

Методология и принципы организации исследований природных экосистем в регионах с экстремальным техногенным воздействием

А. С. ШИШИКИН, А. П. АБАИМОВ, А. А. ОНУЧИН

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28
E-mail: shishikin@ksc.krasn.ru*

АННОТАЦИЯ

Представлен обзор исследований, проводимых Институтом леса в Норильском промышленном районе. Показана специфика воздействия горнодобывающего и металлургического производства на лесотундровую растительность. Предложены методологические подходы к организации наблюдений, ведению мониторинга основных компонентов природной среды в регионах, испытывающих экстремальные техногенные нагрузки, и оценке ущерба, наносимого промышленными объектами. По состоянию растительности и других компонентов биоценозов проведено зонирование территории по степени техногенного воздействия. Выделены техногенная пустошь, зоны сформировавшихся техногенных биоценозов, умеренно и слабо нарушенных природных экосистем.

Ключевые слова: мониторинг природной среды, структура техногенных ландшафтов, топоэкологические профили, зонирование промышленного воздействия, Норильский промышленный район.

В исследованиях, связанных с оценкой антропогенного воздействия и, в частности, поллютантов, на природные экосистемы, можно выделить два направления. Первое основано на замерах концентрации загрязняющих веществ в различных компонентах биоценозов и организмах. Это служит обоснованием для определения нормативных предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязнителей. Несмотря на несовершенство (условность отрицательного воздействия) расчета ПДК, в настоящее время это единственный подход, позволяющий получить количественные параметры химического загрязнения природных систем и вести нормативный надзор антропогенного воздействия экологическим службам.

Второе направление, методически наиболее сложно реализуемое, количественно

трудно оцениваемое, связано с интегральной оценкой воздействия негативных антропогенных факторов на качество природной среды с учетом синергетических эффектов и определением степени нарушения биоценологического функционирования экосистем в результате изменения свойств их компонентов. Причина – отсутствие стандартизированных представлений о состояниях природных систем, соответствующих “норме”, условности и многообразии принятых классификационных схем, понятий зональной, ландшафтной, биотопической и организменной “норм”. Соответственно, возникают трудности количественного описания состояния экосистемы, а значит, формализации и использования в юридической практике как норматива. В настоящее время принят и разрабатывается универсальный показатель состояния и эф-

фективности функционирования экосистем – биоразнообразии. В то же время это сложное понятие может трактоваться как структурное разнообразие ландшафтов, биотопической мозаичности, сукцессионной динамики видового состава формаций, популяционного и фенотипического разнообразия. При антропогенном воздействии формируются техногенные экосистемы, способные иметь такие же показатели биоразнообразия, как и естественные, а их сравнение по формальным признакам не отражает структурные и функциональные изменения. В критерии оценки не всегда включается биологическая продуктивность компонентов экосистем, особенно не имеющих прямого хозяйственного значения. Нет дифференцированной оценки средообразующей роли компонентов экосистемы. Практически не изучены техногенные сукцессии, поэтому невозможно давать обоснованный прогноз состояния нарушенных и антропогенных ландшафтов. В связи с этим оценка промышленного воздействия сложного производства в условиях слабой изученности естественного функционирования природной среды представляет теоретический интерес и необходима для организации и ведения мониторинга, а также разработки системы реабилитационных мероприятий.

Цель настоящего исследования – комплексная оценка функционирования биоценозов в условиях аэрогенного загрязнения Норильского промышленного района (НПР), разработка классификации территории по степени нарушенности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

На первом этапе исследований (2001–2004 гг.) для выявления географического распространения зоны поражения древесной растительности заложено 10 ключевых участков, расположенных в южном секторе промышленного загрязнения на удалении от 22 до 246 км [Отчет..., 2007а]. Они характеризуют состояние тундровых, лесных и болотных экосистем как фоновых, так и в разной степени нарушенных техногенным воздействием. В это же время экспедиционной группой почвоведов обрабатывалось шесть ключевых участков в северном секторе по мар-

шруту г. Норильск – г. Дудинка, выбранных на различной удаленности от металлургического комбината “Надежда” (9, 12, 17, 28, 45 и 74 км).

