельеф, долины здесь глубокие, узкие, со скалистыми берегами.

Среднесибирское плоскогорье входит в пределы Якутии своей восточной частью. Представляет оно собой поднятую и расчлененную денудационную равнину с глубокими речными долинами, имеющими известковые обрывы в 100—150 м высотой и более, многочисленные террасы. Нижние ярусы террас (до 15—20 м) обычно сложены аллювиальными отложениями, более высокие — коренными. В верховьях реки протекают в широких невыработанных долинах с пологими склонами, без террас, с заболоченными днищами («травяные речки»). В связи с этим водоразделы представляют собой широкие, плоские, ровные или слабоволнистые пространства. Для расчлененных участков характерен рельеф столовых гор до 600 м высотой [Коржуев, 1965].

Центрально-Якутская равнина, расположенная на опущенной окраине Сибирской платформы, представляет собой впадину. Верхний уровень равнины характеризуется эрозионным и грядово-западинным рельефом с небольшим количеством озер и аласов. На среднем и нижнем уровнях, отделенных от равнины верхнего уровня уступом в 10—40 м, сильно развит термокарстовой и бугристо-кочковатый мерзлотный рельеф с многочисленными озерами и аласами.

На крайнем северо-востоке Якутии расположены Яно-Инди-гирская, Инди-гирская низменности с развитыми озерными ландшафтами разных типов. На севере они переходят в приморские тундры с характерными трещиноватыми ландшафтами. Местами здесь встречаются невысокие (до 400 м) куполообразные горы [Коржуев, 1965].

2.2. Климат

Климат Якутии характеризуется резкой континентальностью, большими колебаниями температур и малым количеством осадков [Гаврилова, 1998]. Основным фактором, определяющим состояние атмосферы, является мощный и устойчивый зимний сибирский

антициклон [Витвицкий, 1965]. По сравнению с районами, лежащими на той же широте в Европейской части и в Западной Сибири, запасы солнечной энергии в Якутии оказываются больше, что связано с соответствующими циркуляционными условиями, определяющими значительную повторяемость антициклональных погод с высокой прозрачностью атмосферы [Сивцева и др., 1990].

Резкая континентальность обуславливается продолжительной зимой с устойчивыми сильными морозами при почти полном безветрии и относительно жарким летом с температурами, достигающими 36—38 °С. Осень и весна очень короткие. Наиболее холодные зимы в северо-восточных и центральных районах (–45...–50 °С). В тундровых районах характерны большие инверсии температуры воздуха. Среднегодовые температуры отрицательные, варьируют от –0,4 на юге до –7...–8 на западе и –16 °С на северо-востоке [Витвицкий, 1965; Климов, 1987; Гаврилова, 1998]. Сумма средних суточных температур воздуха выше 10 °С составляет 400—1400°. Средняя продолжительность безморозного периода также существенно варьирует по регионам.

Особенность климата — очень малое количество осадков. Наименьшее их количество выпадает в Верхоянской впадине (142 мм) и на Оймяконском плоскогорье (167 мм), в зоне арктических тундр (150 мм) и в большинстве лесотундровых районов (200 мм); больше всего (500 мм) — в верхней части бассейна Алдана; повышенным количеством (300—340 мм) отличаются южные и юго-западные районы [Справочник..., 1973]. Большая часть их (около 70 %) выпадает в теплое время года преимущественно в виде дождя (июль, август). В связи с этим в Якутии наблюдается сравнительно небольшая глубина снежного покрова (в большинстве районов республики не превышает 30—60 см), а наименьшая характерна для тундровых, яно-индигирских и центральных районов; повышенной глубиной отличаются почти все западные, южно-алданские и колымские районы республики.

Таким образом, Якутия характеризуется суровыми климатическими условиями, по зимним температурам и годовым амплитудам температур ее территория не имеет аналогов в Северном полушарии [Справочник..., 1973, 1989].

2.3. Многолетняя мерзлота

Большое влияние на почвенный климат, растительность и на развитие всех факторов физико-географической среды оказывает многолетняя мерзлота. Вся территория Якутии, за исключением

юго-западной части, расположена в зоне сплошной вечной мерзлоты, мощность которой колеблется от нескольких десятков метров до 400—600 м и более [Агроклиматический справочник..., 1963]. Повсеместное распространение мерзлых пород способствует деформации почвогрунтов (просадки, бугры и т.д.), а частичная деградация ледового комплекса приводит к широкому распространению таких форм рельефа, как аласные котловины.

Под руслами крупных рек, под глубокими озерами, в местах выхода источников глубинных вод, а также в самой толщине мерзлоты встречаются участки, лишенные мерзлоты — талики. Летом верхний слой почвогрунтов оттаивает, а зимой замерзает. В толще многолетней мерзлоты повсеместно встречаются линзы и прослойки подземного (ископаемого) льда. Подземный лед образуется от замерзания воды, содержащейся в породах, пустотах и трещинах горных пород, или из подземного льда и снега. Верхняя граница подземных льдов обычно лежит на глубине от 1—1,5 до 2—3 м, мощность их иногда достигает 5—10 м и более [Качурин, 1965].

Протаивание сильно льдистых горизонтов и подземных льдов вызывает многие процессы и явления: морозное растрескивание, пучение горных пород, термокарст и др. Термокарстовые процессы формировали мерзлотный рельеф — аласы, быллары, булгунняхи, байджарахи и др., таяние мерзлоты часто происходит под влиянием хозяйственной деятельности человека (раскорчевки, вырубки леса, лесные пожары, распашка целины и т.д.).

Многолетняя мерзлота является важнейшим компонентом природного комплекса. Промерзание и протаивание мерзлых грунтов создают сложные условия возведения, эксплуатации, промышленных и гидротехнических сельскохозяйственных и жилых сооружений и строений, а также разработки месторождений полезных ископаемых [Сивцева и др., 1990].

В Западной Якутии выделяется обширная область широкого распространения в криолитозоне соленых подземных вод и рассолов, имеющих отрицательную температуру (криопеги). Они встречаются на глубинах 200—400 м и более.

2.4. Почва

Наличие многолетней мерзлоты определяет специфику гидро-термического режима почв Якутии. Влияние мерзлоты на почвенный климат столь велико, что оно оказывается совершенно несравнимым с почвенным климатом других природных зон земного

шара, где многолетняя мерзлота отсутствует [Саввинов, 1989]. По показателю увлажнения Центральная Якутия приравняется к южным степям или полупустыням, однако на ее территории господствует тайга из светлехвойных древесных пород: лиственницы даурской (*Larix dahurica*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), и это позволяет предполагать наличие подзолистых почв, в действительности же на территории Центральной Якутии не образуется подзолов. Для района исследований наиболее распространены мерзлотно-таежные палевые почвы. Они широко развиты на деградированных участках равнин и плато под лиственничной тайгой на лессовидном карбонатном древнеаллювиальном суглинке и на суглинистом аллювии карбонатных пород. Кроме зональных лесных почв на открытых участках распространены лугово-черноземные и черноземно-луговые почвы [Зольников, 1954].

Оттаивание почвы начинается со схода снежного покрова, промерзание — после осеннего перехода средней суточной температуры через 0 °С, причем последнее идет одновременно сверху и снизу, и в январе происходит смывание сезонно-протаивающего и вечномерзлого слоя. Глубина оттаивания из года в год не остается постоянной и зависит от метеорологических особенностей данного года [Агроклиматический справочник..., 1963].

2.5. Растительность

В геоботаническом отношении территория Якутия подразделяется на зоны тундры и тайги [Сочава, 1956]. В пределах Якутии тундровая зона тянется сравнительно неширокой полосой. На западе граница ее проходит примерно по 71° с.ш., тогда как в бассейне Колымы несколько севернее 68° с.ш. [Караваев, Скрябин, 1971]. По характеру растительности зона тундры неоднородна и имеет ряд подразделений, в основном отвечающих широтным и вертикальным климатическим поясам.

Равнинные материковые тундры в прибрежной полосе представлены арктическими тундрами, которые характеризуются низкорослой растительностью с обилием пушиц и осок, а также низкорослых кустарничков ивы. Лишайников здесь мало, господствуют гипновые мхи.

К югу от полосы арктических тундр расположены моховые и лишайниковые тундры. Здесь встречаются участки травяно-моховых тундр, кустарничково-моховых, тальниково-ерниковых моховых тундр и лишайниково-моховых. В полосе мохово-лишай-

никовых тундр встречаются брусника, голубика, морошка, вороника.

Еще далее к югу развиты кустарниковые тундры, среди которых большие площади заняты мохово-лишайниковыми, гипново-травяными и другими тундрами. Заросли ерниковых березок и ив встречаются преимущественно по вершинам и склонам холмов. Самую южную окраину тундры занимают тундровые ивняки и ерниковые тундры, которые распространяются в основном уже в пределах северного редколесья. Здесь произрастают ерниковые березки и кустарниковые ивы. Из травянистой растительности преобладают злаки и осоки. Большие площади занимают ягодники и наземные лишайники.

В южной части лесотундра на равнинах переходит в редкостойные северо-таежные леса [Жадринская, 1960]. В северной части лесотундры редколесья занимают 10—20 % площади, в южной — 40—50 % [Тебеневочные пастбища..., 1974]. В южной части лесотундры отдельные экземпляры лиственницы высотой 2—4 м растут на расстоянии 2—3 м друг от друга. Деревья в лесотундре сильно угнетены и характеризуются медленным ростом: они низкорослы, стволы их искривлены, крона развита слабо. В большинстве случаев они суховершинные.

Подлесок состоит из карликовой ольхи и зарослей березки Миддендорфа. Бедный кустарничковый покров представлен голубикой, реже — брусничником и морошкой. Среди этого покрова развиваются пятна ягельников, местами занимающие значительные площади. Среди ягельников растет голубика, багульник и брусника. Из кустарников здесь развиты ивы (*Salix glauca*), кустарниковая ольха (*Duschekia fruticosa*) и ерник. На вершинах грив развиты мохово-лишайниковые лиственничники, где преобладает почти сплошной моховый покров [Караваев, 1965]. Также имеет место развитие болотных и луговых ассоциаций [Жадринская, 1960].

Вся лесопокрытая территория Якутии входит в состав двух подзон: северотаежных и среднетаежных лесов [Тимофеев, 1980]. Лесопокрытая площадь Якутии в среднем составляет 41,4 %, а вся лесная площадь, включая гари, лесосеки, редины и ерники, — 60,2 %.

Центральную часть Якутии (Лено-Вилуйскую впадину и прилежащие участки Среднесибирского плоскогорья) занимают сосново-лиственничные леса. На самом юге республики произрастают неполносомкнутые кедрово-лиственничные леса.

Господствующим типом растительности является лиственничный лес с травяно-брусничным покровом [Караваев, Скрыбин,

1971]. По совокупности общих фитоценологических и экологических признаков все разнообразие лиственничных лесов можно свести к нескольким группам типов леса — лиственничники: толокнянковые, разнотравные со степными элементами в покрове, брусничные, ольховные, моховые, багульниковые.

В Центральной Якутии довольно широко распространены сосняки, на их долю приходится около 6 % покрытой лесом площади. Сосновые леса пространственно сопряжены с лиственничниками толокнянковой и багульниковой групп, но занимают в этом комплексе наиболее теплые и сухие местообитания положительных элементов мезорельефа, а также крупные склоны. Отличаясь резко очерченным экологическим ареалом, местные сосняки довольно однообразны в фитоценологическом отношении и представлены одной группой типов леса — толокнянковыми сосняками.

Еловые леса имеют ограниченное распространение, поэтому участие ельников в лесном покрове области незначительно — около 1 % покрытой лесом площади. Еловые леса тяготеют к долинам больших рек, где занимают дренированные, хорошо прогреваемые участки высокой поймы. Ограниченный экоценологический ареал ели в области многолетней мерзлоты связан с повышенной чувствительностью этой древесной породы к сухости и низким температурам почвы. Ельники Центральной Якутии относятся к зеленомошной группе типов. В молодняках обычно развивается редкий подлесок из представителей умерной растительности. При смене ели лиственницей формируются хвощовые и хвощово-брусничные лиственничники.

Из кустарниковых пород здесь многочисленны ерниковые березки, кустарниковая ольха, боярышник, дерен сибирский, несколько видов ив, шиповник, рябина, черемуха, малина, смородина и некоторые другие. Большинство перечисленных кустарников произрастает под пологом леса или на опушках. Весьма существенное значение в растительном покрове имеют также луга, а местами — степная растительность. Здесь сосредоточена основная масса всех сенокосов и пастбищ [Караваев, 1955].

Широко распространены среди тайги аласы. Аласы — это луга на месте высохших озер, образовавшихся в результате термокарста, т.е. вытаивания погребенных льдов. Основную массу растительности аласа составляют злаки и осоки, располагающиеся концентрическими рядами вокруг остаточного озера, в зависимости от влажности и состава почвы. На более повышенных участках поймы появляются ярко цветущие злаково-разнотравные и разнотравные луга [Кононов, 1982].

ВЛИЯНИЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ

Горнодобывающая промышленность является одним из основных факторов техногенного воздействия на экосистемы Севера. Территория Якутии в этом отношении не исключение. В настоящее время на территории республики на разработку месторождений полезных ископаемых приходится 22,5 тыс. га нарушенных земель (67,2 % от общего количества нарушенных земель), тогда как на такие отрасли, как строительство, электроэнергетика, сельское хозяйство — всего 10,1 %. Наиболее значительные их площади сосредоточены в Мирнинском (10,2 тыс. га), Нерюнгринском (7,6 тыс. га) и Алданском районах (7,5 тыс. га) [Государственный доклад..., 2001]. Это регионы, в которых наиболее развиты отрасли горнодобывающей промышленности — соответственно алмазо-, угле- и золотодобывающей.

Развитие горнодобывающей промышленности сопровождается разного рода загрязнениями — механическими, химическими, физическими и биологическими [Цыганков, 1994].

3.1. Основные факторы загрязнения окружающей среды объектами горнодобывающей промышленности

К **механическим загрязнениям** относят засорение среды веществами, оказывающими лишь механическое воздействие без физико-химических последствий. К таким загрязнителям относятся химически нейтральные газы и нетоксичная пыль. Большое влияние на загрязнение среды, особенно поверхностные водотоки, оказывает открытая разработка россыпных месторождений. Загрязнение механическими примесями снижает прозрачность воды, в результате происходят угнетение планктона и бентоса, гибель рыб [Цыганков, 1994]. Под влиянием загрязнения водоемов снижается продуктивность биомассы планктонных организмов, изменяется со-

став ихтиофауны, причем, как правило, снижение видового разнообразия происходит за счет исчезновения хозяйственно ценных видов рыб, таких как хариус, сиг, чир, тугун. В наземных биоценозах механическое загрязнение негативно влияет на растительность, затрудняя процесс фотосинтеза, что при высоких концентрациях пыли также может привести к снижению биомассы и видового разнообразия.

Также широко распространено **химическое загрязнение**, характеризующееся изменением химических параметров среды. При добыче полезных ископаемых на участках, прилегающих к горным предприятиям, рассеиваются химически активные элементы. Серьезным загрязнителем среды являются отвалы. Вследствие постоянного воздействия на поверхность терриконов осадков, перепадов температуры и ветра более крупные куски породы разрушаются до размеров пылевых частиц, и те уносятся ветром, иногда на значительные расстояния. Их концентрация в воздухе с подветренной стороны на расстоянии 150 м от отвала достигает 10—15 мг/м³ [Цыганков, 1994].

Серьезную угрозу для окружающей среды представляют собой жидкие отходы бурения геолого-разведочных скважин, которые содержат в среднем около 160 г/л взвешенных твердых частиц и около 300 г/л различных токсичных веществ, нефтепродуктов, поверхностно-активных веществ (ПАВ), минеральных солей. Шахтные воды включают химически активные минеральные и органические примеси, в них встречаются многие микроэлементы, среди которых особо опасны ионы тяжелых металлов, соединения мышьяка, меди, ртути, хрома. Некоторые из этих веществ обладают способностью к аккумуляции при прохождении по пищевым цепям биоценозов.

Физическое загрязнение характеризуется изменением температурных, волновых, радиационных, прочностных и других физических параметров среды. К физическим загрязнителям относятся: нарушения природных ландшафтов горными выемками, звуковое давление, нарушение освещенности, вибродинамическое поле, ударная волна взрыва, электромагнитные излучения, сдвиги горных пород, внезапные выбросы и т.п. Ведение горных работ сопровождается нарушениями земель на большую глубину со значительными изменениями гидрогеологических характеристик и ландшафтов, выносом на дневную поверхность неплодородных и даже вредных пород. По приближенным расчетам, при добыче 1 млн т угля нарушается от 3 до 43 га земель [Цыганков, 1994]. В условиях

горного и холмистого рельефа производство геолого-разведочных работ часто вызывает активное проявление термокарста, оползневых явлений, эрозии. Деформация структуры и ухудшение качества почвенного покрова, вырубка древесно-кустарниковой растительности, создание новых микроландшафтов в связи с устройством дорог, насыпей, дамб при таких работах неизбежны.

При проведении горных выработок нарушается естественный тепловой режим горных пород. В случае мерзлых пород это может привести к серьезным последствиям — изменению их прочностных свойств или даже полному изменению физического состояния [Цыганков, 1994].

Окружающая среда может быть подвержена также **биологическому загрязнению**, т.е. проникновению в экосистемы живых организмов, чуждых данным сообществам. Это, прежде всего, плесневые грибы и бактерии.

