

УДК 911.2+581.5+504.54

А.П. ГУСЕВ

ФИТОИНДИКАТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

It is shown in the work how under the impact of chemical pollution in forest ecosystems is transformed. We attempted to estimate affection various components of vegetation cover dependent on the level of chemical pollution (on example Gomel chemical plant). Plant indication-method of chemical pollution of air is developed. The territory and dynamics of atmospheric air pollution for chemical plant are identified by phytoindication.

В мировой практике для оценки загрязнения воздуха широко используются методы фитоиндикации [1]. Существенной проблемой является изменчивость индикационных показателей в различных ландшафтно-экологических условиях. Ландшафтно-экологический подход в фитоиндикации (фитоиндикаторы рассматриваются в качестве подсистемы или элемента геосистемы) позволяет разделять влияние загрязнения воздуха от влияния совокупности природных и антропогенных факторов, которые обуславливают вариабельность свойств фитоиндикаторов [2, 3].

Степень загрязнения атмосферы и его воздействия на растительность определяется сравнением эталонных (фоновых) геосистем с одноранговыми геосистемами, находящимися в зоне влияния источника загрязнения (техно-генными модификациями). Основной метод изучения - градиентный анализ, заключающийся в сопоставлении характеристик растительности и уровня загрязнения (нагрузки). Комплексный градиент загрязнения может быть представлен в виде топоклина, т. е. изменения растительности в зависимости от расстояния до источника выбросов [3].

Задачей наших исследований являлось выявление фитоиндикаторов, позволяющих оценить трансформацию лесного ландшафта в зоне химического

производства на примере Гомельского химического завода (ГХЗ) - одного из крупнейших предприятий химической промышленности Беларуси. Завод производит более 20 видов химической продукции, в том числе серную и фосфорную кислоты, минеральные соли (аммофос, суперфосфат, азотно-фосфорно-калийные удобрения), фтористый алюминий, криолит и т. д. Производственные выбросы характеризуются высокой токсичностью и содержат аммиак, пары серной кислоты, аммофос, соединения фтора, сернистый ангидрид. Несмотря на предпринимаемые природоохранные меры, вблизи завода создается уровень загрязнения атмосферы, достаточный для повреждения лесных экосистем.

Объект исследований - лесные геосистемы, находящиеся в зоне влияния ГХЗ. Природный ландшафт территории представлен плоско-волнистой надпойменной террасой, сложенной древнеаллювиальными отложениями, с сосновыми, широколиственно-сосновыми орляково-кисличными лесами. Исследовалась растительность плакорных фаций (сосняки орляково-кисличные на дерново-слабоподзолистых песчаных почвах).

В ходе полевых работ были выполнены геоботаническая съемка растительного покрова (на пробных площадках 10x10 м) и химическое опробование вод и грунтов, изучены факторы техногенного воздействия на лесные ландшафты вблизи ГХЗ. Биоморфологические показатели хвои сосны (средняя длина, возраст, некрозы) изучались на модельных деревьях, как правило отдельно стоящих (5-10 деревьев в каждой точке наблюдения). Пробные площадки закладывались по профилю, ориентированному в направлении доминирующей составляющей розы ветров. Для оценки индикационной пригодности тех или иных показателей растительности было проанализировано их распределение по градиенту химической нагрузки, величина которой обратно пропорциональна расстоянию от источника выбросов. Фитоиндикаторы изучались на двух уровнях: популяций растений и фитоценозов.

Химическое воздействие вызывает изменения различных популяций растений, наиболее чувствительными из которых являются деревья (табл. 1), в частности хвойные породы, среди которых и сосна (*Pinus silvestris* L.) [1]. Постоянное загрязнение является губительным для них: в хвое накапливаются соединения серы, происходит изреживание кроны, ослабление дерева в целом и его отмирание (часто при участии энтомовредителей). Угнетенное состояние популяции сосны диагностируется усыханием взрослых деревьев, поврежденностью хвои, отсутствием подроста. Наблюдается зависимость средней длины хвои, ее возраста, годового линейного прироста побегов, численности хвои на 10 см побега от расстояния до источников выбросов. В зоне непосредственного воздействия (до 1 км) средняя длина хвои уменьшается в 1,5 раза, численность - в 2-5 раз, годовой линейный прирост побегов - в 2-3 раза по сравнению с фоновыми лесами. Достоверные изменения биоморфологических показателей хвои прослеживаются на удалении от источников выбросов на расстояние до 2 км. Наиболее чувствительными показателями являются возраст хвои и величина линейного прироста побегов.