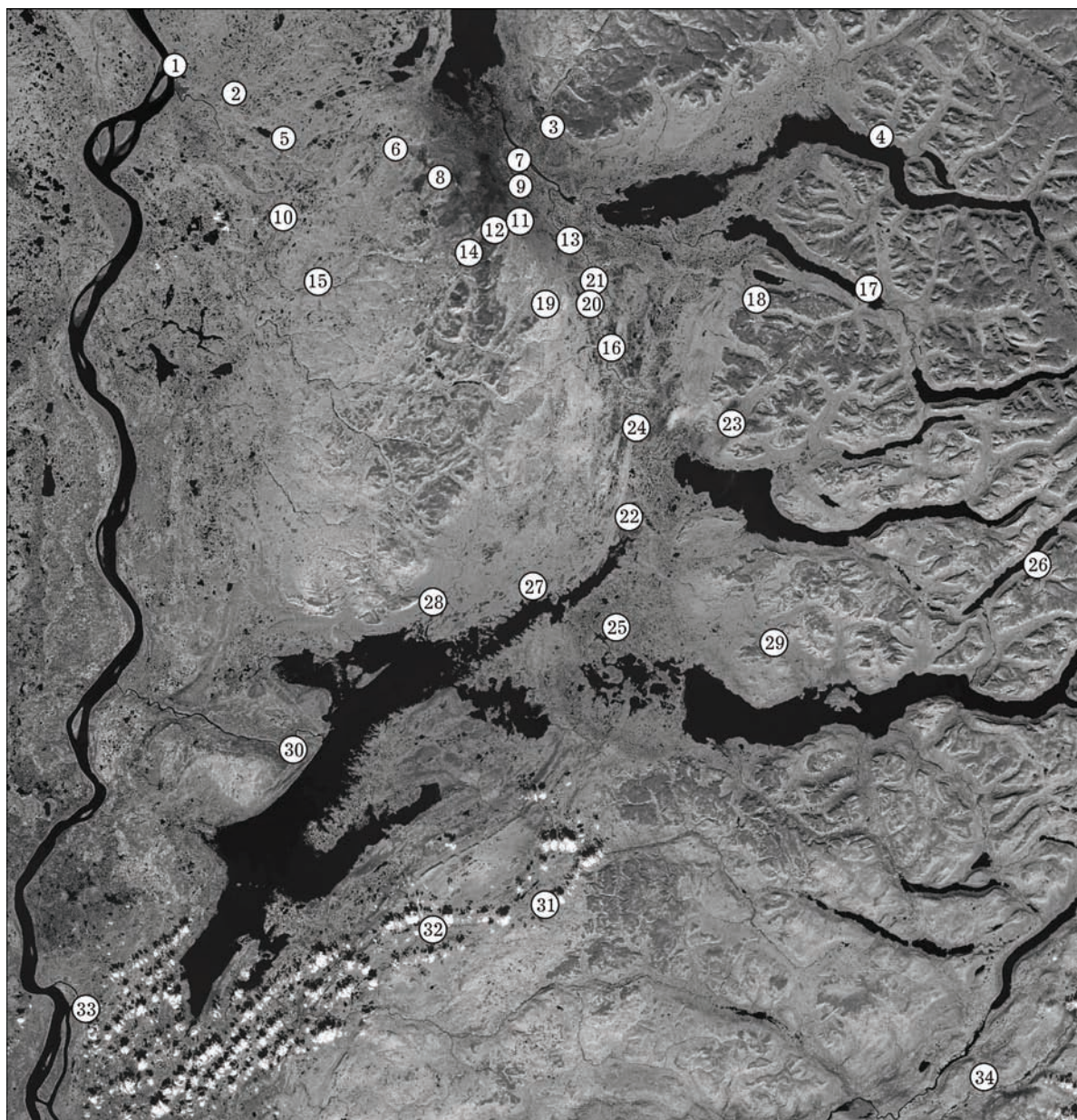
На втором этапе для уточнения границ зон поражения и степени деградации растительности по долине р. Рыбной в юго-восточном направлении заложили четыре ключевых участка (22, 45, 68 и 85 км).