При оценке степени воздействия объектов горнодобывающей промышленности на окружающую среду необходимо учитывать, что каждый загрязнитель действует в комплексе с другими и в зависимости от подвижности среды, и многие загрязнители дают последствия через длительный срок [Максимов, 1993].

Таким образом, основными формами воздействия горнодобывающей промышленности на окружающую природу являются загрязнения водной среды, воздушного бассейна и отторжение земель.

3.2. Воздействие угледобывающей промышленности

В республике на долю предприятий, добывающих и перерабатывающих уголь, приходится 77,3 % (6,094 тыс. т) валовых выбросов топливной отрасли [Государственный доклад..., 2001]. Добычу угля в Якутии открытым способом осуществляют разрезы «Нерюнгринский» (рис. 3.1), «Кангаласский», а также участок открытых работ шахты «Джебарики-Хая».

Основными источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на предприятиях угледобывающего комплекса являются собственно разрезы и шахты, а также котельные, автотранспорт, обогатительные фабрики, литейное производство.

Загрязнение атмосферы. На подавляющем большинстве карьеров подготовка горных пород к выемке осуществляется буровзрыв-

Рис. 3.1. Нерюнгринский угольный разрез.

ным способом, взрывные работы проводятся в основном посредством массовых взрывов [Томаков и др., 1994].

Массовый взрыв на карьере является мощным периодическим источником выброса в атмосферу большого количества пыли и газов. В настоящее время его объем достигает 2 млн м³ взорванных горных пород. За один массовый взрыв выбрасывается в атмосферу 100—250 т пыли и 6000—10 000 м³ вредных газов. Пылегазовое облако при массовом взрыве выбрасывается на 150—300 м и может подниматься затем значительно выше. Объем пылегазового облака достигает 15—20 млн м³, концентрация пыли в зависимости от разных факторов меняется от 680 до 4250 мг/м³ [Томаков и др., 1994].

Вещества, выбрасываемые при массовых взрывах, разносятся на значительные расстояния, загрязняя прилегающие территории, в том числе и жилые массивы. Радиус техногенного влияния разреза и сопутствующих производств достигает 50—70 км, а площадь нарушенных земель — 10 000 км².

Кроме того, для массовых взрывов характерно вторичное газовыделение из взорванной горной массы, продолжающееся в отдельных случаях 10—15 ч. Максимальная концентрация оксида углерода во взорванной горной массе достигает 15—17 %, превышение предельно допустимой концентрации наблюдается до 100 ч и более [Томаков и др., 1994]. Пыление при выемке и погрузке горной массы из развала взорванных горных пород, особенно угля, весьма значительно. Большое количество пыли выделяется при экскавации перегоревших пород, а также при погрузке угля на угольных складах.

Автомобильные дороги на карьерах, использующих автотранспорт, занимают одно из первых мест в балансе пылевыведения. Интенсивность выделения пыли карьерными автодорогами зависит от состояния дорожного покрытия, скорости движения автотранспорта и климатических условий.

Загрязнение водных ресурсов. Основное загрязняющее действие на водные объекты (реки, озера, водоемы, подземные водоносные горизонты) в угольной промышленности оказывают сточные воды шахт и разрезов, откачиваемые на дневную поверхность. Так, при среднем расходе воды 100 м³/ч доля шахтных вод из угольных разработок, поступающая в реки протяженностью 2,5, 10 и 50 км, составляет соответственно 100, 10 и 1 %. Это указывает на то, что именно небольшие реки и ручьи в наибольшей степени подвергаются загрязнению сточными водами.

В окрестностях Нерюнгринского угольного разреза серьезному техногенному воздействию подвергаются небольшие реки — Чульман, Тимптон, Иенгра. Характерные загрязняющие вещества р. Тимптон — соединения меди и цинка, фенолы. Критического уровня загрязнения достигло по соединениям меди, среднегодовая и максимальная концентрация которых 43 и 120 ПДК. В воде р. Иенгры их среднегодовая концентрация составляет 22, максимальная — 50 ПДК, а превышение допустимых значений отмечено во всех пробах. Среднегодовая концентрация соединений меди в р. Чульман возросла от 2 до 8 ПДК, а максимальная достигла высокого загрязнения — 50 ПДК [Государственный доклад..., 2001].

Загрязнение земельных ресурсов. Влияние деятельности предприятий угольной промышленности на состояние земельных ресурсов чрезвычайно разнообразно. Помимо количественного сокращения продуктивных земельных площадей в результате изъятия их из народно-хозяйственного оборота при эксплуатации шахт, разрезов и обогатительных фабрик происходит значительное изменение структуры и состава поверхностного слоя земной коры, приводящее нередко к полной или частичной потере плодородия земельных угодий. Только за 2000 г. общая площадь нарушенных угледобычей земель по республике составила 20,8 га [Государственный доклад..., 2001]. Наибольший ущерб природе и землепользователям наносят внешние и внутренние отвалы вскрышных пород, выработанные пространства разрезов, остаточные горные выработки, деформированные участки дневной поверхности, породные отвалы шахт, хвостохранилища обогатительных фабрик, промплощадки и транспортные коммуникации. Там, где рекультивации нарушенных земель не придается должного значения, они представляют собой безжизненные территории, становятся центрами эрозионных процессов, выводящих из строя земельные участки, прилегающие к угольным предприятиям. Неблагоприятные изменения природного ландшафта дополняются нарушением гидрологического режима и гидрологических условий местности [Красавин, 1991].

В районе г. Нерюнгри основными загрязнителями являются угольный разрез «Нерюнгринский» и обогатительная фабрика, а также предприятия электрических и тепловых сетей, водогрейная котельная и автотранспорт. Несмотря на принимаемые меры по пылеподавлению, в разрезе ее количество превышает естественный фон в 300 раз, а в жилом поселке в котловине, где первоначально был заложен жилой массив, — в 200 раз. Впоследствии

город был построен на высоком массиве, на некотором удалении от разреза. Тем не менее и здесь естественный фон превышает в 7,5 раза.

3.3. Воздействие алмазодобывающей промышленности

Промышленная добыча алмазов в Якутии началась в 1956 г., с эксплуатации трубки «Мир». С 1960 г. и по настоящее время разрабатывается Иреляхское россыпное месторождение, ведется отработка россыпей месторождений «Водораздельные галечники» и «Горное». В настоящее время добыча алмазов проводится в основном на коренных месторождениях в трубках «Удачная», «Мир», «Интернациональная», «Юбилейная», «Сытыканская», «Айхал», расположенных в континентальной части (средне- и северотаежной подзоне), открытым и подземным способом и в меньших объемах — на погребенных и русловых россыпях в бассейнах рек Вилюй и Анабар.

Освоение запасов полезных ископаемых потребовало развития соответствующей инфраструктуры. В частности, построены крупный населенный пункт — г. Мирный, а также и несколько поселков, созданы транспортные, ремонтные предприятия и т.д.

Алмазы добываются из месторождений двух типов: коренных залеганий (трубок) (рис. 3.2) на водоразделах и реже — из россыпей по долинам рек. Карьеры и отвалы окружены лиственничной тайгой с фрагментами пойменной растительности из ивняков и осоково-вейниковых кочкарников. Пустые (без содержания алмазов) материнские породы из карьеров (глубина которых достигает более 500 м) отсыпаются на очищенных от почвенно-растительного покрова водораздельных участках недалеко от месторождений (рис. 3.3). Отвалы — «лунные ландшафты» — представляют собой очень крутой и высокий (до 40—100 м) холмистый с платообразными вершинами рельеф [Миронова, 2000].

Дражная разработка россыпных месторождений алмазов ведется по долинам рек и занимает сравнительно небольшие площади. Дражные отвалы представляют собой невысокие (до 5—20 м) с пологими склонами среднегрядово-гребневидно-бугристые комплексы, состоящие из аллювиальных отложений — галечников с участием песков и супесей, иногда торфа (рис. 3.4). В отличие от пород карьерных отвалов в россыпных месторождениях встречаются

Рис. 3.2. Отвалы, образующиеся при открытой разработке месторождений алмазов.

Рис. 3.3. Открытая разработка месторождения алмазов, карьер.

Рис. 3.4. Дrajный полигон в долине р. Ирелях.

ся породы, где содержание азота не уступает таковому в зональных почвах [Лебедева, Лонкунова, 1990].

Деятельность алмазодобывающей промышленности сопровождается отторжением значительных площадей природных ландшафтов, наибольшую роль в этом играют создание хвостохранилищ, отвалов пустых пород, разработка россыпных месторождений и т.д.

Добыча алмазов открытым способом негативно влияет на природную среду региона, в том числе на растительный и животный мир. При этом образуются техногенные ландшафты различных форм (карьеры, котловины, канавы, отвалы, плотины, дамбы, валы и пр.). В основном разрушаются долинные и пойменные ландшафты больших и малых притоков р. Виллой (р. Марха с притоками Далдын и Сытыкан, реки Малая и Большая Ботубия). Начинается разработка новых месторождений по бассейнам рек Анабар и Марха [Экология..., 1996].

Воздействие на водную среду. Большую опасность для водных объектов представляют откачиваемые из горных выработок и попадающие в реки кислые и минерализованные сточные воды; кислые воды обычно несут с собой большое количество окислившегося железа, а минерализованные воды — много сульфатов и

хлоридов. Кислотность и засоленность вод, хотя и не портят природную красоту поверхностных водоемов, тем не менее пагубно влияют на их экологическое состояние: воды становятся совершенно непригодными для питья, рыболовства и использования в промышленных целях [Давиденко, 1998].

Основная часть сточных вод при разработке шахтным способом скапливается в хвостохранилищах (рис. 3.5). Эти воды сильно минерализованы из-за высокого содержания солей в породах, и опасно проникновение их из хвостохранилищ в открытые естественные водоемы. Такого рода сбросы происходят особенно часто весной, в период половодья (рис. 3.6).

В поверхностные водоемы Западной Якутии со сточными водами алмазодобычи поступило 513,924 т органических веществ, 11,647 т нефтепродуктов, 1004,536 т взвешенных веществ, 6628,966 т сухого остатка, 847,283 т хлоридов, 1182,538 т сульфатов, а также в меньших количествах — СПАВ, фенолы, соединения магния, железа, меди, цинка, алюминия [Государственный доклад..., 2001].

Исследования, проведенные в прибрежной части рек, где происходит постоянный сброс минерализованных вод, откачиваемых из карьеров Мирнинского и Айхало-Удачинского горно-про-

Рис. 3.5. Хвостохранилище.

Рис. 3.6. Пойма р. Тымтайдах, место сброса минерализованных вод.

мышленных комплексов, показали значительное изменение состава вод. Так, в устьевой части руч. Ирелях при впадении в р. Малую Ботубию вода была минерализована с превышением ПДУ в 25 раз, по содержанию хлоридов и сульфатов — соответственно в 40 и 33 раза, а концентрация растворенного кислорода составила 0,77 мг/л при норме 4—6 мг [Цыганков, 1994].

Воздействие на воздушный бассейн. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на предприятиях алмазодобывающей промышленности в основном связаны с проведением взрывов, а также с работой котельных и автотранспорта. Выбросы в атмосферу от деятельности предприятий «АЛРОСА» в 1999 г. составили 3,395 тыс. т [Государственный доклад..., 2001].

Отторжение земельных ресурсов. Кроме вышеперечисленного, одной из форм техногенного воздействия является нарушение земель как в процессе проведения горно-добывающих работ, так и при размещении и хранении отходов производства и потребления. По состоянию на 1999 г. в зоне действия объектов алмазодобывающей промышленности на территории Якутии нарушено 8684 га земель, из них 3419 га занято хвостохранилищами, 1636 — отвалами пустых пород, 1455 га нарушено разработкой россыпных

месторождений, 1025 га — гидротехническими и прочими сооружениями, 786 га — рудными карьерами, 257 га — карьерами строительных материалов, 53 га — объектами геолого-разведочных работ, 35 га — специальными отвалами. Таким образом, основная доля (39 %) нарушенных земель приходится на хвостохранилища (см. рис. 3.5), отвалы пустых пород занимают 19 % и россыпные месторождения — 17 %.

3.4. Воздействие золотодобывающей промышленности

Золотодобывающая промышленность — одна из старейших отраслей на территории Якутии. Предприятия золотодобывающего комплекса сосредоточены в основном на территории Алданского района, а также в Северо-Восточной Якутии (бассейны рек Яны и Индигирки). На междуречье правых притоков Якокит и Селигдар в верховьях р. Алдана расположен один из старейших в Сибири золотоносных районов — Центрально-Алданский, добыча здесь ведется с 20-х годов XX в. Долинные ландшафты междуречья сильно пострадали от открытых разработок, трансформировано примерно 22,4 % общей площади долин.

Отторжение земельных ресурсов. Поскольку добыча золота ведется в основном дражным способом в долинах мелких рек, огромные территории в пределах Южной Якутии заняты дражными полигонами. Разрезы тянутся на всем протяжении долин многих средних и малых рек, а также ручьев. Образованный техногенный рельеф состоит из равномерно чередующихся дражных отвалов, «пазух» и вскрышных дамб [Гончаров, 1987]. Отвалы пустых пород из рудника отсыпаны на водораздельных участках Якокит-Селигдарского междуречья. Высота их колеблется от 5 до 20 м (рис. 3.7), они занимают большие площади и состоят из коренных гранитных пород, щебня, суглинка, супеси и глин.

В узких долинах рек (шириной до 200—300 м) драга движется вдоль русла, а вскрыша торфов проводится на борту. В широких долинах (шириной 300—800 м) драга передвигается поперечными ходами, что приводит к формированию антропогенного рельефа и полному уничтожению естественного покрова в пределах разрабатываемых месторождений [Миронова, 2000].

Отвалы состоят из хаотичной смеси пород элювиоделювия супесчаного, легко-, средне- и тяжелосуглинистого состава. Для

Рис. 3.7. Посттехногенные территории, возникшие в результате деятельности объектов золотодобывающей промышленности.
а — отвалы; б — окрестности золотоизвлекательной фабрики.

них характерны высокая степень скелетности и каменистости, сильное уплотнение, низкая водонепроницаемость [Тарабукина, 1996].

Породы отвалов по реакции среды разнообразны: нейтральные, щелочные, хотя в почвах естественных биоценозов реакция среды нейтральная или слабокислая. Отмечается низкое содержание гумуса (0,3—0,6 %), валового азота (0,03—0,05 %), обменных оснований в почвенном поглощающем комплексе (2,2—4,6 мг-экв/100 г). Мелкозем породы отвалов мало обеспечен подвижным фосфором и калием [Тарабукина, 1996].

Кроме того, окрестности загрязнены и химически, так как в 1952—1988 гг. для увеличения извлекаемости золота из шлихов применялась технология амальгамации. На драгах в шлюзы добавлялась металлическая ртуть в соотношении 2 кг ртути на 1 м³. Ртуть использовалась в замкнутом производственном цикле, тем не менее, часть терялась вместе с промывочным материалом. Согласно установленной норме потерь — 0,12 г/м³, потери ртути за 1970—1985 гг. составили не менее 16 773 кг при объеме ~139,8 млн м³ промытых золотоносных песков. Таким образом, за весь период применения амальгамации (1952—1988 гг.) было привнесено в ландшафты не менее 30—35 т ртути. Экологическая опасность технологии амальгамации очевидна в силу высокой токсичности ртути [Миронова, 2000].

Основное накопление ртути отмечено в органопочвенных горизонтах, кроме того зарегистрировано повышенное содержание ртути в донных осадках и в растительности (мхах, лишайниках и хвое лиственницы) при местном геохимическом фоне (ГФ) 0,025 мг/кг [Миронова, 2000].

В мелкоземе валунно-галечных дражных отвалов ртуть не накапливается. Можно предположить наличие корреляционной связи между концентрацией ртути и возрастом отвалов [Артамонова и др., 2000].

Воздействие на водную среду. Воздействие на водную среду предприятий отрасли определяется прежде всего сбросом большого объема сточных вод, использованных в процессе золотодобычи. Загрязнение взвешенными в воде микрочастицами после проведения горно-технической рекультивации ухудшает качества воды. В последние годы наблюдается спад золотодобычи, но, тем не менее, загрязнение среды в регионе весьма существенно. На 1999 г. сброс сточных вод на объектах золотодобывающей промышленности составил 7,33 млн м³, из них всего 5,23 были нормативно очищенными, а 2,1 млн — загрязненные [Государственный доклад..., 2001].

Воздействие на воздушный бассейн. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на предприятиях золотодобывающей промышленности в основном связаны с проведением взрывов, работой котельных и автотранспорта. Суммарные выбросы в атмосферу предприятий «Алданзолото» в 1999 г. составили 3,683 тыс. т, в том числе 1426 т твердых веществ, 1584 т оксида углерода, 215 т диоксида серы, 422 т диоксида азота [Государственный доклад..., 2001].

* * *

Таким образом, основными формами воздействия предприятий горнодобывающего промышленного комплекса на окружающую среду являются:

- отторжение и полная трансформация значительных площадей, связанная с функционированием шахт, разрезов и созданием отвалов;
- загрязнение атмосферы, связанное с проведением взрывных работ, а также функционированием транспорта и обогательных предприятий;
- загрязнение земельных ресурсов, связанное с извлечением глубинных слоев горных пород, их рассеиванием из отвалов и, как следствие, изменением геохимического облика ландшафтов;
- загрязнение водных ресурсов сточными водами драг, шахт, обогательных фабрик;
- урбанизация территорий и развитие транспортной сети, необходимой для нормального функционирования комплекса.

Все эти факторы прямо или косвенно воздействуют на водные и наземные экосистемы, вызывая нарушения, не всегда улавливаемые химическими методами анализа, тогда как можно предположить, что взаимодействие техногенных факторов с жесткими абиотическими условиями Севера может привести к серьезным нарушениям структуры и функционирования экосистем в зоне, подверженной влиянию предприятий горнодобывающей промышленности.

БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СРЕДЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

4.1. Кангаласский угольный разрез

Кангаласский угольный разрез (КУР) начал функционировать в 50-х годах XX в., и до начала 90-х годов добыча велась круглогодично, добывалось около 600 тыс. т угля в год. В настоящее время добыча ведется только в зимний период и ежегодно добывается порядка 200 тыс. т.

По имеющимся на настоящий момент данным зона запыления имеет ориентировочные размеры $8 \times 3,5$ км. В пределах контура, ограниченного изолинией 5 т/км^2 , запасы пыли на 1992 г. оценивались 2,6 тыс. т. Интенсивность выпадения техногенной пыли в районе КУР превышает фоновую в 3,5 раза [Оценка..., 1992].

Материалы собирались в окрестностях пос. Кангалассы в 1997—1999 гг. Места установления ловчих канавок и сбора листьев выбирались согласно предварительно проведенному анализу содержания твердого остатка в составе снега на разном удалении от угольного карьера в нескольких точках (рис. 4.1), что обеспечило набор местообитаний с разными уровнями загрязнения (табл. 4.1). Кроме того, ловушки были установлены вне влияния карьера (контроль), в целях получения информации для сравнительной характеристики состояния биоты.

В контрольных местообитаниях величина минерализации принята нами согласно фоновому показателю общей минерализации снеговых вод в регионе — $2,6 \text{ мг/л}$ [Макаров, 1993]. Точки 1—4 располагались на надпойменной террасе в лиственничниках и на трансформированных участках, точки 5—6 — в пойме на участках, занятых ивовыми зарослями и пойменными лугами. Отловлено 406 особей мелких млекопитающих, среди которых наиболее многочисленны были красная полевка, полевка-экономка, средняя и тундрная бурозубки. Кроме того, был проведен сбор листьев трех видов растений — березы плосколистной, свидины белой и ивы корзиночной.

В точках 1—4 были собраны листья с березы плосколистной, контролем служили деревья, растущие в окрестностях с. Капито-

Рис. 4.1. Точки сбора материала в окрестностях Кангаласского угольного разреза.

1—6 — точки отбора проб.

Таблица 4.1

Показатели нарушения стабильности развития организмов
в окрестностях Кангаласского угольного разреза

№ точки	Расстояние от разреза, км	Твердый остаток, мг/л*	Вид	ЧАП млекопитающих, показатель ФА растений	
				n	M ± m
Надпойменная терраса					
1	12	20	Красная полевка	26	0,42 ± 0,02
			Береза плосколистная	99	0,046 ± 0,005
2	2	36	Красная полевка	11	0,42 ± 0,04
3	2	56	Красная полевка	8	0,49 ± 0,05
			Береза плосколистная	100	0,054 ± 0,004
4	0,7	64	Красная полевка	13	0,49 ± 0,04
2—4	0,7—2		Средняя бурозубка	18	0,26 ± 0,03
Пойма					
5	4,5	131	Ива корзиночная	98	0,110 ± 0,005
			Свидина белая	86	0,087 ± 0,004
6	7	44	Ива корзиночная	89	0,110 ± 0,005
			Свидина белая	90	0,073 ± 0,004
5—6	4—7	—	Полевка-экономка	12	0,42 ± 0,03
			Тундряная бурозубка	9	0,26 ± 0,03
Контроль					
7	20—40	2,6	Красная полевка	17	0,37 ± 0,05
			Полевка-экономка	15	0,39 ± 0,04
			Средняя бурозубка	14	0,19 ± 0,01
			Тундряная бурозубка	12	0,22 ± 0,03
			Береза плосколистная	100	0,039 ± 0,002
			Свидина белая	98	0,054 ± 0,003
			Ива корзиночная	99	0,090 ± 0,004

* Данные канд. геол.-мин. наук В.В. Иванова.

новка, в 15 км от разреза. В точках 5—6 собраны листья ивы и свидины белой, контролем служил участок поймы р. Лены выше по течению от загрязненной территории.

По нашим данным, имеющийся на настоящий момент уровень накопления техногенного загрязнения не оказывает определяющего влияния на численность и видовое разнообразие мелких млекопитающих и на состав растительных сообществ [Оценка..., 1992]. Однако оценка воздействия на организменном уровне выявила различия в показателях стабильности развития у организмов всех трофических уровней.

На надпойменной террасе, в непосредственной близости от разреза, анализировались показатели стабильности развития бере-

зы плосколистной и красной полевки. При анализе изменений показателей ФА у листьев березы в зоне запыления обнаружилась явная зависимость показателя флуктуирующей асимметрии от величины твердого остатка в пробах снега (рис. 4.2), тогда как этот показатель на территории вне явного антропогенного воздействия составил 0,039. Сходные показатели отмечены на незагрязненных территориях сугубо сельскохозяйственного района Якутии, например на территории Лено-Амгинского междуречья (0,042–0,048).

Различия в степени выраженности ФА между контролем и точками 1 и 4 статистически достоверны с максимальной долей достоверности ($p < 0,001$). В то же время, несмотря на более чем двукратную разницу в запыленности между указанными точками (табл. 4.1), различия между ними в показателях ФА статистически не достоверны, хотя и близки к 95%-му уровню значимости.

У красной полевки в период исследований частота асимметричных проявлений в окрестностях разреза варьировала в пределах 0,42–0,49 (см. табл. 4.1, рис. 4.3). Причем более высокие значения отмечены в более загрязненных точках, а коэффициент корреляции между ЧАП у красной полевки и количеством твердого осадка в пробах снега в 1997 г. составил 0,97, а в 1998 — 0,96, что указывает на прямую положительную зависимость между этими

Рис. 4.2. Показатели нарушения стабильности развития березы плосколистной при разных уровнях запыления.

Рис. 4.3. Показатели нарушения стабильности развития красной полевки при разных уровнях запыления.

показателями. В течение 2 лет исследований показатели асимметрии у зверьков, отловленных в одних и тех же точках, были сходными, поэтому мы приводим обобщенные за 2 года данные.

Достоверные различия получены при сравнении контроля и точки 4 ($p < 0,01$), где зарегистрированы максимальные уровни текущего загрязнения. При этом надо отметить, что в целом в долине Туймаада частота асимметричных проявлений у красной полевки была несколько выше, чем в других точках Центральной Якутии. Возможно, это объясняется большей антропогенной освоенностью территории [Шадрина, Протопопова, 1999; Шадрина и др., 1999].

В пойме нами отслежено изменение показателя ФА у кустарниковых растений (см. табл. 4.1). У ивы резкое, статистически досто-

Таблица 4.2

Показатели нарушения стабильности развития красной полевки в разных регионах Якутии (вне зон прямого техногенного воздействия)

Регион	ЧАП		
	<i>n</i>	$M \pm m$	<i>d</i>
Южная Якутия	43	$0,30 \pm 0,01$	0,006
Устье р. Алдан	44	$0,29 \pm 0,01$	0,024
Бассейн р. Мархи (Западная Якутия)	20	$0,26 \pm 0,01$	0,021
Долина Туймаада	54	$0,37 \pm 0,05$	0,021

верное увеличение показателя ФА ($p < 0,01$) наблюдается даже при небольшой интенсивности текущего загрязнения, затем, несмотря на увеличение твердого осадка в пробах снега практически в 3 раза, в ряду точки 5—6 показатель ФА почти не изменяется. Подобному явлению можно дать несколько трактовок. В первую очередь, можно предположить, что это особенность реакции конкретного вида на техногенное воздействие, когда, начиная с зарегистрированных минимальных уровней загрязнения, анализируемый показатель не изменяется до определенного предела, после чего возможно резкое усиление реакции, вплоть до деградации. Однако нельзя исключить и несовершенство методики промеров для конкретного вида, когда более сильные воздействия не улавливаются.

У свидины белой реакция на те же уровни загрязнения имела более плавный характер (см. табл. 4.1), значительное увеличение ($p < 0,001$) показателя ФА зарегистрировано при сравнении параметров растений из точки 5 и контроля, затем, при увеличении загрязнения, также отмечен рост показателя, но в последнем случае различие статистически недостоверно.

Кроме того, в 1998 г. получены данные по изменчивости показателя ФА у полевки-экономки и средней бурозубки. У обоих видов в зоне загрязнения показатель асимметрии был выше, чем в контрольных биотопах.

4.2. Нерюнгринский угольный разрез

Нерюнгринский угольный разрез — значительно моложе, чем Кангаласский, но площадь нарушенных земель и масштабы добычи здесь гораздо значительнее. Поэтому при оценке влияния разреза нами охвачена обширная территория. Выбор точек для обследования территории определялся характером распространения угольной пыли по данным космической съемки (рис. 4.4). Как видно на рисунке, пылевое облако распространяется далеко за пределы карьера, охватывая обширную территорию. Неравномерность распределения пыли связана с особенностями розы ветров (преобладание северных и северо-западных), гористым рельефом местности, а также транспортной схемой вывоза угля. Кроме того, заметно повышение запыленности в районе соседних населенных пунктов, что может объясняться наличием других техногенных загрязнителей. Сбор материала проходил в течение 3 лет, обследовано 30 точек в окрестностях разреза (рис. 4.5). Для контроля собраны пробы в долине р. Алгомы (300 км от разреза).

Рис. 4.4. Фотоснимок из космоса, сделанный после одного из взрывов на Нерюнгринском угольном разрезе.

Рис. 4.5. Точки сбора материала в окрестностях Нерюнгринского угольного разреза.

1–30 — точки отбора проб.

В качестве продуцента была выбрана дюшекия кустарнико-вая — как наиболее распространенный в данном регионе вид лиственных деревьев и кустарников, в качестве консументов — красная полевка и средняя бурозубка.

Сбор листьев дюшекии проводился в течение 3 лет, и из-за значительного охвата территории в большинстве исследованных точек пробы брались только 1 раз. В связи с этим возникла проблема правомочности сравнения сборов разных лет при рассмотрении территории в целом. Однако наши данные доказывают, что, за редкими исключениями, такие сравнения допустимы, так как в большинстве случаев годовые различия показателя ФА не достигали статистически значимых уровней (табл. 4.3). Исключение составляет точка 17, расположенная на склоне сопки. Здесь показатель ФА в 1999 г. был достоверно выше, чем в течение 2 последующих лет. Возможно, это объясняется локальным выпадением пыли на этом участке в тот период.

В точке 5 возле объездной дороги, наоборот, в первый год исследований показатель ФА был ниже, чем в 2 последующих года. Однако для этой точки и всех остальных различия между листьями, собранными в разные годы, не достигали статистически значимого уровня. В связи с этим при анализе мы воспользовались усредненными данными (табл. 4.4, рис. 4.6).

В районе Нерюнгринского угольного разреза показатели стабильности развития дюшекии кустарниковой варьировали в пределах 0,047–0,084. При этом, несмотря на разброс значений, можно отметить общую тенденцию.

Самый низкий уровень ФА отмечен для листьев дюшекии, собранных в экологически чистом местообитании — в долине р. Ал-

Таблица 4.3

Изменение интегрального показателя флуктуирующей асимметрии листа дюшекии кустарниковой по годам

№ точки	1999		2000		2001		1999–2001	
	n	$M \pm m$	n	$M \pm m$	n	$M \pm m$	n	$M \pm m$
2	—	—	100	$0,068 \pm 0,003$	84	$0,065 \pm 0,002$	184	$0,066 \pm 0,001$
5*	100	$0,056 \pm 0,003$	89	$0,064 \pm 0,003$	89	$0,064 \pm 0,003$	278	$0,060 \pm 0,001$
8	100	$0,065 \pm 0,003$	98	$0,073 \pm 0,004$	—	—	198	$0,069 \pm 0,001$
13	99	$0,060 \pm 0,003$	100	$0,054 \pm 0,004$	—	—	—	$0,058 \pm 0,003$
17*	90	$0,069 \pm 0,001$	100	$0,050 \pm 0,002$	100	$0,054 \pm 0,002$	290	$0,058 \pm 0,001$
22	96	$0,056 \pm 0,002$	100	$0,058 \pm 0,002$	—	—	196	$0,057 \pm 0,001$

* Различия показателя ФА по годам значительные.

Рис. 4.6. Пространственные изменения интегрального показателя ФА листа дюшеки кустарниковой (по данным 3 лет исследований).

гомы, в 300 км от разреза, здесь интегральный показатель составил 0,046, тогда как наиболее высокие уровни нарушений гомеостаза развития проявили листья, собранные в непосредственной близости от разреза и на его территории — точки 1—4 и 24 (см. рис. 4.6). Показатели ФА здесь составили от 0,066 до 0,084. Для всех этих точек результаты статистически значимо отличаются от контрольной ($p < 0,01$, $p < 0,001$). Также высоки показатели в точке 5, что можно объяснить ее близостью к объездной дороге г. Нерюнгри, расположенной недалеко от разреза и дополнительно испытывающей техногенную нагрузку в виде выхлопных газов автотранспорта. Неблагоприятное воздействие автотранспорта на уровень флуктуирующей асимметрии растений отмечено ранее [Константинов, 2001; Шадрина, 2001].

Кроме того, линия тренда выявляет еще два участка, характеризующихся повышением показателя ФА, причем оба расположе-

Таблица 4.4

Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии листа дюшеки кустарниковой в окрестностях Нерюнгринского угольного разреза (усредненные данные 1999—2001 гг.)

№ точки	Расстояние от разреза, км	Характеристика места	n	$M \pm m$
<i>Разрез</i>				
1	Территория разреза	Обочина дороги, заросли дюшеки	80	$0,071 \pm 0,003$
2		Распадок на границе с отвалами, лиственничник	184	$0,066 \pm 0,001$
3	1	Лиственничник	196	$0,069 \pm 0,001$
<i>Южное, юго-восточное направление</i>				
4	5	Лиственничник	100	$0,084 \pm 0,004$
5	10	Обочина объездной дороги, лиственничник	278	$0,060 \pm 0,001$
6	5	Двор школы в г. Нерюнгри	70	$0,067 \pm 0,004$
7	18	Лиственничник, 5 км от пос. Беркакит	98	$0,047 \pm 0,002$
8	20	» 2 км от ТЭЦ	198	$0,069 \pm 0,001$
9	26	» 8 км от ТЭЦ	86	$0,060 \pm 0,003$
10	12	»	98	$0,060 \pm 0,003$
11	21	Заросли кедрового стланика с примесью дюшеки, вершина сопки	96	$0,085 \pm 0,003$
12	23	Сосняк	87	$0,048 \pm 0,003$
13	26	Лиственничник, склон сопки	99	$0,065 \pm 0,003$
14	30	»	80	$0,061 \pm 0,004$
15	34	»	86	$0,057 \pm 0,002$
16	55	» склон сопки	100	$0,071 \pm 0,003$
17	54	» распадок	290	$0,058 \pm 0,001$
18	60	»	196	$0,057 \pm 0,001$
19	70	» долина р. Иенгры	98	$0,056 \pm 0,002$
20	70	» »	99	$0,055 \pm 0,002$
21	70	» »	100	$0,055 \pm 0,002$
22	90	» 3 км от пос. Нагорный	90	$0,055 \pm 0,002$
23	300	Контроль, лиственничник	95	$0,046 \pm 0,002$
<i>Северное, северо-восточное, северо-западное направление</i>				
24	6	Березово-лиственничный лес	100	$0,083 \pm 0,004$
25	18	Лиственничник	90	$0,052 \pm 0,002$
26	26	Сосняк, 7 км от пос. Чульман	100	$0,058 \pm 0,003$
27	21	Лиственничник, 1 км от пос. Чульман	100	$0,057 \pm 0,002$
28	23	Там же	88	$0,057 \pm 0,002$
29	28	Сосняк	85	$0,054 \pm 0,003$
30	40	Лиственничник, долина р. Тимптон	100	$0,049 \pm 0,002$
31	50	»	88	$0,053 \pm 0,003$

ны в юго-восточном направлении, т.е. в направлении господствующих ветров и, по-видимому, приурочены к другим источникам загрязнения (точка 8 — ТЭЦ) или к повышениям рельефа (например, точки 11, 13, 16). В целом, однако, в юго-восточном направлении происходит постепенное снижение значений ФА. Срав-

нение точек, расположенных в юго-восточном и северном направлениях, достаточно наглядно демонстрирует неравномерность распределения загрязнения по территории. Несмотря на то, что в северном направлении нами обследованы точки на расстоянии до 50 км, а в южном — до 90, показатели асимметрии в первом случае снижаются резче и не дают существенных отклонений в сторону повышения (см. рис. 4.6).