Для третьего этапа характерно повторное обследование постоянных пробных площадей четырех ключевых участков “Горбичин-И”, “Ирбэ”, “Талнах” и “Тукаланда”, проведенное через семь лет со времени первых наблюдений [Отчет..., 2009]. В результате повторных замеров таксационных показателей учетных деревьев и геоботанических описаний растительности получены данные об изменениях в санитарном состоянии древостоя, видовом составе и структуре напочвенного покрова. Для оценки динамики санитарного состояния древостоев проведены повторные измерения соответствующих параметров учетных деревьев на двух пробных площадях, заложенных С. Л. Менщиковым в 1986 г. [2004, 2006]. В это же время в зоне сильного поражения и в западном направлении от источников выбросов по долине р. Ергалах проведены исследования на новых объектах, часть которых включалась в список мониторинговых.

Все работы на ключевых участках (см. рисунок, табл. 1) проводились комплексными отрядами, в состав которых входили почвовед, геоботаник, лесовод и зоолог. Топоэкологические профили закладывали с целью охвата максимально возможного геоморфологического разнообразия, определяющего комплекс растительных сообществ от пойм рек до водораздельных поверхностей.

Посредством ГИС-методов для каждого широкого трансекта и ключевого участка построены трехмерные модели рельефа, которые позволяют не только наглядно продемонстрировать положение профилей, но и выявить причинно-следственные связи при оценке состояния экосистем и слагающих их компонентов. Для хранения полученной информации создана база данных.

Методология ландшафтно-экологических исследований базировалась на закладке то-



Размещение точек наблюдений в НПР

поэкологических профилей, расположенных от поймы основной реки водосборного бассейна, пересекающих ее долину, террасу, а также склон с озерно-болотистыми понижениями и мелкими водотоками, до водораздельной поверхности [Отчет..., 2007a]. Профиль промерялся мерной лентой и маркировался по однородности геоморфологического положения, на основании чего выделялись типы местообитаний, где проводилось комплексное обследование почв, растительности и определялось население животных. Для опреде-

ления типологических классификаций использовались типологические схемы леса, разработанные А. П. Абаимовым [1997] и динамическая классификация местообитаний животных А. С. Шишикина [2006]. При сборе и обработке материалов сочетались наземные исследования, данные аэрокосмических съемок и результаты лабораторных анализов.

С использованием приборов GPS определялись географические координаты всех точек комплексного описания для последующего построения по материалам нивелировки

Название и координаты точек обследования

№	Название	в. д.	с. ш.	№	Название	в. д.	с. ш.
1	<i>Дудинка</i>	86,13	69,45	18	Нералах	89,89	69,17
2	Косая	86,53	69,42	19	Орон-2	88,63	69,10
3	<i>Талнах</i>	88,49	69,47	20	<i>Орон-1</i>	88,90	69,11
4	Лама	90,51	69,57	21	Полбан	88,89	69,16
5	<i>Боганида</i>	86,87	69,34	22	Омне	89,18	68,48
6	<i>Амбарная</i>	87,56	69,37	23	<i>Кета</i>	89,85	68,91
7	Улыбка	88,33	69,39	24	<i>Изба</i>	89,29	68,86
8	<i>Далдыкан</i>	87,87	69,32	25	Деличе	89,36	68,44
9	<i>Оганер</i>	88,36	69,34	26	Кутарамакан	91,78	68,69
10	Светлый	86,97	69,18	27	Аккит	88,82	68,49
11	Ергалах-0	88,39	69,26	28	<i>Тукуландо</i>	88,27	68,42
12	<i>Ергалах-1</i>	88,25	69,23	29	<i>Ирбо</i>	90,30	68,45
13	Омнутах	88,45	69,14	30	Хантайка	87,63	68,05
14	Ергалах-2	88,12	69,18	31	Горбиачин-1,2	89,21	67,81
15	Ергалах-3	87,24	69,06	32	Горбиачин-3	88,60	67,72
16	Чопко	89,02	69,03	33	Черная	86,74	67,41
17	Глубокое	90,55	69,24	34	Энде	91,82	67,57

П р и м е ч а н и е. Курсив – многократные наблюдения.