При анализе частоты встречаемости фенотевиантов оказалось, что она существенно варьирует по точкам. Например, неровный край листовой пластинки отмечен в среднем у 46,18 % листьев, но ближе к карьере такое отклонение встречается гораздо чаще, доходя до 58,16 % возле дороги на территории карьера и 65,62 % в точке 2 (рис. 4.7), а в слабо загрязненных точках его встречаемость составляет 22–42 %. Непарная первая жилка второго порядка (фенотевиант 2) встречается примерно с такой же частотой — 47,68 %, с максимумом 53,75–61,46 % на территории разреза и в непосредственной близости от него, а минимальная характерна для долины р. Алгомы — 24,21 % (рис. 4.7). Два других фенотевианта отмечаются гораздо реже, их суммарная встречаемость составила 1,23 %. Наличие добавочной жилки (фенотевиант 3, рис. 4.7) относительно часто встречается — в точках 1–3 (2,5–3,1 % листьев), в шести точках она встречается только у 1–2 листьев из выборки, а в шести наиболее удаленных — вообще не отмечена (рис. 4.7). Наиболее редким отклонением от нормы является дихотомическое разветвление жилки второго порядка (фенотевиант 4). Такое отклонение от нормального жилкования отмечено только у четырех

Рис. 4.7. Частота встречаемости фенотевиантов листа у дюшекии кустарниковой.

листьев и только у дюшекии, растущей на обочине дороги непосредственно в карьере. Таким образом, результаты учета фенотевиантов, как и рассмотрение уровней флуктуирующей асимметрии, показывают, что растения, произрастающие в окрестностях разреза, испытывают явную техногенную нагрузку.

По литературным данным известно, что зола углей Нерюнгинского месторождения содержит более 20 микроэлементов. Относительно окружающих пород в ней повышена концентрация цинка, кобальта, галлия, марганца, фосфора, железа, меди, кальция; в районе разреза существуют аномалии ванадия (северная часть разреза), цинка (южная часть), а также бериллия и скандия [Макаров и др., 1990]. С экологической точки зрения содержание большинства химических элементов в снежном покрове ниже существующих норм ПДК, но на локальных участках уровней ПДК достигают медь, хром, цинк, бериллий. В снежном покрове города также наблюдается повышение концентрации меди, хрома, цинка, азотистых соединений, на некоторых территориях — свинца [Ломоносов и др., 1993].

Для выявления возможных тенденций ухудшения ситуации в окрестностях разреза мы сопоставили наши данные с материалами по содержанию металлов в пробах почвы, собранных в девяти точках на разном удалении от разреза (рис. 4.8, 4.9).

Содержание тяжелых металлов в большинстве проб не превышало ПДК или превышало незначительно, а содержание элементов первого класса опасности зачастую ниже ПДК. Однако в непосредственной близости к разрезу почвы испытывают определенное негативное воздействие. В отвалах отмечено повышение содержания титана по сравнению с ПДК в 2 раза, а в почвах по соседству — повышенное содержание в подстилке титана, марганца, меди, цинка и существенное (вдвое выше ПДК) — свинца. В гумусовом горизонте здесь повышено содержание титана и марганца [Шадрина и др., 2003].

Кроме того, нами выделена еще одна зона условного неблагополучия почв — долины рек Иенгры и Тимптон (точки 17, 25). Здесь в торфяно-гумусовом горизонте зафиксированы марганец, цинк, свинец, а содержание титана превышает ПДК в 2 раза. Данные точки находятся на большом расстоянии от разреза, поэтому мы предполагаем, что загрязнения здесь связаны с другими источниками, возможно, что они принесены с водой.

Существенно более высоким содержанием характеризуется титан (на 2–4 порядка выше, чем остальные металлы). Распреде-

Рис. 4.8. Зависимость ФА листа дюшеки кустарниковой от содержания титана в пробах почвы.

Рис. 4.9. Зависимость ФА листа дюшеки кустарниковой от суммарного содержания тяжелых металлов в почве (без титана).

ние его в разных горизонтах почвы и в растительном опаде показывает, что, по-видимому, повышенное содержание его в данной местности объясняется не только загрязнением извне, но и характеристиками материнских пород, так как его содержание высоко не только в подстилке, но и в гумусовом, а также среднем и нижнем почвенных горизонтах. Более того, кривая, отражающая содержание титана в верхнем, среднем и нижнем горизонтах почвы, в большей степени коррелирует с показателями нарушения стабильности развития, чем в опаде. Усредненные показатели по всем горизонтам проявляют достаточно высокую корреляцию с показателями стабильности развития растений — 0,85, что отражается на рис. 4.8 в согласованном изменении кривых содержания титана и интегрального показателя ФА. При этом обращает на себя внимание факт согласованного подъема обоих показателей в точке 30. Данная точка расположена в долине р. Тимптон, т.е. находится в зоне повышенного содержания этого элемента, хотя и расположена на достаточном удалении от разреза, поэтому, вероятно, его повышенное содержание здесь объясняется загрязнениями, принесенными водой, или характеристиками материнских пород.

Содержание остальных элементов в пробах почвы было незначительно, поэтому мы рассмотрели их возможное суммарное влияние на показатели стабильности развития дюшекии кустарниковой. Оказалось, что, как и в случае с титаном, содержание тяжелых металлов в растительном опаде практически не коррелирует с интегральным показателем асимметрии листа (0,41). Отсутствует корреляция показателей ФА с содержанием металлов в нижнем горизонте почвы (–0,13), тогда как для верхнего и среднего горизонтов корреляция составила 0,83–0,84 (см. рис. 4.9). Поэтому в усредненных по всем почвенным горизонтам данных также прослеживается зависимость показателя асимметрии листа от суммарного содержания элементов в почве (рис. 4.9). Корреляция по усредненным данным несколько ниже — 0,79, причем, более подробный анализ по элементам выявил, что основную долю в корреляции вносит содержание марганца, корреляция с ним составила 0,85.

Для определения стабильности развития консументов отлов мелких млекопитающих проводился в течение 2 лет в нескольких точках на расстоянии до 40 км от разреза, в 2000 г. — в непосредственной близости от карьера (т. 2), в районе обьездной дороги

Рис. 4.10. Частота асимметричных проявлений у мелких млекопитающих в зоне воздействия Нерюнгринского угольного разреза.

(т. 5) и в долине р. Алгомы (т. 23). Оказалось, что в целом уровни ФА у этого вида невысоки и варьируют в пределах 0,27—0,36, но разница между зверьками, отловленными в экологически чистом местообитании (долина р. Алгомы) и в районе карьера и обьездной дороги, оказалась статистически достоверной ($p < 0,05$; рис. 4.10).

В 2001 г. обловом охвачено несколько точек: в непосредственной близости от карьера (т. 2), в районе обьездной дороги (т. 5), в лесу недалеко от пос. Серебряный Бор, а также на удалении от разреза (точки 15 и 20). Отловлено около 100 экз. мелких млекопитающих, из них 32 средних бурозубки и 38 красных полевков.

В этом году также разница в значениях ЧАП между зверьками, отловленными в районе карьера, обьездной дороги и в более удаленных местообитаниях оказалась довольно существенной (рис. 4.10). Так, в непосредственной близости к разрезу частота асимметричных проявлений у красной полевки составила 0,37, а на удалении около 40 км от разреза — 0,29; последнее значение характерно для биотопов, благоприятных для жизнедеятельности вида.

У средней бурозубки ЧАП варьировала в пределах 0,20—0,23. При этом в непосредственной близости к разрезу она составила 0,23, а показатели на удалении 34 и 70 км были сходными и составили около 0,20. Однако надо учесть, что небольшие объемы выборки по обоим видам не позволяют говорить о статистически значимых различиях.

Сравнение частоты асимметричных проявлений у красной полевки в 2000 и 2001 гг. показало, что в целом эти величины сопоставимы, и обобщение данных за 2 года ярко демонстрирует снижение частоты асимметричных проявлений у красной полевки по мере удаления от разреза (см. рис. 4.10).

* * *

Таким образом, в окрестностях двух угольных разрезов, расположенных на территории Южной и Центральной Якутии, наблюдается ухудшение качества среды, что отражается в повышении показателей нарушения стабильности развития растений и животных. При этом на состояние наземных экосистем наиболее негативное влияние, по-видимому, оказывает механическое загрязнение угольной пылью, а также загрязнения, связанные с деятельностью сопутствующих отраслей — транспорта, обогательных фабрик, ТЭЦ. Наиболее значительные нарушения стабильности индивидуального развития организмов наблюдаются в

непосредственной близости от разрезов и на участках, загрязнение которых связано с особенностями рельефа или климата местности — в пойме рек, куда может происходить смыв угольной пыли, а также на повышениях рельефа по направлению господствующих ветров. Эта отрасль промышленности Якутии относительно молода, поэтому можно предположить, что значительных загрязнений в зоне ее деятельности пока не накопилось. Однако надо отметить, что для территории Южной Якутии в будущем возможны серьезные последствия, так как регион характеризуется наличием множества геохимических аномалий, а разработка месторождений приведет к перераспределению многих элементов, в том числе и негативно влияющих на рост и развитие организмов.

БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СРЕДЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Объектами наших исследований были территории, примыкающие к карьерам алмазных трубок «Мир», «Интернациональная», «Удачная», дражные полигоны по долине р. Далдын и новый рудник в бассейне р. Мархи (Накынское кимберлитовое поле), опытная эксплуатация которого начата в 1998 г.

5.1. Окрестности карьеров трубок «Мир» и «Интернациональная»

Оба карьера расположены недалеко друг от друга в непосредственной близости г. Мирного, который и был построен для разработки этих месторождений. В окрестностях карьеров значительные площади заняты отвалами; кроме того, здесь разрабатываются россыпные месторождения, что также привело к образованию техногенных ландшафтов — это полигоны водораздельных галечников (далее в тексте — ПВГ) и дражные полигоны (ДП) в долине р. Ирелях.

Помимо территорий, прилегающих непосредственно к карьерам и полигонам, мы обследовали еще несколько точек, подвергавшихся прямому и опосредованному воздействию, — это берега отстойников и хвостохранилищ, где скапливаются минерализованные шахтные воды, долина р. Тымтайдах, в которую в течение ряда лет сбрасывались высокоминерализованные воды, а также парк г. Мирного, находящийся в непосредственной близости от отвалов. Кроме того, как пример отдаленных по времени последствий, обследованы окрестности затопленной трубки им. XXIII партсъезда (рис. 5.1). В качестве контроля использовали материал, собранный в долине р. Чуоналыр в 15 км от города, в долине р. Малая Ботуобия (50 км), а также сборы на территории ресурсного резервата «Кемпендй» (около 200 км от района исследований).

Рис. 5.1. Точки сбора материала в окрестностях карьеров трубок «Мир» и «Интернациональная».

1 — дражный полигон; 2 — полигон водораздельных галечников; 3 — долина р. Тымтайдах; 4 — парк; 5 — отстойник; 6 — хвостохранилище; 7 — буровая; 8 — трубка им. XXIII партсъезда; 9 — карьер трубки «Интернациональная»; 10 — долина р. Чуоналыр; 11 — карьер трубки «Мир».

Показатели стабильности развития продуцентов. Анализ показателей ФА березы плосколистной выявил существенные различия интегральных показателей между разными точками (табл. 5.1, рис. 5.2). Значение 0,044, характерное для контрольной точки, свидетельствует о достаточно благоприятных условиях существования, тогда как в биотопах, затронутых техногенным воздействием, наблюдается повышение этого показателя, причем оно в той или иной степени затрагивает все точки, находящиеся поблизости от рудника и даже в черте города.

В районе полигона «Водораздельные галечники» нами собраны листья березы в лесу на окраине полигона и на небольших участках леса, оставшихся нетронутыми при вскрышных работах. Обе точки непосредственному воздействию не подвергались и,

Рис. 5.2. Показатель ФА березы плосколистной в окрестностях карьеров трубок «Мир» (а) и «Интернациональная» (б).

Таблица 5.1

Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии листа у растений в зоне влияния карьеров трубок «Мир» и «Интернациональная»

Место сбора	n	M ± m
<i>Береза плосколиственная</i>		
Долина р. Малая Ботуобия	88	0,044 ± 0,002
ПВГ, остатки леса возле дороги	98	0,046 ± 0,002
Лес на окраине ПВГ	100	0,046 ± 0,002
Долина р. Тымтайдах	100	0,048 ± 0,002
Парк, возле отвалов	97	0,052 ± 0,002
Парк, в центре	99	0,051 ± 0,002
Ул. Советская, возле парка	80	0,044 ± 0,002
Край трубки «Интернациональная»	35	0,050 ± 0,004
Отвалы	61	0,047 ± 0,002
<i>Дюшечия кустарниковая</i>		
Ресурсный резерват «Кемпендай»	70	0,05 ± 0,003
Край трубки «Интернациональная»	100	0,080 ± 0,004
Отвалы	11	0,071 ± 0,009
Смешанный лес	80	0,062 ± 0,005

по-видимому, по этой причине в них нарушения стабильности развития березы невелики — интегральный показатель составил 0,046, что также входит в экологическую норму, хотя и несколько повышено по сравнению с контрольной точкой. Более значительны нарушения у берез, произрастающих в пойме р. Тымтайдах. Здесь березы подвергаются непосредственному химическому воздействию, многие из них угнетены, а интегральный показатель составил 0,048. Еще хуже обстоят дела с растениями, произрастающими в городском парке. Оказалось, что у них нарушения морфологических структур листа достоверно выше, чем в контрольной точке и даже по сравнению с точками ПВГ, не подвергавшимися непосредственному воздействию. При этом надо учесть, что листья в парке собраны в двух точках — со стороны, обращенной к руднику, и в центре. Несмотря на значительное расстояние между точками, разницы в значениях ФА здесь фактически нет, т.е. весь массив парка подвергается мощному негативному воздействию. Оба показателя достоверно отличаются от такового у берез в долине р. Ботуобии ($p < 0,05$).

В то же время в черте города, недалеко от парка показатели деревьев близки к нормальным (см. рис. 5.2). Однако надо учесть, что в целом в городской черте деревья испытывают воздействие двух групп антропогенных факторов: с одной стороны, — это

негативное суммарное воздействие автотранспорта и других загрязнителей, в данном случае — близость горнодобывающих предприятий, с другой стороны, существует комплекс положительных воздействий — регулярный полив, отсутствие межвидовой конкуренции, характерное для природных биотопов, меньшая плотность насаждений, защита от объедания животными (зайцеобразными и копытными). В результате в ряде случаев на территории населенных пунктов показатель ФА листа березы может быть даже ниже, чем в природе [Шадрина, 2001]. С учетом этих факторов можно сказать, что в данном районе города негативное воздействие сказывается незначительно, и мы считаем, что в этом важную роль играет лесной массив парка, который расположен между промышленной и жилой зонами.

В зоне воздействия карьера трубки «Интернациональная» рассмотрены показатели ФА двух видов — березы плосколистной и дюшекии кустарниковой. В рассмотренных выборках интегральный показатель ФА у березы варьировал в пределах 0,044—0,054 (см. рис. 5.2). Значение 0,044 отмечено в контрольной точке, этот показатель свидетельствует о достаточно благоприятных условиях существования. Показатели асимметрии на территории, примыкающей непосредственно к карьере, значительно выше. Причем в самом нарушенном биотопе — на отвалах — интегральный показатель относительно невелик и не достигает статистически значимых различий с контрольным показателем. Это можно объяснить тем, что в целом восстановление растительности здесь происходит очень медленно, а древесные растения появляются только на очень старых отвалах, и, по-видимому, к этому времени состояние среды улучшается. Кроме того, не исключено, что здесь сказался неполный объем выборки (найден всего 5 деревьев), и при наличии необходимых по методике 10 деревьев различия с контролем стали бы статистически значимыми. Этой же причиной можно объяснить и относительно большую ошибку интегрального показателя у берез, растущих на краю карьера, из-за чего различия с контролем, хотя и значительные, статистически значимых уровней не достигают. Листья, собранные с берез, растущих вдоль дороги, характеризуются наиболее сильно выраженной асимметрией (см. табл. 5.1), причем этот показатель статистически достоверно выше, чем на контрольной территории ($p < 0,001$).

Листья дюшекии в целом отличаются более высокими, чем у березы, показателями асимметрии даже на природных территориях, поэтому значение 0,058, характерное для растений на террито-

рии ресурсного резервата, считается вполне благополучным. Немного выше показатель у кустов, растущих в смешанном лесу на территории рудника, а максимален он на краю трубки (см. табл. 5.1, рис. 5.3), причем различия эти достоверны с максимальной степенью значимости ($p < 0,0001$).

Показатели стабильности развития консументов. В качестве консументов рассмотрены красная и узкочерепная полевки, полевка-экономка и три вида бурозубок — средняя, тундряная и бурая. К сожалению, численность мелких млекопитающих в период исследований была невысокой, поэтому наиболее репрезентативные результаты получены только по красной полевке.

У красной полевки в окрестностях карьера «Мир» частота асимметричных проявлений составляет в среднем 0,37 (см. табл. 5.2). При этом среднее значение ЧАП существенно варьировало в пределах обследованной территории. Так, на дражном полигоне и водораздельных галечниках красная полевка отловлена только в таежных биотопах, не подвергающихся непосредственному воздействию, здесь показатели ЧАП относительно благополучны — 0,33 и 0,37 соответственно. Высокие показатели на ПВГ, по-видимому, объясняются близостью к аэропорту и комплексным воздействием здесь на зверьков разных антропогенных факторов.

В долине р. Тымтайдах красная полевка обитает вне зоны непосредственного воздействия сброса вод, но даже в лесу у нее наблюдаются некоторые нарушения стабильности развития (см. табл. 5.2). Примерно такого же порядка нарушения наблюдаются и у зверьков, отловленных на берегу хвостохранилища.

Рис. 5.3. Показатель ФА дюшекии кустарниковой в окрестностях карьера трубки «Интернациональная».

Наиболее серьезные нарушения развития наблюдаются у зверьков, обитающих в непосредственной близости к городу и руднику на отвалах и на берегу отстойника, в узкой полосе леса между рекой и трассой. Значения ЧАП здесь составляют 0,41–0,42, что заставляет серьезно задуматься о качестве среды.

Сравнение ЧАП красной полевки в окрестностях рудника и в контрольных местообитаниях также представляет интерес. Прежде всего, надо отметить, что в долине р. Чуоналыр, которую мы рассматривали как контрольную, показатели нарушения оказались очень высоки и сравнимы с самыми загрязненными точками в окрестностях рудника (см. табл. 5.1, рис. 5.4). Отсюда можно предположить, что, несмотря на удаленность от рудника, эта точка все же находится в зоне его влияния. Показатели асимметрии полевков, отловленных в долине р. Малая Ботуобия, также невысоки — 0,37.

Возможно, что в этом случае они объясняются не антропогенным воздействием, а другими причинами. Известно, что на нарушения стабильности развития могут влиять внутрипопуляционные факторы, например фаза численности. В.М. Захаров с соавт. [Захаров и др., 1984] показали, что у бурозубок на фазе пика

Таблица 5.2

Показатели нарушения стабильности развития организмов грызунов в окрестностях карьеров трубок «Мир» и «Интернациональная»

Место сбора	Вид	Частота асимметричных проявлений	
		n	M ± m
Ресурсный резерват «Кемпендй»	Красная полевка	16	0,33 ± 0,02
Долина р. Малая Ботуобия	»	18	0,37 ± 0,03
Долина р. Чуоналыр	»	10	0,41 ± 0,02
Окрестности карьера трубки «Мир» в целом	»	86	0,37 ± 0,01
	Полевка-экономка	13	0,35 ± 0,04
	Узкочерепная полевка	28	0,30 ± 0,02
Дражный полигон	Красная полевка	8	0,33 ± 0,04
	Узкочерепная полевка	17	0,30 ± 0,03
ПВГ в целом	Красная полевка	32	0,37 ± 0,02
	Узкочерепная полевка	8	0,31 ± 0,02
	Красная полевка	24	0,36 ± 0,02
Лес на окраине ПВГ	»	26	0,36 ± 0,02
Долина р. Тымтайдах	»	26	0,36 ± 0,02
Хвостохранилище фабрики № 3	»	11	0,42 ± 0,03
Отстойник фабрики № 5	»	6	0,37 ± 0,02
Окрестности карьера «Интернациональный» в целом	»	24	0,35 ± 0,03
Смешанный лес на окраине	»	14	0,34 ± 0,03

Рис. 5.4. Частота асимметричных проявлений у мелких млекопитающих в окрестностях карьеров трубок «Мир» и «Интернациональная».

численности из-за социального стресса повышается уровень флуктуирующей асимметрии. Однако возможно и другое явление — нарушение стабильности развития на спаде численности, когда высокая плотность населения доминирующего вида является стрессирующим фактором, подавляющим малочисленные виды. В период наших исследований в данной точке наблюдался подъем численности средней бурозубки при крайне низкой численности красной полевки, возможно, что это и отразилось в некотором повышении уровня асимметрии у последнего вида.

Таблица 5.3

Показатели нарушения стабильности развития насекомоядных
в окрестностях карьера трубки «Мир»

Место сбора	Вид	n	$M \pm m$
Окрестности карьера трубки «Мир» (суммарные данные)	Средняя бурозубка	44	$0,22 \pm 0,015$
	Бурая бурозубка	17	$0,18 \pm 0,030$
	Тундряная бурозубка	39	$0,27 \pm 0,018$
	Крупнозубая бурозубка	7	$0,27 \pm 0,026$
	Средняя бурозубка	13	$0,19 \pm 0,028$
ПВГ, лес	»	4	$0,21 \pm 0,071$
ПВГ, опушка леса	Бурая бурозубка	4	$0,18 \pm 0,027$
	Тундряная бурозубка	14	$0,27 \pm 0,032$
Отвалы	»	7	$0,31 \pm 0,045$
Тымтайдах, лес	Средняя бурозубка	9	$0,25 \pm 0,043$
Пойма р. Тымтайдах	»	7	$0,24 \pm 0,0249$
	Тундряная бурозубка	13	$0,25 \pm 0,038$
Контроль (Чуоналыр):			
лес	Средняя бурозубка	15	$0,17 \pm 0,026$
пойма	»	10	$0,21 \pm 0,032$
	Тундряная бурозубка	5	$0,28 \pm 0,035$
	Бурая бурозубка	4	$0,15 \pm 0,026$

Относительно низкие значения ЧАП у бурозубок отмечены на природных территориях — ресурсного резервата «Кемпендяй» и в долине р. Малая Ботуобия (см. рис. 5.4). В окрестностях карьера трубки «Мир» у бурозубок ЧАП составила около 0,23, что достоверно (по критерию Стьюдента $p < 0,005$) выше, чем в контрольных точках. При этом надо отметить, что эта величина в пределах обследованной территории вокруг рудника также неодинакова (см. табл. 5.3, рис. 5.4).

Особенно интересны в этом отношении данные, полученные на полигонах. При анализе биотопических различий значений ЧАП можно отметить, что, как правило, они выше в точках, подвергавшихся непосредственному воздействию, в частности на отвалах. У животных, отловленных на отвалах в окрестностях карьеров, ЧАП составила 0,27, тогда как у зверьков, живущих в лесу на соседних территориях, — 0,20, причем различия между этими показателями оказались статистически значимыми ($p < 0,005$).

В долине р. Тымтайдах значение ЧАП также повышено по сравнению с контрольными территориями, здесь оно составило 0,23, причем различия между зверьками, отловленными в пойме, заливаемой минерализованными водами, и в лесу, были весьма значительными, хотя статистически значимых уровней и не достигали (см. рис. 5.4, рис. 5.5).

Доказательством того, что в данном регионе возможны благоприятные условия для жизни и развития грызунов, служат сборы, проведенные на охраняемой природной территории в бассейне р. Виллой. Здесь значение ЧАП у красной полевки составило 0,33, что достоверно ниже, чем в окрестностях Мирного и долине р. Чуоналыр.

Показатели асимметрии у двух других видов грызунов — полевки-экономки и узкочерепной полевки — не позволяют провести подробный анализ по точкам (см. табл. 5.2). Надо отметить, что в целом у обоих видов рассматриваемая величина ниже, чем у красной полевки. Это можно объяснить двумя причинами: с одной стороны, относительно малая выборка по серым полевым могла исказить картину, с другой — стоит отметить, что в целом расширение площади открытых местообитаний в районе исследований способствует повышению численности зеленоядных видов, и возможно, что в открытых биотопах, не испытывающих непосредственного техногенного воздействия, состояние среды для них более благоприятно, чем для обитателей лесных стадий. Поэтому отметим лишь, что у узкочерепной полевки ЧАП составила в среднем 0,3, но была несколько выше в пойме р. Тымтайдах. У полевки-экономки средний показатель был 0,35 и несколько выше на отвалах дражного полигона.

Среди насекомоядных наиболее многочисленны были средняя и тундряная бурозубки. Рассмотрение значений ЧАП по видам, на первый взгляд, позволяет говорить о наличии межвидовых различий внутри группы в пределах рассматриваемого региона (табл. 5.3). Однако более детальный анализ на уровне сообществ показал, что два вида (средняя и бурая бурозубки) наиболее часто отлавливались в таежных стадиях, т.е. биотопах, не подвергающихся непосредственной трансформации. Даже поблизости от рудника они отлавливались в основном в лесах по окраинам полигонов, тогда как тундряная и крупнозубая бурозубки были более многочисленны в открытых местообитаниях, на отвалах и в пойме. При этом в ряде случаев при совместном обитании в одном биотопе два наиболее массовых вида проявляют сходные показатели ФА, как, например, в пойме р. Тымтайдах (см. табл. 5.3). Отсюда можно предположить, что повышение уровня асимметрии у двух последних видов связано с обитанием в более загрязненных биотопах. Исходя из всего вышесказанного, мы условно объединили выборки четырех видов в одну и при рассмотрении показателей асимметрии по выделам анализировали суммарный показатель.

Рис. 5.5. Биотопические различия ЧАП у бурозубок в окрестностях карьеров трубок «Мир» и «Интернациональная».

Показатели асимметрии у бурозубок, отловленных в долине р. Чуоналыр, как и у красной полевки, характеризуются некоторым повышением по сравнению с контрольными. Анализ биотопических различий показал, что нарушения стабильности разви-

тия у зверьков, живущих в пойме, встречаются несколько чаще, чем на надпойменной террасе в таежных стациях. Поэтому можно предположить, что в данной точке загрязнение связано не столько с действием рудника, сколько с какой-то другой формой воздействия, связанной с рекой.

Таким образом, анализ показателей ФА растений и млекопитающих в окрестностях карьеров трубок «Мир» и «Интернациональная» показал, что состояние основных компонентов наземных экосистем неблагополучно. Нарушения стабильности индивидуального развития наблюдаются в точках, подвергающихся как непосредственному воздействию карьера, так и опосредованному. На состояние среды влияет также близость города и связанное с этим комплексное воздействие на экосистемы разных антропогенных и техногенных факторов. В целом надо отметить, что общий уровень показателей ФА у растений и у млекопитающих несколько повышен по сравнению с природными биотопами. Кроме того, надо отметить несколько точек, наиболее неблагополучных с экологической точки зрения и нуждающихся в более детальном обследовании.

Прежде всего, это отвалы, занимающие весьма значительные площади. Здесь слабо развит почвенный слой, не выражена древесная растительность и млекопитающие, обитающие здесь, подвергаются неблагоприятным воздействиям по широкому спектру экологических факторов.

Серьезные воздействия на среду оказывает также сброс минерализованных вод в р. Тымтайдах, компоненты экосистем которой явно испытывают стресс, особенно в пойме.

Неблагополучна ситуация и в черте города. Особенно надо отметить наличие на окраине отстойника, негативное влияние которого сказывается не только на водные организмы, но и на прибрежные экосистемы. Также неблагополучно состояние городского парка, который, по сути, является не зоной отдыха, а барьером между рудником и городом, задерживающим пыль с отвалов.

5.2. Окрестности карьера трубки «Удачная»

Карьер трубки «Удачная» расположен севернее вышерассмотренных карьеров (см. рис. 1.1), недалеко от границы лесной растительности.

Показатели стабильности развития продуцентов. Листья дюшескии кустарниковой собирались в зоне захоронения дренажных

Таблица 5.4

Показатели нарушения стабильности развития растений и животных в окрестностях Удачинского ГОКа

Вид	Частота асимметричных проявлений			
	Контроль		Техногенный участок	
	<i>n</i>	$M \pm m$	<i>n</i>	$M \pm m$
Дюшекия кустарниковая	99	$0,046 \pm 0,0028$	100	$0,049 \pm 0,0006$
Красная полевка	6	$0,27 \pm 0,03$	12	$0,41 \pm 0,03$
Полевка-экономка	51	$0,30 \pm 0,01$	60	$0,42 \pm 0,01$
Тундряная бурозубка	29	$0,17 \pm 0,02$	6	$0,22 \pm 0,03$

рассолов. Возраст этих захоронений составляет 20—30 лет, и к моменту исследований здесь частично восстановилась лесная растительность. Показатель ФА листьев дюшекии на техногенно трансформированном участке статистически достоверно выше, чем на контрольном (табл. 5.4).

При этом обращает на себя внимание тот факт, что в целом различия в асимметрии листа в Южной Якутии были резче выражены: с одной стороны, в природных местообитаниях показатель был значительно ниже, чем в Северо-Западной Якутии (0,029), с другой — на техногенных территориях возрастание уровня асимметрии было гораздо более существенным (0,061—0,070). Возможно, что повышение уровня асимметрии листа у растений дюшекии кустарниковой в природных биотопах в окрестностях г. Удачного объясняется близостью этого региона к экологической периферии ареала вида, а менее значительные различия между растениями природных и техногенных территорий можно объяснить антропогенным воздействием меньшей силы.

Показатели стабильности развития консументов. Показатели нарушения стабильности развития животных, отловленных на техногенно трансформированных территориях, характеризуются высокими значениями (см. табл. 5.4). В силу объективных причин материал по принципиальным выделам (нарушенные и ненарушенные местообитания) распределился крайне неравномерно, поэтому в качестве контроля мы использовали данные, полученные вне техногенного воздействия в соседнем регионе — в бассейне р. Мархи (Накынское кимберлитовое поле). Сравнение показателей у животных, отловленных на техногенно трансформированных территориях в окрестностях г. Удачного, с показателями зверьков из природных биотопов показало наличие статистически значимых различий ($p < 0,01$).

5.3. Бассейн р. Марха (Накынское кимберлитовое поле)

Наши работы совпали с первыми этапами разработки месторождения. В настоящее время в пределах Накынского кимберлитового поля заканчиваются геолого-разведочные работы. Непосредственно в районе исследований оборудована разведочная шахта и ведется в ограниченном объеме пробная разработка месторождения.

В качестве продуцента была взята береза плосколистная, консументы I порядка — красная и красно-серая полевки, полевка-экономка, лесной лемминг, консументы II порядка — средняя и тундряная бурозубки.

Показатели стабильности развития продуцентов. Листья березы собраны в районе шахты трубки «Ботуобинская», поселка вахтовиков и нефтебазы поселка, а также в биотопах, не затронутых антропогенной деятельностью. Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии листа у растений на техногенных и природных территориях характеризовался весьма сходными значениями, однако на первых был несколько выше, чем в контроле (рис. 5.6).

Показатели стабильности развития консументов. Частота асимметричных проявлений в природных местообитаниях у мышевидных грызунов в данном районе варьировала в пределах 0,23—0,33, самые низкие показатели наблюдаются у лесного лемминга (0,23), а относительно высокие — у красно-серой полевки (0,33). При этом для всех грызунов показатели можно охарактеризовать как

Рис. 5.6. Показатели нарушения стабильности развития березы плосколистной в бассейне р. Мархи (Накынское кимберлитовое поле).

Таблица 5.5

Показатели нарушения стабильности развития мелких млекопитающих
в районе Накынского кимберлитового поля

Вид	Частота асимметричных проявлений			
	Контроль		Техногенный участок	
	n	$M \pm m$	n	$M \pm m$
Красная полевка	51	$0,30 \pm 0,013$	73	$0,39 \pm 0,013$
Красно-серая полевка	29	$0,33 \pm 0,018$	25	$0,41 \pm 0,016$
Лесной лемминг	17	$0,23 \pm 0,012$	32	$0,42 \pm 0,017$
Полевка-экономка	30	$0,27 \pm 0,016$	16	$0,44 \pm 0,028$
Тундрная бурозубка	29	$0,14 \pm 0,018$	42	$0,25 \pm 0,015$
Средняя бурозубка	36	$0,15 \pm 0,013$	46	$0,25 \pm 0,012$
Крупнозубая бурозубка	49	$0,19 \pm 0,015$	23	$0,31 \pm 0,021$

невысокие, свойственные животным из благополучных местообитаний (рис. 5.7, табл. 5.5).

В трансформированных биотопах эти показатели резко возрастают у всех грызунов, особенно значительно — у полевки-экономки (0,44) (см. рис. 5.7). Такого рода специфика видовой реакции, по-видимому, объясняется особенностями пространственного распределения видов. В частности, более высокая частота асимметричных проявлений у полевки-экономки может объясняться тем, что в зоне влияния поселка она отловлена в основном на берегу сильно загрязненного озера у поселка вахтовиков. Также относительно высоки показатели ФА в техногенных местообитаниях у лесного лемминга, который, вероятно, довольно резко реагирует даже на небольшие трансформации местообитания. Красная полевка, судя по показателям ФА, относительно устойчива к антропогенному воздействию. Возможно, указанные различия объясняются дифференцированной реакцией грызунов на загрязнение. Существуют данные, что в придорожных экосистемах зеленоядные виды, такие как полевки рода *Microtus*, накапливают в тканях больше свинца и других тяжелых металлов, чем специализированные зерноядные (мыши рода *Apodemus*), а виды со смешанным характером питания, такие как полевки рода *Clethrionomys*, имеют промежуточные уровни этого элемента в организме [Jefferies, French, 1972]. Исходя из этого, можно предположить, что неодинаковое накопление в тканях токсичных элементов приводит к разной степени нарушения стабильности развития, и поэтому нарушения у зеленоядных видов полевки-экономки и лесного лемминга выражены ярче, чем у красной полевки.

Насекомоядные млекопитающие — бурозубки — в контрольных местообитаниях, как и мышевидные грызуны, характеризуются

низкими значениями ЧАП, которые повышаются по мере нарастания степени техногенного воздействия (см. табл. 5.5, рис. 5.7). Причем, все виды мелких млекопитающих, отловленные в окрестностях шахты, расположенной рядом с вахтовым поселком, статистически достоверно (по критерию Стьюдента $p < 0,01$) отличаются по показателям ФА от зверьков, обитающих на ненарушенных территориях.

Рис. 5.7. ЧАП мелких млекопитающих в бассейне р. Мархи (Накынское Кимберлитовое поле, начало разработок) и в окрестностях Удачнинского ГОКа.

Территории: 1 — природные; 2 — техногенные.