или крупномасштабным топографическим картам профилей и привязки к ним контуров почвенного и растительного покровов, а также дешифрирование аэро- и космического изображения.

На основе анализа общей эколого-геоморфологической обстановки на профилях и с учетом выявленного разнообразия поверхностей, а также особенностей пространственной дифференциации почвенного и растительного покровов подбирались участки для закладки постоянных пробных площадей в целях детального изучения параметров всех компонентов лесных экосистем и организации долговременных наблюдений за их состоянием. На каждом профиле закладывалось по 2–3 постоянных лесоводственных площади с маркировкой всех деревьев, образующих древесный полог.

На топоэкологических профилях выполнено более 130 геоботанических описаний тундрового типа растительности и около 130 – лесного. На семи профилях лесной зоны заложено 18 постоянных пробных площадей и 16 временных. Для анализа хода роста деревьев и определения фитомассы на них срублено 42 модельных дерева разного жизнен-

ного состояния, с которых взяты образцы стволовой древесины (всего 408 спилов), ветвей, хвои, годичных побегов и шишек (всего около 3000 навесок). На этих же объектах взято 320 моделей самосева и подроста хвойных пород для оценки возрастной структуры молодого поколения леса и тенденций сукцессионных смен под влиянием природных и антропогенных факторов.

Заложены и описаны 68 почвенных разрезов. Сделано 100 дополнительных прикопок на разных элементах рельефа. Отобраны почвенные и растительные (более 950) образцы для последующего определения в лабораторных условиях содержания в них тяжелых металлов и серы. Дополнительно брались почвенные образцы для оценки микробной биомассы, биологической активности почв, качественной и количественной характеристики почвенных беспозвоночных на рекультивационных объектах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Технологически схема оценки нарушенности биоценозов отрабатывалась на примере равнинного ландшафта Норильской котлови-

Структура техногенных ландшафтов горнодобывающего и металлургического производств (площадь, га)

Виды воздействия	НПП		Североникель		Rouyn-Noranda	
	S	%	S	%	S	%
Металлургическое производство	1319,7	3,0	1114,7	2,4	91,2	1,9
Промплощадки	4657,5	10,9	1348,8	3,0	257,1	5,4
Отстойники	3481,1	7,8	572	1,3	385,0	8,1
Карьеры, отвалы	4834,1	10,8	3120,3	6,8	106,4*	2,2
Жилая застройка	1179,0	2,7	1327,2	2,9	901,4	18,9
Аэрогенная пустошь	28899,8	64,8	38192,0	83,6	3035,5	63,5
Итого	44371,2	100,0	45674,6	100,0	4776,6	100,0

* Рекультивированные.

ны, которая является достаточно однородной геоморфоструктурой, ориентированной по направлению основного переноса промышленных эмиссий. На протяжении более 150 км поверхность котловины не нарушается существенными орографическими барьерами и покрыта достаточно густой сетью ключевых участков, расположенных на типизированных геоморфологических поверхностях на разном удалении от источников выбросов.

На предварительном этапе по результатам дешифрирования космических изображений определялась структура техногенного ландшафта горнодобывающего и металлургического производства трех объектов, расположенных в северных широтах: НПП, комбинат “Североникель” ОАО “Кольская ГМК” и Rouyn-Noranda (Канада) (табл. 2). По видам воздействия на всех объектах преобладает зона аэрогенной пустоши. На втором месте в НПП – промышленные площадки, карьеры и отвалы, у Североникеля – карьеры, в Rouyn-Noranda – жилая застройка (18,9 %), что связано с коттеджным типом населенных пунктов. В НПП и Rouyn-Noranda значительную долю занимают отстойники. Доля собственно металлургического производства на всех объектах различается незначительно (1,9–3,0 %). Обращают на себя внимание два рекультивированных карьера Rouyn-Noranda, которые резко выделяются на природном фоне яркой растительностью и используются для рекреационных целей. В зоне деятельности “Североникеля” хорошо дешифрируются значительные площади сельхозугодий (1237,8 га). Кроме аэрогенной пустоши в НПП определена территория с по-

гибшей растительностью (4365,8 га), а также сформировавшиеся под выбросами техногенными ценозами равнины (9251,7 га) и склоны (4395,4 га).