Последнее обстоятельство крайне важно, так как в данном случае промышленная добыча алмазов еще не проводилась. Объемы горных работ невелики, но, несмотря на это, показатели стабильности развития изменились в непосредственной близости от шахты на статистически достоверном уровне. Промышленное освоение данной территории, строго говоря, еще не началось, животные сообщества на современном уровне трансформаций не перенесли, но изменения показателей ФА уже четко фиксируются. Таким образом, можно предположить, что даже сравнительно небольшое по масштабам воздействие привело к резкому повышению показателей нарушения стабильности развития. Это указывает на ухудшение условий существования для широкого круга организмов. Указанные обстоятельства с учетом слабого современного уровня техногенного воздействия показывают, на наш взгляд, на высокую степень уязвимости местных организмов и соответственно популяций и сообществ.

* * *

Алмазодобывающая промышленность, как и угледобывающая, является относительно молодой отраслью, однако по степени трансформации территории сопоставима с действием золотодобывающей промышленности на юге Якутии.

До 50-х годов XX в. регион не был подвержен массивному антропогенному воздействию, и на основной части территории состояние местных экосистем соответствует эволюционно сложившемуся природному уровню. Об этом свидетельствуют относительно низкие показатели нарушения стабильности развития растений и животных в природных биотопах в районе Накынского кимберлитового поля. С другой стороны, зафиксированное нами повышение показателей нарушения стабильности развития в трансформированных местообитаниях показывает, что в ряде случаев даже слабые техногенные нарушения отрицательно влияют на качество среды.

Четко выраженная тенденция к освоению все более высокоширотных территорий, масштабы работ и показатели нарушения стабильности развития организмов в сильно трансформированных местообитаниях позволяют предположить, что в дальнейшем возможно существенное ухудшение качества среды на обширной территории. Это необходимо учитывать при планировании промышленных нагрузок в рассматриваемом регионе.

БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СРЕДЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

6.1. Бассейн р. Алдан (Якокит-Селигдарское междуречье)

Один из старейших в Сибири золотоносных районов — Центрально-Алданский — расположен на междуречье правых притоков р. Алдана — Якокита и Селигдара. Долинные ландшафты междуречья сильно пострадали от открытых разработок дражным и раздельным способами, это примерно 22,4 % общей площади долин. При этом надо учесть, что в регионе выражено не только механическое загрязнение с нарушением целостности природных ландшафтов, но и химическое, так как в 1952—1988 гг. для увеличения извлекаемости золота из шлихов применялась технология амальгамации [Миронова, 2000].

На Якокит-Селигдарском междуречье нами изучены разновозрастные дражные отвалы россыпных месторождений по долинам рек Большой и Малый Куранах, Орто-Сала и Селигдар (рис. 6.1).

Разработка долины р. Большой Куранах начата еще в 1954 г., а р. Орто-Сала — с 1968 г., и техногенная трансформированность долин этих рек достигает 90 % от общей площади. Общая трансформированность долины р. Селигдар меньше, по этой причине контрольные пробы брались в последней.

Показатели стабильности развития продуцентов. Для оценки стабильности развития в пределах Якокит-Селигдарского междуречья были собраны листья березы плосколистной, дюшекии кустарниковой и ивы корзиночной из долин рек Большой Куранах, Орто-Сала, Малый Куранах и Селигдар. Кроме того, листья собирались в окрестностях карьера по добыче руды и золотоизвлекательной фабрики пос. Нижний Куранах (ЗИФ).

Показатели стабильности развития березы плосколистной в регионе варьировали в пределах 0,046—0,070 (табл. 6.1, рис. 6.2). Сбор листьев проводился в долинах четырех рек, поэтому в ряде случаев показатель асимметрии у растений на отвалах сопоставим с таковым растений из контрольных местообитаний, как, например, у березы с отвалов Малого Куранаха и из контрольных биотопов долины р. Селигдар (см. табл. 6.1). Однако надо учесть, что

Рис. 6.1. Точки сбора материала в бассейне р. Алдан.

1 — отвалы; 2 — контроль (природные биотопы); 3 — карьеры, золотоизвлекающая фабрика.

Таблица 6.1

Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии листа растений
Якокит-Селигдарского междуречья

Долина рек	Место сбора	Год	Вид	n	$M \pm m$
Орто-Сала	Отвалы	1996	Береза плосколистная	100	$0,062 \pm 0,003$
			Ива корзиночная	77	$0,090 \pm 0,004$
Большой Куранах	»	1996	» »	100	$0,070 \pm 0,003$
Малый Куранах	»	1997	Дюшекия кустарниковая	89	$0,070 \pm 0,003$
			Береза плосколистная	100	$0,051 \pm 0,003$
			Ива корзиночная	90	$0,091 \pm 0,003$
	Карьер	1997	Дюшекия кустарниковая	100	$0,061 \pm 0,003$
			Береза плосколистная	100	$0,070 \pm 0,003$
			» »	100	$0,066 \pm 0,004$
Селигдар	Контроль	1996	» »	100	$0,046 \pm 0,003$
			Ива корзиночная	100	$0,053 \pm 0,003$
			Дюшекия кустарниковая	60	$0,032 \pm 0,002$
			Береза плосколистная	100	$0,051 \pm 0,003$
			Ива корзиночная	100	$0,059 \pm 0,003$

Рис. 6.2. Показатели ФА листа растений в зоне воздействия золотодобывающей промышленности.

сбор материала проводился в разные годы и на показателях ФА могли сказаться разные климатические условия. При этом в пределах каждого отдельного года показатели нарушения стабильности развития у деревьев, растущих в контрольных биотопах, были ниже, чем на отвалах (рис. 6.3).

Наибольшие значения интегрального показателя ФА отмечены у берез, произрастающих на территории золотоизвлекательной фабрики и на границе карьера, т.е. в точках, где запыленность и нарушенность территории наиболее высоки.

Аналогичные тенденции можно отметить и для дюшекии кустарниковой и ивы корзиночной. При этом у первого вида показатель ФА на отвалах варьировал в пределах 0,061—0,070, а в контроле составил всего 0,032. У ивы показатель асимметрии еще выше: на отвалах 0,070—0,091, в контрольных биотопах — 0,053—0,059 (см. табл. 6.1).

Все деревья и кустарники, произрастающие на отвалах, имели повышенный показатель асимметрии, но при этом их реакция характеризовалась определенной видоспецифичностью. На наш взгляд, наиболее резкой реакцией на техногенную трансформацию природного ландшафта из обследованных видов обладает ива, в меньшей степени — дюшекия. Относительно высокие межвидовые различия показателей ФА у растений при сходных антропогенных воздействиях, по-видимому, — вполне обычное явление, они могут объясняться не только спецификой видовой реакции, но и особенностями строения и жилкования листовой пластинки и, как следствие, — критериями, используемыми для оценки величины

Рис. 6.3. Показатели ФА листа растений в разные годы.

проявления асимметрии. Интегрированный показатель асимметрии листа зависит не только от видовых особенностей, но и от числа признаков, применяемых для оценки стабильности развития. Достаточно существенные межвидовые различия у растений отмечены и другими авторами для других регионов. Например, в Новгородской области в зоне влияния химического предприятия уровни ФА четырех видов древесных и травянистых растений варьировали при одинаковых уровнях загрязнения, однако в целом тенденция к снижению уровня асимметрии при удалении от источника загрязнения прослеживалась довольно четко [Здоровье..., 2000а].

Для выполнения целей настоящего исследования важно, что во всех случаях на трансформированных участках показатели ФА были значительно выше на отвалах, чем на контрольных участках (см. рис. 6.2; табл. 6.1), причем во всех анализируемых случаях превышение показателей ФА характеризовалось максимальным уровнем статистической достоверности (по критерию Стьюдента $p < 0,001$).

Таким образом, во всех случаях показатели флуктуирующей асимметрии листовых растений на отвалах были достоверно выше, чем на участках, не подвергавшихся прямой техногенной трансформации (см. рис. 6.2, табл. 6.1).

Показатели стабильности развития консументов. Хронологический ряд, в течение которого велись наблюдения за изменчивостью показателей стабильности развития у млекопитающих, несколько больше, чем для растений, и представлен данными за 4 года. Изменчивость показателей стабильности развития консументов I порядка отслежена на примере красной, красно-серой полевки и полевки-экономки, консументы II порядка представлены средней бурозубкой.

В целом мелкие млекопитающие данного региона характеризуются относительно высокой частотой асимметричных проявлений (рис. 6.4). Так, у полевок она составляет 0,4—0,47, у средней бурозубки — 0,21. При этом достаточно четко прослеживается тенденция к увеличению ЧАП на техногенно трансформированных территориях (см. рис. 6.4, табл. 6.2). Как по суммарным показателям, так и по отдельным долинам частота асимметричных проявлений у мелких млекопитающих на отвалах выше, чем в природных биотопах (см. рис. 6.4, табл. 6.2).

У красной полевки показатели ФА в контрольных местообитаниях (долины рек Селигдар и Малый Кураны) примерно одинаковы — 0,38, тогда как на отвалах эти показатели составляли 0,40—0,47. Красно-серая полевка характеризуется несколько по-

Рис. 6.4. Частота асимметричных проявлений у мелких млекопитающих в зоне воздействия золотодобывающей промышленности.

1 — отвал, $n = 22$; 2 — контроль, $n = 70$.

вышенными показателями ФА по всем биотопам, кроме долины р. Орто-Сала (выборка — 6 экз.). Возможно, что этот вид более резко реагирует на общую техногенную трансформацию региона, но ее показатели также выше в нетрансформированных местообитаниях. У полевки-экономки и средней буроzubки показатели ФА также заметно выше на отвалах в долине р. Большой Кураных (см. табл. 6.2). Возможно, это объясняется тем, что долина этой реки является одной из самых сильно трансформированных на территории Якокит-Селигдарского междуречья.

Таблица 6.2

Показатели нарушения стабильности развития мелких млекопитающих Якокит-Селигдарского междуречья

Долина реки	Тип территории	Частота асимметричных проявлений	
		<i>n</i>	<i>M ± m</i>
<i>Красная полевка</i>			
Большой Куранах	Отвалы	8	0,40 ± 0,04
Малый Куранах	»	12	0,47 ± 0,03
В среднем...		22	0,45 ± 0,03
Селигдар	Контроль	62	0,38 ± 0,02
Малый Куранах	»	8	0,39 ± 0,02
В среднем...		70	0,38 ± 0,02
<i>Красно-серая полевка</i>			
Орто-Сала	Отвалы	6	0,41 ± 0,06
Большой Куранах	»	14	0,51 ± 0,04
Малый Куранах	»	11	0,49 ± 0,03
В среднем...		31	0,48 ± 0,05
Селигдар	Контроль	23	0,46 ± 0,02
<i>Полевка-экономка</i>			
Орто-Сала	Отвалы	15	0,41 ± 0,02
Большой Куранах	»	12	0,44 ± 0,04
Малый Куранах	»	2	0,5 ± 0,1
В среднем...		29	0,43 ± 0,04
Селигдар	Контроль	12	0,40 ± 0,03
<i>Средняя буроzubка</i>			
БольшойКуранах	Отвалы	24	0,23 ± 0,02
Малый Куранах	»	21	0,20 ± 0,02
В среднем...		45	0,22 ± 0,02
Селигдар	Контроль	67	0,21 ± 0,01
Малый Куранах	»	8	0,16 ± 0,03
В среднем...		75	0,20 ± 0,02

При рассмотрении показателей стабильности развития по годам у животных в контрольных и посттехногенных участках показатели ФА претерпевали заметные изменения, что можно проследить на примере двух наиболее многочисленных видов — красной полевки и средней буроzubки (табл. 6.3). По данным учета билатеральных признаков у красной полевки в природных местообитаниях ЧАП с 1994 по 1997 г. варьировала в пределах 0,32–0,45, среднее значение показателя за период исследований составило 0,40. В трансформированных биотопах наблюдаемая асимметрия со-

Таблица 6.3

Изменения частоты асимметричных проявлений
у мелких млекопитающих по годам

Год	Отвалы		Контроль		t
	n	M ± m	n	M ± m	
Красная полевка					
1994	13	0,50 ± 0,03	7	0,45 ± 0,05	0,86
1995	2	0,62 ± 0,04	3	0,32 ± 0,03	6,1*
1996	3	0,44 ± 0,06	18	0,38 ± 0,03	0,8
1997	12	0,47 ± 0,02	8	0,39 ± 0,02	2,6**
1994—1997	29	0,45 ± 0,02	38	0,38 ± 0,02	1,8
Средняя бурозубка					
1995	25	0,25 ± 0,02	59	0,21 ± 0,01	1,3
1996	8	0,24 ± 0,03	8	0,23 ± 0,03	—
1997	20	0,20 ± 0,02	8	0,16 ± 0,03	0,94
1994—1997	45	0,22 ± 0,02	75	0,20 ± 0,01	0,6

* $p < 0,01$.** $p < 0,05$.

ставляла 0,37—0,62 по тем же годам (см. табл. 6.3). Для средней бурозубки на контрольных участках — 0,16—0,23 (0,20), а на отвалах — 0,19—0,25.

При этом во всех выборках показатели ФА на техногенных участках были выше, чем в природных по суммарным показателям (см. табл. 6.3), но статистическая достоверность наблюдалась только у красной полевки в 1995 и в 1997 гг. (по критерию Стьюдента соответственно $p < 0,01$ и $p < 0,05$). Безусловно, в определенной мере отсутствие достоверности объясняется не всегда репрезентативными размерами выборок. Но в некоторых случаях, несмотря на достаточный объем выборок, разница между животными, обитающими в контрольных местообитаниях и на отвалах, статистически значимых различий не достигает.

Различия по годам могут объясняться различными уровнями численности животных. В.М. Захаров [1987] предполагает, что при разных уровнях численности уровень ФА в популяции может варьировать. Большинство исследователей связывают изменчивость показателей ФА по годам с состоянием популяции вида. В частности, имеются материалы, которые доказывают, что степень асимметрии животных находится в тесной связи с интенсивностью размножения в текущий сезон. Такая зависимость показана у бурозубок [Захаров и др., 1984]. В нашем случае колебания изменчивости ЧАП по годам не достигали такого размаха.

С другой стороны, не исключена возможность, что в пределах отвалов мы имеем смешанное население, представленное частично животными, начало жизненного цикла которых прошло вне техногенных территорий, что неминуемо отразится на показателях стабильности развития. Известно, что показатели стабильности развития отражают состояния окружающей среды в момент развития организма, у млекопитающих — в период развития плода. В таком случае, если животные проникли на нарушенные территории из техногенно не трансформированных местообитаний, то их показатели будут ниже, чем у животных, рожденных на техногенно нарушенных участках.

Во всех случаях различия по годам между показателями ФА сравнение по годам выборок «контроль — контроль» и «отвал — отвал» не дает статистически значимых различий.

Как видно, даже на контрольных территориях, в окрестностях г. Алдана, показатели ФА красной полевки (вида, по которому на настоящий момент накоплено больше всего данных по Якутии) значительно, с максимальной степенью достоверности ($p < 0,001$), выше, чем в других регионах Якутии. Возможная причина этого кроется в том, что вокруг старых промышленных центров, каким является Алдан, кроме непосредственно воздействия технологического цикла по добыче золота, имеется широкий круг возможных опосредованных воздействий, в частности выбросы в атмосферу транспорта, запыленность, фактор беспокойства и т.д. Кроме того, в долине р. Алдан известно нахождение многих месторождений полезных ископаемых, в том числе и уран-ториевых, поэтому можно предположить влияние на стабильность развития организмов локальных геохимических аномалий или природного радиационного фона.

Таким образом, можно заключить, что консументы I и II порядка, обитающие на нарушенных территориях, испытывают по сравнению с живущими в пределах природных биотопов особями негативное воздействие со стороны техногенно преобразованной среды, что отрицательно отражается на показателях стабильности развития.

6.2. Бассейн р. Яны (окрестности пос. Кулар)

В настоящее время широкомасштабной добычи золота в нижнем течении р. Яны не ведется, но до последнего времени здесь добывалось большое количество металла, что привело к значи-

тельным трансформациям природных ландшафтов. Большие площади здесь заняты отвалами, на которых полного восстановления растительности и природных сообществ мелких млекопитающих не произошло даже спустя 40 лет [Вольперт, Сапожников, 1998; Захарова, 2000]. Из-за особенностей растительности тундровой зоны (практически полное отсутствие древесно-кустарниковой растительности) для биоиндикации этого региона использованы только мелкие млекопитающие.

Для данного региона мы определили показатели флуктуирующей асимметрии консумента I порядка полевки-экономки и консумента II порядка тундряной бурозубки из техногенно трансформированных и природных местообитаний.

Как видно из полученных нами материалов, показатель ФА тундряной бурозубки в трансформированных местообитаниях выше, чем в природных биотопах (табл. 6.4). Для дополнительного сравнения мы приводим данные по другим северным регионам. Как видно, у животных в бассейне р. Мархи и в нижнем течении р. Индигирки показатели близки к контролю, полученному в окрестностях пос. Кулар.

Сравнение показателей ФА полевки-экономки из техногенных и природных местообитаний затруднено, так как из-за особенностей распределения населения по биотопам в контроле вид был крайне малочисленным [Вольперт, Сапожников, 1998]. По этой причине нами привлекаются для контроля дополнительные материалы из других северных регионов, так как, по нашим данным, показатели ФА возрастают в пределах Якутии в северном направлении.

У зверьков, отловленных на техногенно нарушенных территориях, показатель асимметрии выше, чем в природных не трансформированных техногенной деятельностью биотопах.

Таблица 6.4

Показатели нарушения стабильности развития мелких млекопитающих на территории Куларского ГОКа в природных биотопах

Вид	Тип территории	Частота асимметричных проявлений	
		<i>n</i>	<i>M ± m</i>
Тундряная бурозубка	Отвалы	29	0,22 ± 0,02
	Природные биотопы	28	0,20 ± 0,02
Полевка-экономка	Отвалы	30	0,38 ± 0,02
	Природные биотопы	3	0,29

Таким образом, в нижнем течении р. Яны животные, отловленные на техногенно трансформированных территориях, характеризуются повышением уровня частоты нарушений билатеральной симметрии, что указывает на дополнительный стресс на организмы со стороны техногенно преобразованной среды.

* * *

В зоне воздействия старейшей отрасли горнодобывающей промышленности Якутии существенной трансформации подвержены значительные площади природных ландшафтов. Негативные последствия особенно ярко проявляются в бассейне р. Алдан (Южная Якутия), где весь обширный регион в той или иной форме подвержен антропогенному воздействию вследствие развития золотодобывающей промышленности и сопутствующих структур. По этой причине увеличение частоты нарушений стабильности развития наблюдается даже в биотопах, не подверженных прямому техногенному влиянию, а если на общий высокий уровень антропогенного пресса накладываются последствия прямой трансформации, то они еще больше повышаются.

Во всех проанализированных нами случаях посттехногенные территории характеризовались высоким уровнем нарушений стабильности развития. Регистрируемые здесь показатели были выше, чем в контрольных биотопах (которые по сути можно отнести к микроантропогенным), и значительно выше показателей организмов, обитающих в природных биотопах вне зоны воздействия. Причем амплитуда колебаний ФА по годам у мелких млекопитающих на посттехногенных территориях была значительно выше, чем в контрольных. Не исключено, что животные, обитающие на трансформированных участках, значительно резче реагируют на изменения условий существования (климатические факторы, внутрипопуляционные процессы, межвидовые отношения), чем обитающие в более благоприятных условиях.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПОКАЗАТЕЛИ НАРУШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗМОВ

Развитие горнодобывающей промышленности в условиях Севера приводит к глубоким антропогенным нарушениям экосистем. На территории Якутии добыча полезных ископаемых обусловила глубокие изменения природной среды в зоне воздействия, что отражается на состоянии растений и животных.

Воздействие горнодобывающей промышленности на прилегающие территории выражается прежде всего в механическом нарушении почвенного и растительного покрова, отторжении больших площадей и полном преобразовании природных территорий разрезами, отвалами, полигонами. Территории, не подвергающиеся непосредственному нарушению, загрязняются частицами горных пород, шахтными водами и газами. Такого рода загрязнения оказывают серьезное влияние на экосистемы в основном при массивных мощных выбросах, так как не содержат сильно действующих токсических компонентов. Поэтому воздействие объектов горнодобывающей промышленности на экосистемы можно рассматривать как прямое и косвенное. Прямое воздействие вызывает серьезные нарушения среды с полной или частичной трансформацией биоты, в результате которой биоиндикация затруднена или невозможна по причине отсутствия биотического компонента экосистем. Во втором случае относительно слабое опосредованное воздействие на организмы вызывает (особенно на первых порах) незначительные нарушения, которые из-за малого масштаба зачастую бывает трудно уловить. В силу этого степень трансформации природных ландшафтов при воздействиях горнодобывающей промышленности различна. Часть территорий, использованных нами в качестве контроля, можно охарактеризовать по классификации К.К. Скрипчинского [1973] как **девственные** — это участки природных биотопов, расположенные на удалении от дорог, рудников, промышленных объектов, сохраняющие в общих чертах типичный для регионов состав растительных и животных сообществ. В большинстве случаев, как и следовало ожидать, такие участки

характеризуются нормальными показателями стабильности индивидуального развития растений и животных.

К участкам **микроантропогенной трансформации** можно отнести участки, соседствующие с трансформированными, но сами не подвергшиеся техногенному воздействию не испытывающие. Здесь растения и животные не испытывают серьезных негативных воздействий, и, как правило, показатели флуктуирующей асимметрии близки к таковым организмов с девственных территорий.

К **мезоантропогенной категории** можно отнести участки с частично уничтоженной и позже восстановившейся растительностью (например, в результате вырубки), берега хвостохранилищ, участки, подвергающиеся загрязнению в результате взрывов на шахтах и разрезах, обочины дорог. В случае незначительных по силе и продолжительности воздействий эти участки также характеризуются относительно низкими показателями нарушения стабильности развития. Однако при продолжительной мезоантропогенной трансформации возможно постепенное накопление загрязнителей, что со временем может привести к более серьезным нарушениям среды, как это наблюдается в случае неоднократного воздействия минерализованных вод или в непосредственной близости к угольным разрезам, где почвенный и растительный покров не нарушен, но накопление угольной пыли все более ухудшает качество среды.

Участки, подвергшиеся **макроантропогенной трансформации**, характеризуются полным уничтожением почвенного и растительного покрова, что затрудняет восстановление растительности, происходящее десятилетиями. Это, прежде всего, отвалы и дражные полигоны. Они занимают значительные площади, особенно в зоне воздействия золото- и алмазодобывающей промышленности. Даже после восстановления биоты морфогенетические показатели нарушения стабильности развития здесь, как правило, высоки. Возможно, что нарушения развития связаны не столько с действием токсических веществ, загрязняющих данные местообитания, сколько с общей неблагоприятностью существования во вновь осваиваемых биотопах.

Другая категория макротрансформированных биотопов — это участки, связанные с действующими объектами. Здесь, напротив, незначительные на первых этапах воздействия постепенно аккумулируют те или иные загрязнители (механические, физические, химические), в результате качество среды постепенно ухудшается.

В связи с неоднородностью масштабов воздействия на экосистемы горнодобывающей промышленности биоиндикация каче-

ства среды в зоне ее влияния имеет специфику, которую необходимо учитывать при проведении работ по оценке качества среды. Рассмотрение показателей нарушения стабильности развития растений и животных в зоне влияния объектов горнодобывающей промышленности и сравнение с таковыми организмов ненарушенных территорий позволило нам выявить общие закономерности в зависимости от степени трансформации.

Биотопы девственной категории (природные территории) могут существенно различаться по показателям нарушения стабильности развития организмов вследствие воздействия биотических и абиотических факторов. В частности, на экологической периферии ареала повышение частоты нарушений может быть обусловлено существованием под прессом жестких климатических условий. При сравнении частоты асимметричных проявлений четырех таежных видов мелких млекопитающих можно отметить, что в таежной зоне они варьируют в пределах 0,15–0,19 у бурозубок и 0,25–0,30 у полевок, тогда как к лесотундре возрастают до 0,22–0,24 и 0,38–0,46 соответственно (рис. 7.1). У мелких млекопитающих частота асимметричных проявлений может возрастать в отдельных местообитаниях, подверженных воздействию паводков. Так, нами отмечено, что в пойме частота асимметричных проявлений у бурозубок выше, чем в соседних таежных стациях (см. рис. 5.5).

У растений показатель ФА может варьировать в значительно более широких пределах, что объясняется, прежде всего, особенностями прикрепленного образа жизни и зависимостью от влажности и освещенности. Так, повышение уровня асимметрии может наблюдаться в условиях усиления межвидовой и внутривидовой конкуренции, например на сильно затененных более высокими деревьями участках, в лесных стациях с высокой густотой древостоя (рис. 7.2). В то же время, даже в биотопах, подверженных косвенному техногенному воздействию, показатели ФА у березы могут быть сравнимы с показателями растений из природных биотопов, при условии хорошей освещенности и ненарушенности почвенного покрова [Шадрина, 2001]. Зато повышенный показатель асимметрии может быть отмечен у деревьев, произрастающих на обедненных почвах, например на каменистом склоне сопки (см. рис. 7.2).

Для дюшекии кустарниковой нами отмечены существенные различия в показателях ФА у растений, произрастающих в разных растительных ассоциациях. Так, в пределах Южной Якутии на незначительном расстоянии друг от друга отмечены существенные различия показателей ФА между растениями, произрастающими в

окружении кедрового стланика, лиственницы и сосны, причем показатель ФА был наиболее высоким в первом случае (см. рис. 7.2). Столь существенные различия могут быть связаны с разным характером межвидовых взаимодействий.

Кроме того, из-за прикрепленного образа жизни на растения в большей степени, чем на животных, могут влиять локальные загрязнения, геохимические аномалии и микроклиматические условия. В гл. 4 мы уже упоминали о наличии положительной корре-

Рис. 7.1. Частота асимметричных проявлений у мелких млекопитающих в биотопах, не подверженных прямому антропогенному воздействию.

ляции между показателем ФА дюшекии кустарниковой и содержанием металлов в почве, что не всегда связано с загрязнениями. В ряде случаев внутри пробы, собранной в пределах одного биотопа с растений, внешне не различающихся между собой, различия могут быть весьма существенными (см. рис. 7.2). Поэтому мы считаем, что выбор места для сбора проб с контрольных территорий имеет огромное значение, и для получения адекватных результатов необходимо учитывать все вышеперечисленные факторы.

Рис. 7.2. Показатели ФА растений в биотопах, не подверженных прямому антропогенному воздействию.

По-видимому, определение «девственная категория» имеет достаточно жесткие рамки и соответствует только территориям, расположенным на значительном удалении от крупных населенных пунктов, дорог, промышленных объектов. По крайней мере, надо отметить, что часть территорий, первоначально отобранных нами как «девственные», характеризовалась несколько повышенными показателями нарушения стабильности развития по сравнению с местообитаниями, расположенными на значительном удалении от промышленных объектов (табл. 7.1). Это участки, выбранные в качестве контрольных и расположенные в радиусе 5–15 км от объектов горнодобывающей промышленности. Мы считаем, что, несмотря на удаление от загрязненных и нарушенных биотопов, их правильнее отнести к биотопам микроантропогенной трансформации, наряду с биотопами, сосредоточенными в непосредственной близости к шахтам и отвалам, но не подвергающимися прямому воздействию. Таким образом, можно предположить, что зона опосредованного воздействия горнодобывающей промышленности на экосистемы значительно обширнее, чем можно выявить химико-аналитическими методами. Она простирается на несколько километров, а в случае проведения массовых взрывов и сброса шахтных вод — на несколько десятков километров.

В целом участки микроантропогенной трансформации характеризуются некоторым повышением частоты нарушений стабильности развития по сравнению с девственными территориями. В окрестностях относительно молодых шахт и разрезов эти различия невелики, а по мере освоения территории, развития транспортной сети и накопления загрязнений, усиливаются.

Более того, на этих территориях могут встречаться участки, характеризующиеся более существенными отклонениями от нормы, именно их и можно выявить биоиндикационными методами.

Участки, подвергающиеся мезоантропогенной трансформации, характеризуются существенными нарушениями качества среды, что проявляется в повышении показателей нарушений стабильности развития животных и растений (табл. 7.1, рис. 7.3). При этом надо учесть, что реакция организмов разных трофических уровней может быть неодинакова. Показатели продуцентов могут быть как повышенными, так и близкими к норме. Это объясняется тем, что даже серьезные нарушения ценоза могут повлечь за собой как отрицательные, так и положительные последствия для растений, в частности снижение конкуренции, улучшение освещения. У кон-

Таблица 7.1

Показатели нарушения стабильности развития мелких млекопитающих в биотопах, подверженных антропогенному воздействию

Категория трансформации	Регион	Частота асимметричных проявлений	
		n	M ± m
Средняя бурозубка			
Девственная	Западная Якутия	15	0,16 ± 0,01
	Бассейн р. Вилуй	36	0,15 ± 0,01
Контроль в окрестностях горнодобывающих работ	Кангалассы	24	0,19 ± 0,01
	Алдан	75	0,2 ± 0,02
Микроантропогенная	Мирный	15	0,21 ± 0,03
	Мирный	17	0,19 ± 0,03
Мезоантропогенная	Накын	46	0,25 ± 0,01
	Кангалассы	18	0,26 ± 0,03
Макроантропогенная	Алдан	45	0,22 ± 0,02
Полевка-экономка			
Девственная	Вилуй	77	0,28 ± 0,01
	Ленск	16	0,29 ± 0,01
	Накын	30	0,27 ± 0,02
Контроль в окрестностях горнодобывающих работ	Кангалассы	15	0,39 ± 0,04
	Алдан	12	0,4 ± 0,03
Мезоантропогенная	Удачный	51	0,3 ± 0,01
	Накын	16	0,44 ± 0,03
	Мирный	7	0,36 ± 0,02
Макроантропогенная	Кангалассы	42	0,42 ± 0,03
	Алдан	29	0,43 ± 0,04
	Удачный	60	0,42 ± 0,01
	Кулар	30	0,38 ± 0,02
Красная полевка			
Девственная	Вилуй	18	0,33 ± 0,03
	Южная Якутия	43	0,3 ± 0,01
	Накын	51	0,3 ± 0,01
Контроль в окрестностях горнодобывающих работ	Мирный	26	0,39 ± 0,03
	Кангалассы	17	0,37 ± 0,05
Микроантропогенная	Алдан	70	0,38 ± 0,02
	Мирный	48	0,36 ± 0,02
Мезоантропогенная	Нерюнгри	30	0,33 ± 0,01
	Накын	73	0,39 ± 0,01
	Кангалассы	26	0,42 ± 0,02
Макроантропогенная	Нерюнгри	35	0,36 ± 0,02
	Мирный	11	0,42 ± 0,03
	Алдан	22	0,45 ± 0,03
	Удачный	12	0,41 ± 0,03

Рис. 7.3. Показатели ФА березы плосколистной в биотопах, подверженных разной степени техногенной трансформации.

Категория: 1 — девственная; 2 — микроантропогенная; 3 — мезоантропогенная; 4 — макроантропогенная.

сументов на этих территориях, как правило, показатели повышены более существенно, чем у продуцентов (см. табл. 7.1).

Территории, подвергавшиеся макроантропогенной трансформации, настолько подвержены техногенному воздействию, что зачастую они на протяжении длительного времени после нарушения не заселены; здесь наблюдаются крупные нарушения биоценозов, поэтому оценка качества среды биоиндикационными методами затруднена, а в случае постепенного заселения показатели нарушения стабильности развития организмов повышены по сравнению с природными биотопами (см. табл. 7.1; рис. 7.1, 7.3).

Таким образом, в любом случае деятельность горнодобывающей промышленности приводит к серьезным последствиям для экосистем. По тяжести последствий выделяются макроантропогенные территории, где нарушения стабильности развития организмов, относящихся ко всем трофическим уровням, наиболее существенны.

Уровень стресса для организмов, обитающих на мезоантропогенных территориях, несколько ниже, но с течением времени он способен увеличиваться, что особенно важно при прогнозировании последствий деятельности крупных долговременных предприятий.

Практически во всех наблюдаемых нами случаях четко диагностируемая зона воздействия предприятия значительно превосходи-

ла территорию горного отвода. Более того, как правило, в зону воздействия попадают территории городов и поселков, где проживают работники предприятий, а в отдельных случаях и рекреационные зоны, что представляет непосредственную опасность для здоровья людей. Последнее обстоятельство необходимо учитывать при освоении новых месторождений, а в случае уже давно освоенных — необходимо искать пути минимизации воздействия основного производства на территории жилой и рекреационной зон.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Агроклиматический** справочник по Якутской АССР / Под ред. А.К. Мозолевской. — Л.: Гидрометеиздат, 1963. — 146 с.
- Андреев В.Н.** Роль антропогенных факторов в развитии северных биогеоценозов // Теоретические прикладные проблемы биологии на Северо-Востоке СССР. — Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1977. — С. 17—26.
- Артамонова С.Ю., Иванов В.В., Данилов В.А.** Реакция экосистем долин Якокит-Селигдарского междуречья на ртутное загрязнение // Тезисы докл. российской конф. «Оценка риска загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами: интегрированные подходы, теоретические разработки и конкретные примеры». — М., 2000. — С. 72.
- Безель В.С., Попов Б.В., Садыков О.Ф. и др.** Мелкие млекопитающие в системе регионального экологического мониторинга // Техногенные элементы и животный организм (полевые наблюдения и эксперимент). — Свердловск, 1986. — С. 3—13.
- Биотест.** Интегральная оценка здоровья экосистем и отдельных видов / Под ред. В.М. Захарова, Д.М. Кларка. — М., 1993. — 67 с.
- Булавинцев В.И.** Формирование животного населения на территориях, нарушенных открытыми горными разработками полезных ископаемых: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 1981. — 16 с.
- Вартапетов Л.Г., Юдкин В.А.** Воздействие нефтегазодобычи и урбанизации на сообщества наземных позвоночных // Успехи соврем. биол. — 1998. — Т. 118, вып. 2. — С. 216—226.
- Васильев А.Г., Васильева И.А., Большаков В.Н.** Фенетический мониторинг популяций красной полевки (*Clethrionomys rutilus* Pall.) в зоне восточно-уральского радиоактивного следа // Экология. — 1996. — № 2. — С. 113—121.
- Викторов А.Г.** Радиочувствительность и радиопатология дождевых червей, их использование в биоиндикации радиоактивных загрязнений // Биоиндикация радиоактивных загрязнений. — М., 1999. — С. 213—217.
- Витвицкий Г.Н.** Климат // Якутия. — М.: Наука, 1965. — С. 105—143.
- Вольперт Я.Л., Сапожников Г.В.** Реакция населения мелких млекопитающих при различных формах техногенных воздействий на арктические ландшафты // Экология. — 1998. — № 2. — С. 133—138.
- Вольперт Я.Л., Шадрина Е.Г.** Сообщества мелких млекопитающих арктической зоны Якутии как индикаторы состояния ландшафтов // Знания на службу нуждам Севера. Первая международная конф.: Тез. докл. — Якутск, 1996. — С. 60.