Исследование состояния всех компонентов биоценозов в НПП путем сравнительного анализа тематических слоев в ГИС-среде позволило выявить структурные и функциональные изменения биологических систем.

Для почвы характерным признаком техногенного воздействия служила глубина сезонного оттаивания, которая непосредственно зависит от состояния мохово-лишайникового покрова и концентрации поллютантов, влияющих на микробиологическую активность.

Изменения растительного покрова проявляются в жизненном состоянии древесно-кустарниковой, видовом составе и продуктивности травянистой растительности. При этом наиболее устойчивыми к загрязнению оказались пойменные комплексы, а менее – террасы и возвышенности котловины с моховым покровом.

Зоологический компонент реагирует прежде всего на состояние растительности, изменяя видовой состав, плодовитость и численность. Прямое воздействие загрязненного воздуха на животных проявляется в зоне высокой концентрации выбросов, когда наблюдается снижение плотности населения на фоне сохраняющихся кормовых и защитных условий.

В результате сравнительно-географического анализа данных установлено четыре категории нарушенности, соотнесенные с природным фоном ненарушенных сообществ.

Зона полной нарушенности (28,9 тыс. га) с отсутствием устойчивых растительных сообществ на площади менее 10 %, где высокая концентрация аэрогенного загрязнения не позволяет формироваться биоценозам. Эту территорию следует классифицировать как часть промышленной площадки Норильского ГМК, которая сформировалась как аэрогенный отвал поллютантов. Наибольший радиус техногенной пустоши в южном направлении не превышает 15 км.

Зона сформированных техногенных биоценозов (18,1 тыс. га), устойчиво функционирующих длительное время. На месте погибшей аборигенной растительности и ее разрушения до минерального горизонта сформировался травостой, состав которого зависит от дренированности и увлажнения грунтов. Перспективно изучение особенностей образования техногенных ценозов, их видового состава и производительности, сукцессионного направления развития и сезонных колебаний. В этой же зоне находится 4,4 тыс. га территории, покрывающей почву погибшей растительностью, которая препятствует формированию техногенных ценозов и требует проведения рекультивационных работ. Техногенные биоценозы распространяются от 20 до 90 км в южном направлении.

Зона умеренно нарушенных сообществ (209,9 тыс. га) отличается сохранением видового состава, но существенным перераспределением продуктивности растительных ярусов и экологических групп. Наблюдается распад древостоя, снижается полнота насаждений, увеличивается доля травянистой растительности и снижается – мхов и лишайников. Фитоценозы находятся в неустойчивом состоянии с большим запасом отмершей растительности. Наиболее удаленные умеренные нарушения распространены по долине Рыбной, достигая 110 км.

В зоне слабых нарушений (2152,6 тыс. га) полностью сохраняется исходная структура фитоценозов. Наблюдаются фрагментарные поражения наименее устойчивых компонентов (мхов, лишайников), а в отдельные сезоны – избирательные поражения вегетативного аппарата. При снижении выбросов биоценозы имеют потенциал к восстановлению и возвращению к фоновому состоянию. Прояв-

ления воздействия выбросов и слабые нарушения регулярно прослеживаются на удалении более 140 км.

Комплексный анализ состояния растительности и населения животных позволил выявить техногенные сукцессии по зонам воздействия (табл. 3).

При оценке воздействия НПП на природную среду возникла необходимость разработки нормативов состояния природных систем с одной стороны и различных форм техногенного воздействия с другой. Это должно быть основой для определения ущерба, расчета компенсационных выплат, затрат, направления и технологии формирования пост-техногенных ландшафтов. В настоящее время такой пакет документов отсутствует, как и правовое поле конструктивного решения промышленного освоения территорий.