Гаврилова М.К. Климат холодных регионов Земли. — Якутск: Изд-во СО РАН, 1998. — 207 с.

Гончаров Ю.Т. Региональные особенности разработки россыпей и рекультивации нарушенных земель в условиях Южной Якутии // Проблемы техногенеза и рекультивации при разработке многолетнемерзлых россыпей. — Магадан, 1987. — С. 31—38.

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Саха (Якутия) в 1999 году. — Якутск, 2001. — 271 с.

Давиденко Н.М. Проблемы экологии нефтегазоносных и горнодобывающих регионов Севера России. — Новосибирск: Наука, 1998. — 223 с.

Дегтярев В.Г. Антропогенные воздействия на птиц Лено-Алданского междуречья // Охрана природы Центральной Якутии. — Якутск, 1985. — С. 77—83.

Жадринская Н.Г. Растительность и почвы // Северная Якутия. — Л., 1960. — С. 235—254. — (Тр. Арктич. и антарктич. НИИ; Т. 236).

Захаров В.М. Асимметрия животных. — М.: Наука, 1987. — 216 с.

Захаров В.М., Борисов В.И., Баранов А.С., Валецкий А.В. Стабильность развития // Последствия Чернобыльской катастрофы: Здоровье среды / Под ред. В.М. Захарова, Е.Ю. Крысанова. — М.: Центр экологической политики России, 1996. — С. 65—77.

Захаров В.М., Шефтель Б.М., Александров Д.Ю. Нарушение стабильности развития на фазе пика численности в популяциях млекопитающих // Докл. АН СССР. — 1984. — Т. 245, № 13. — С. 761—764.

Захарова В.И. Динамика растительности субарктических тундр и притундровых редколесий под влиянием горных разработок (низовья р. Яны): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Якутск, 2000. — 18 с.

Здоровье среды: практика оценки / В.М. Захаров, А.Т. Чубинишвили, С.Г. Дмитриев и др. — М.: Центр экологической политики России, 2000а. — 318 с.

Здоровье среды: методика оценки / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов и др. — М.: Центр экологической политики России, 2000б. — 66 с.

Зольников В.Г. Почвы восточной половины Центральной Якутии и их использование // Материалы о природных условиях и сельском хозяйстве Центральной Якутии. — М., 1954. — Вып. 1.

Ильенко А.И. Концентрирование животными радиоизотопов и их влияние на популяцию. — М.: Наука, 1974. — 168 с.

Караваев М.Н. Растительный покров // Якутия. — М.: Наука, 1965. — С. 247—284.

Караваев М.Н., Скрябин С.З. Растительный мир Якутии. — Якутск: Якут-книгоиздат, 1971. — 128 с.

Карасева Е.В., Телицына А.Ю. Методы изучения грызунов в полевых исследованиях. — М.: Наука, 1995. — 226 с.

Кариофонды хирономид криолитозоны Якутии. Триба Chironomini / И.И. Кикнадзе, А.Г. Истомина, Т.А. Салова и др. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние РАН, 1996. — 166 с.

Качурин С.П. Многолетняя и сезонная мерзлота. — М., 1965. — 130 с.

Климов О.В. Особенности микроклимата и естественного воздухообмена в условиях сложного рельефа Южной Якутии (на примере Южно-Якутского

территориально-производственного комплекса): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Л., 1987. — 16 с.

Кононов К.Е. Луга и поймы реки Лены. — Якутск: кн. изд-во, 1982. — 216 с.

Константинов Е.Л. Особенности ФА листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula*) как вида-биоиндикатора: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Калуга, 2001. — 19 с.

Коржуев С.С. Рельеф и геологическое строение // Якутия. — М.: Наука, 1965.

Кравченко И.К., Семенов А.М., Дедыш С.Н. и др. Анализ природных популяций микроорганизмов в почвах, подвергнутых воздействию аварии на ЧАЭС // Биоиндикация радиоактивных загрязнений. — М., 1999. — С. 313—323.

Красавин А.П. Защита окружающей среды в угольной промышленности. — М., 1991.

Криволицкий Д.А. Почвенная фауна в экологическом контроле. — М.: Наука, 1994. — 269 с.

Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Захаров В.М. Анализ стабильности развития березы повислой в условиях химического загрязнения // Экология. — 1996. — № 6. — С. 441—444.

Кузьмин А.В., Жиров В.К., Исаков В.Н. Статистические закономерности морфогенеза листа в условиях неоднородной среды // Экология. — 1989. — № 5. — С. 68—70.

Куликова И.Л. К фауне млекопитающих дражных отвалов Урала // Млекопитающие Уральских гор. — Свердловск, 1979. — С. 39—41.

Кучерук В.В. Новое в методике количественного учета вредных грызунов и землероек // Организация и методы учета птиц и вредных грызунов. — М., 1963. — С. 159—183.

Лакин Г.Ф. Биометрия. — М.: Высш. шк., 1980. — 293 с.

Лебедева Н.А., Лонкунова А.Я. Биологическая рекультивация земель, нарушенных при добыче алмазов в Якутии // Растения и промышленная среда. — Свердловск, 1990. — С. 71—75.

Лебедева Н.В., Рябцев И.А. Накопление радионуклидов в птицах // Биоиндикация радиоактивных загрязнений. — М., 1999. — С. 72—85.

Ломоносов И.С., Макаров В.Н., Хаустов А.Т. Экогеохимия городов Восточной Сибири. — Якутск, 1993. — 108.

Макаров В.Н. Экогеохимия городов в зоне с низкой способностью к самоочищению и устойчивостью ландшафтов. Якутск // Экогеохимия городов Восточной Сибири. — Якутск, 1993. — С. 52—59.

Макаров В.Н., Федосеев Н.Ф., Федосеева В.И. Геохимия снежного покрова Якутии. — Якутск, 1990. — 148 с.

Максимов Г.Н. Экологическая ситуация на территории Якутии // Вопросы экологии и охрана окружающей среды в Якутии. — Якутск: Бичик, 1993. — С. 12—19.

Миронова С.И. Техногенные сукцессионные системы растительности Якутии. — Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 2000. — С. 22—27.

Оценка влияния Кангаласского угольного комплекса на окружающую среду / Препринт. — Якутск, 1992. — 40 с.

Петров А.Н. Мелкие млекопитающие трансформированных и ненарушенных территорий восточно-европейских тундр: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Сыктывкар, 2000. — 16 с.

Плохинский Н.А. Биометрия. — Новосибирск: Изд-во АН СССР, 1961. — 363 с.

Померанцева М.Д., Шевченко В.А., Рамая Л.К. и др. Генетические повреждения у домовых мышей, обитающих в условиях повышенного фона радиации // Генетика. — 1990. — Т. 26, № 3. — С. 466—473.

Последствие Чернобыльской катастрофы: Здоровье среды / Под ред. В.М. Захарова, Е.Ю. Крысанова. — М.: Центр экологической политики России, 1996. — 170 с.

Саввинов Д.Д. Почвы Якутии // Проблемы рационального использования почвенных ресурсов, их мелиорация и охрана. — Якутск: кн. изд-во, 1989. — 149 с.

Сивцева А.И., Мостахов С.Е., Дмитриева З.М. География Якутской АССР. — Якутск: кн. изд-во, 1990. — 168 с.

Скрипчинский К.К. Биогеографические аспекты географического прогнозирования // Природа и человек. — Владивосток, 1973. — С. 171—177.

Сочава В.Б. Растительный покров СССР: Пояснительный текст к геоботанической карте СССР. — Л.: Изд-во АН СССР, 1956.

Справочник по климату СССР. — Якутск, 1973. — Вып. 24: ЯАССР. Температура воздуха. — 424 с.

Справочник по климату СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — Сер. 3: Многолетние данные. — Вып. 24, ч. 1—6. — 607 с.

Тарабукина В.Г. Свойства пород отвалов и особенности почвообразования в техногенных ландшафтах // Наука и образование. — Якутск, 1996. — С. 153—160.

Тебеновочные пастбища северо-востока Якутии / В.Н. Андреев, Н.В. Беляева и др. — Якутск: Якут. кн. изд-во, 1974. — 246 с.

Тимофеев П.А. Леса Якутии. — Якутск: кн. изд-во, 1980. — 152 с.

Томаков П.И., Коваленко В.С., Михайлов А.М., Калашников А.Т. Экология и охрана природы при открытых горных работах. — М., 1994. — 428 с.

Ушакова В.А., Слепов В.В. Использование метода флуктуирующей асимметрии при проведении экологического мониторинга в г. Дзержинске // VI съезд ТО. — М., 1999. — С. 263.

Цыганков А.В. Безопасность освоения месторождений полезных ископаемых в криолитозоне. — Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1994. — 109 с.

Шадрина Е.Г. Оценка влияния автотранспорта на состояние среды по показателям стабильности развития березы плосколистной // Освоение Севера и проблемы природовосстановления. — Сыктывкар, 2001. — С. 283—285.

Шадрина Е.Г., Данилов В.А., Тарабукина В.Г., Соловьев В.С. Биоиндикационная оценка качества среды в зоне влияния Нерюнгринского угольного разреза // Наука и образование. — 2003. — № 3.

Шадрина Е.Г., Протопопова В.В. Реакция насекомоядных млекопитающих на техногенные воздействия в Центральной Якутии // Тез. докл. Международной конференции по биологии насекомоядных млекопитающих. — Кемерово, 1999. — С. 97—98.

Шадрина Е.Г., Протопопова В.В., Данилов В.А. Реакция мелких млекопитающих на техногенные воздействия в условиях Якутии // Тез. докл. VI съезда териологического общества. — М., 1999. — С. 278.

Экология Вилюя: Материалы к оценке экологического состояния / Под ред. Д.Д. Саввинова. — Якутск, 1996. — 144 с.

Юдкин В.А., Вартанетов Л.Г., Козин В.Г. Изменения населения наземных позвоночных при освоении нефтяных и газовых месторождений на севере Западной Сибири // Сиб. экол. журн. — 1996. — № 6. — С. 573—583.

Allenbach D.M., Sullivan K.B., Lydy M.J. Higher Fluctuating asymmetry as a measure of susceptibility to Pesticides in fishes // Environm. Toxicol. and Chem. — 1999. — Vol. 18, N 5. — P. 899—905.

Developmental stability in natural populations / V.M. Zakharov, J.M. Graham // Eds. Acta Zool. Fennica. — 1992. — N 191. — P. 1—200.

Jefferies J.D., French M.C. Lead concentrations in small mammals trapped on roadside verges field sites // Environm. Pollution. — 1972. — Vol. 10, N 3. — P. 175—182.

Leary R.F., Allendorf F.W. Fluctuating asymmetry as an indicator stress. Chance use in protect nature // Acta Zool. Fennica. — 1989. — Vol. 4. — P. 214—217.

Leary R.F., Allendorf F.W., Knudsen K.L. Developmental stability and enzyme heterozygosity in rainbow trout // Nature. — 1983. — N 301. — P. 71—72.

Leary R.F., Allendorf F.W., Knudsen K.L. Genetic, environmental, and developmental causes of meristic variation in rainbow trout // Acta Zool. Fennica. — 1992. — P. 79—95.

Palmer R.A., Strobeck C. Fluctuating asymmetry: a measurement, analysis, patterns // Ann. Rev. in Ecol. and System. — 1986. — Vol. 17. — P. 391—421.

Palmer R.A., Strobeck C. Fluctuating asymmetry as measure of non normal distribution and power of statistical tests // Acta Zool. Fennica. — 1992. — Vol. 3.

Parsons P.A. Fluctuating asymmetry: an epigenetic measure of stress // Biol. Rev. — 1990. — N 65. — P. 131—145.

Parsons P.A. Fluctuating asymmetry: a biological monitor of environmental and genomic stress // Heredity. — 1992. — N 68. — P. 361—364.

Zakharov V.M. Future Population phenogenetics: analysis of developmental stability in natural populations // Acta Zool. Fennica. — 1992. — Vol. 191. — P. 7—30.

Zakharov V.M., Sikorski M.D. Inbreeding and developmental stability in a laboratory strain of the bank vole *Clethrionomys glareolus* // Acta Theriol. — 1997. — N 4. — P. 73—78.

Zakharov V.M., Valetsky A.V., Yablokov A.V. Dynamics of developmental stability of seals and pollution in the Baltic sea // Acta Theriol. — 1997. — N 4. — P. 9—16.

Van Valen L. A study of fluctuating asymmetry // Evolution. — 1962. — Vol. 16, N 2. — P. 125—142.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
-----------------------	---

Глава 1

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД В БИОИНДИКАЦИОННОЙ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА СРЕДЫ	7
---	---

1.1. Биоиндикация как способ оценки качества среды	7
1.2. Стабильность развития организмов как основа для оценки качества среды	8
1.3. Морфогенетический подход при оценке качества среды	10
1.4. Регионы и объекты исследования	13

Глава 2

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ	23
--	----

2.1. Рельеф	23
2.2. Климат	24
2.3. Многолетняя мерзлота	25
2.4. Почва	26
2.5. Растительность	27

Глава 3

ВЛИЯНИЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ	30
---	----

3.1. Основные факторы загрязнения окружающей среды объектами горнодобывающей промышленности	30
3.2. Воздействие угледобывающей промышленности	32
3.3. Воздействие алмазодобывающей промышленности	36
3.4. Воздействие золотодобывающей промышленности	41

Глава 4

БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СРЕДЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	45
---	----

4.1. Кангаласский угольный разрез	45
4.2. Нерюнгринский угольный разрез	50

Оглавление

Глава 5

БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СРЕДЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	64
---	----

5.1. Окрестности карьеров трубок «Мир» и «Интернациональная»	64
5.2. Окрестности карьера трубки «Удачная»	75
5.3. Бассейн р. Марха (Накынское кимберлитовое поле)	77

Глава 6

БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СРЕДЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	81
---	----

6.1. Бассейн р. Алдан (Якокит-Селигдарское междуречье)	81
6.2. Бассейн р. Яны (окрестности пос. Кулар)	89

Глава 7

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПОКАЗАТЕЛИ НАРУШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗМОВ	92
---	----

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	101
------------------------------------	-----

CONTENTS

PREFACE	5
Chapter 1	
MORPHOGENETICAL APPROACH IN ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY	7
1.1. Bioindication as a Way of Assessment of Environmental Quality	7
1.2. Organism Developmental Stability as a Basis for Assessment of Environmental Quality	8
1.3. Morphogenetical Approach in Assessment of Environmental Quality	10
1.4. Objects and Regions under Research	13
Chapter 2	
PHISICAL AND GEOGRAPHICAL CHARACTERISTICS OF RESEARCH AREAS	23
2.1. Relief	23
2.2. Climate	24
2.3. Eternal frost	25
2.4. Soil	26
2.5. Vegetation	27
Chapter 3	
MAJOR FACTORS OF MINING INDUSTRY NEGATIVE EFFECTS ON NATURAL ECOSYSTEMS	30
3.1. Main factors of environment pollution by objects of mining industry	30
3.2. Effects of coal-mining industry	32
3.3. Effects of a diamond-mining industry	36
3.3. Effects of gold-mining industry	41
Chapter 4	
BIOINDICATIONAL ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY IN THE AREA OF COAL INDUSTRY INFLUENCE	45
4.1. The Kangelassy Coal Quarry	45
4.2. The Neriungry Coal Quarry	50

Contents

Chapter 5	
BIOINDICATIONAL ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY IN THE AREA OF DIAMOND INDUSTRY INFLUENCE	64
5.1. The «Mir» and «Internatsionalny» Quarry Outskirts	64
5.2. The «Udachny» Quarry Outskirts	75
5.3. Basin of the Markha River (the Nakyn Kimberlite Field)	77
Chapter 6	
BIOINDICATIONAL ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY IN THE AREA OF GOLD INDUSTRY INFLUENCE	81
6.1. Basin of the Aldan River (Yakokit-Seligdar Interfluve)	81
6.2. Basin of the Yana River (Outskirts of Kular settlement)	89
Chapter 7	
GENERAL CHARACTERISTICS OF MINING INDUSTRY INFLUENCE ON RATES OF ORGANISM DEVELOPMENTAL STABILITY DEVIATION	92
REFERENCES	101

Научное издание

Шадрина Елена Георгиевна
Вольперт Яков Лейзерович
Данилов Виталий Александрович
Шадрин Денис Яковлевич

**БИОИНДИКАЦИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
НА НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ СЕВЕРА**
Морфогенетический подход

Редактор *Т.А. Никитина*
Художественный редактор *Л.В. Матвеева*
Художник *И.С. Попов*
Технический редактор *Н.М. Остроумова*
Корректоры *И.П. Малышева, С.М. Позудина*
Оператор электронной верстки *С.К. Рыжкович*

ЛР № 020297 от 23.06.97. Сдано в набор 25.07.03. Подписано в печать 18.09.03.
Бумага ВХИ. Формат 60×90^{1/16}. Офсетная печать. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 7,0. Уч.-изд. л. 6,3. Тираж 300 экз. Заказ № 7.

Сибирская издательская фирма «Наука» РАН.
630099, Новосибирск, ул. Советская, 18.

СП «Наука» РАН.
630077, Новосибирск, ул. Станиславского, 25.