Оценка негативных последствий антропогенной деятельности должна основываться на количественных показателях, призванных обеспечивать объективность таких оценок. В то же время бесспорно и то, что одинаковые критерии не могут применяться при оценке различных видов хозяйственной деятельности в разных природных и социально-экономических условиях. Тем более с позиций различных субъектов, использующих природные (экологические) ресурсы, эти оценки могут существенно различаться и их сложно формализовать в количественные показатели. Поэтому необходима разработка гибридных подходов, сочетающих объективные количественные методы с субъективными экспертными оценками, учитывающими интересы и предпочтения различных социальных групп населения. При этом основным критерием эффективности такой стратегии должна быть экосистемная стабильность ландшафта с сохранением или повышением его продуктивности на достаточно длительный (2–3 поколения людей) отрезок времени.

Для НПП предлагается сделать балльную (по пятибалльной шкале) оценку природной и хозяйственной ценности компонентов экосистемы, а также степень ее нарушенности. По сочетанию этих показателей определяется ущерб компонентам. Для примера взята только зона сильного воздействия НПП, а структура нарушений по компонентам и

Техногенные сукцессии фито- и зооценозов по типам ландшафтов и формам рельефа

Форма рельефа	Фоновое состояние	Техногенные ценозы
Ландшафт равнинный		
Выпуклая водораздельная	Лишайниковое редколесье Лемминг, бурозубки, очень редко	Мятликовые Лемминг, бурозубки, редко
Вогнутая водораздельная	Моховое редколесье Лемминг, мало	Осоково-ивняковые Лемминг, серые полевки, мало
Долина	Травянисто-кустарниковое редколесье Варакушка, чечетка, овсянка-крошка, серые и красные полевки, бурозубки, много	Травянистые кустарники Пеночки, серые и красные полевки, бурозубки, много
Пойма	Ивняково-луговые Серые полевки, бурозубки, много	
Ландшафт горный		
Выпуклая водораздельная	Лишайниково-травянистые Лемминг, бурозубки, очень редко	Мелкотравные Лемминг, бурозубки, редко
Склон крутой	Травянистые кустарники Пищуха, среднее	Травянистые Пищуха, редко
Склон пологий	Травянисто-мшистый ерниковый лес Красные полевки, бурозубки	Злаковые Серые полевки, бурозубки, редко
Долина	Травянистый лес Варакушка, чечетка, овсянка-крошка, пеночки, серые полевки, бурозубки, много	Травянисто-ивовые Пеночки, серые полевки, бурозубки, среднее
Пойма	Ивняково-луговые Серые полевки, бурозубки, много	

ущерба сравнивается с прибрежной полосой Богучанского водохранилища, где проявляются климатические изменения (табл. 4).

Природная ценность или значение экологического фактора определяется степенью воздействия на видовое разнообразие, фито- и зоопродуктивность с учетом межсезонных колебаний. Хозяйственная продукция – по выходу натуральной и товарной продукции с единицы территории. Примечательно сходство итоговых цифр оценки ущерба от разных форм техногенного воздействия в различных природных условиях (атмосферное загрязнение в лесотундре и воздействие водохранилища БoГЭC в южной тайге). Для сравнительной оценки ущерба от разных форм техногенного воздействия в различных

природных условиях использованы результаты наших исследований по оценке последствий воздействия БoГЭC на компоненты природной среды и объекты хозяйственной деятельности, попадающие в зону воздействия БoГЭC [Отчет..., 2007б].

На обоих объектах ценность воды и ущерб от снижения ее качества являются преобладающими по сравнению с таковыми для других компонентов природной среды. В южной тайге закономерно увеличивается хозяйственное значение почвы и растительности, а диких животных снижается. Аналогичные подходы могут использоваться и при оценке ущерба местному населению и культурно-историческому наследию, попадающему в зону техногенного воздействия.

Сравнительная балльная оценка ущерба компонентам экосистемы НПП и БоГЭС (1 – природная, 2 – хозяйственная)

Компонент	НПП				БоГЭС				всего		
	ценность		нарушение		ценность		нарушение				
	1	2	1	2	1	2	1	2			
Атмосфера	5	1	5	5	25	5	3	2	10	6	16
Недра	1	5	4	4	4	20	2	2	2	4	8
Вода	5	5	4	4	20	20	5	5	25	25	50
Почва	5	1	3	3	15	3	4	4	20	16	36
Растительность	4	2	4	4	16	8	4	4	16	16	32
Животные	2	5	4	4	8	20	2	5	10	10	20
Итого					93	101			98	102	200

П р и м е ч а н и е. Природная ценность принята равной для районов НПП и БоГЭС.

После получения балльных показателей и выявления приоритетов оценки ущерба по компонентам, для каждого из них определяются количественные показатели. Посредством процедуры согласования между заинтересованными сторонами выявляются пороговые значения допустимого воздействия на систему и ее компоненты. Это служит основой принятия последующих решений относительно масштабов антропогенного воздействия: направление, размеры и форма реализации компенсационных и ограничительных мероприятий, порядок и условия взыскания штрафных санкций, планирование комплексного использования техногенно-нарушенных ландшафтов. Предлагаемый методический подход следует рассматривать как очередной шаг, направленный на разработку объективной количественной оценки ущерба, наносимого промышленной деятельностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в течение 12 лет исследования воздействия НПП на лесотундровую растительность позволили выявить основные закономерности формирования и функционирования фонового состояния растительности. Комплексная оценка нарушенных территорий дала возможность зонировать территорию по степени влияния выбросов на деградацию компонентов биоценоза. Выделена техногенная пустошь и достаточно устойчивые к выбросам фоновые и вновь сформированные сообщества. Разработанная и апробированная система мониторинговых участков и методика наблюдений позволяют корректно отслеживать сукцессионные и сезонные изменения лесотундровых сообществ, вызванные природными и антропогенными факторами. Полученные материалы могут служить основой для разработки мероприятий по созданию устойчивых к выбросам ценозов.

Сформированная методологическая основа наблюдений НПП позволяет переходить к созданию пакета нормативных документов, регламентирующих взаимоотношения между природопользователями и экологическими службами.

ЛИТЕРАТУРА

- Абаимов А. П. Лиственничные леса и редколесья севера Сибири (Разнообразие, особенности экологии и лесообразовательного процесса): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 1997. 32 с.
- Меншиков С. Л. Закономерности трансформации предтундровых и таежных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения и пути снижения наносимого ущерба: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург, 2004. 43 с.
- Меншиков С. Л., Ившин А. П. Закономерности трансформации предтундровых и таежных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 290 с.
- Шишкин А. С. Ландшафтно-экологическая организация местообитаний лесных охотничьих животных в Сибири: автореферат дис. ... д-ра биол. наук. Красноярск, 2006. 44 с.
- Отчет НИР "Разработка системы мониторинга состояния окружающей среды в зоне воздействия предприятий Заполярного филиала ОАО ГМК "Норильский никель" по Госконтракту № 52/2008. Ин-т леса. Красноярск, 2009. 213 с.
- Отчет НИР "Комплексная оценка состояния и мониторинг природной среды с целью выявления количественных критериев допустимого воздействия на ее компоненты" по договору № 192-2092/06. Ин-т леса Красноярск, 2007а. 156 с.
- Отчет НИР "Предварительная оценка воздействия Богучанской ГЭС на окружающую природную среду". Ин-т леса. Красноярск, 2007б. 179 с.

Principles of Research Organization and Methodology of Natural Ecosystems in the Regions under Extreme Technogenic Impact

A. S. SHISHIKIN, A. P. ABAIMOV, A. A. ONUCHIN

*V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28
E-mail: shishikin@ksc.krasn.ru*

A review of the studies carried out by the Institute of Forestry in Norilsk industrial region was presented. The impact of mining and metallurgical industry on forest-tundra vegetation was discussed. Several methodological approaches concerning research organization and monitoring of the environment in the regions under extreme technogenic impact, as well as estimation of damage from industrial objects, were suggested. Zoning of the territory by the level of technogenic impact was done according to degradation of vegetation cover and other biogeocenoses components. The territory was divided into several areas: technogenic wasteland, zones with technogenic biogeocenoses, moderate and mildly disturbed ecosystems.

Key words: environmental monitoring, structure of technogenic landscapes, topoecological profiles, industrial impact zoning, Norilsk industrial region.