Деградация древесного яруса способствует увеличению химического воздействия на нижние ярусы. Сомкнутый древостой защищает подлесок и подрост от непосредственного действия выбросов. При разрушении древостоя нижние ярусы «открываются» и нагрузка на них усиливается. Такая ситуация наблюдается на расстоянии менее 1 км от источника выбросов, где химическое воздействие вызвало деградацию древесного яруса, значительные повреждения незащищенного подлеска, угнетение кустарничков, трав и мхов. Особо чувствителен к загрязнению подрост, его численность здесь сокращается в 9 раз, а видовое богатство - в 2,2 раза по сравнению с фоновыми лесами (причем доля здорового подроста составляет всего лишь 20 %). В травяном ярусе доминирует вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.) и иван-чай узколистый (*Chamaenohon angustifolium* (L.) Scop.). На расстоянии 1-2 км от источника выбросов уровень химического воздействия достаточен

Изменение показателей деградации растительности по градиенту химического воздействия

Показатель	Расстояние от источника выбросов				
	<1 км (10)*	1–1,5 (10)	1,5–2 (10)	2–2,5 (10)	2,5–3 (5)
Древесный ярус (Pinus silvestris L.)					
Сухостой, %	27,5	25,0	14,3	11,8	4,8
Возраст хвои, лет	До 1	1,2	1,5	2	2,7
Средняя длина годового линейного прироста, см	7,6	11,5	20,1	23,5	29,5
Подрост и подлесок					
Число видов	6	11	11	12	13
Общая численность, шт./га	960	2800	5600	7200	8600
Из них:					
повреждено, %	46,9	20,4	8,2	5,0	0
усохло, %	30,2	17,1	10,4	7,8	3,5
Quercus robur L.					
Численность, шт./га	250	350	680	850	800
Из них:					
повреждено, %	69,0	38,5	6,2	0	0
усохло, %	26,0	16,1	10,1	5,0	5,0
Sorbus aucuparia L.					
Численность, шт./га	150	300	900	1300	1100
Из них:					
повреждено, %	70,0	45,0	10,5	0	0
усохло, %	30,0	15,0	12,5	0	0
Corylus avellana L.					
Численность, шт./га	–	50	400	1100	2900
Из них:					
повреждено, %	–	80,0	25,0	0	0
усохло, %	–	20,0	0	0	0

Примечание. * В скобках приведено число пробных площадок

для повреждения сосны, но мал для существенных повреждений лиственных пород. Поэтому разрушенный сосновый древостой интенсивно заменяется здесь устойчивыми видами - березой (*Betula pendula* Roth.), дубом (*Quercus robur* L.) и осинкой (*Populus tremula* L.). В то же время численность подраста составляет 20-40 %. В травяном ярусе появляются такие характерные для ненарушенных лесов виды, как *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn., *Convallaria majalis* L., *Melampyrum nemorosum* L., *Trollius europaeus* L. и др. На расстоянии более 2 км от источника выбросов уровень химического воздействия не может вызвать сильные повреждения соснового древостоя, поэтому видовая и экологическая структура растительности близка к фоновой, а воздействие проявляется в основном в биоморфологических показателях хвои сосны.

На фитоценотическом уровне индикаторами загрязнения выступают видовая и экологическая структуры, спектр жизненных форм. Под воздействием загрязнения растительный покров претерпевает изменения, выражающиеся в смене видового состава и спектра жизненных форм фитоценозов по градиенту воздействия (табл. 2). Так, по мере приближения к источнику выбросов появляются терофиты, снижается доля фанерофитов, повышается роль гемикриптофитов. Спектр жизненных форм растительности, наблюдаемый вблизи источника выбросов, характерен для нарушенных олуговевших лесов [4].

Изменение структуры растительного покрова по градиенту химического воздействия

Показатель	Расстояние от источника выбросов				
	<1 км	1-1,5	1,5-2	2-2,5	2,5-3
Спектр жизненных форм, % от числа видов					
Терофиты	10,5	5,4	0	0	0
Геофиты	10,5	16,2	16,7	19,2	16,0
Хамефиты	0	2,7	6,7	7,7	8,0
Гемикриптофиты	42,0	48,7	43,3	30,8	28,0
Фанерофиты	37,0	27,0	33,3	42,3	48,0
Представленность диагностических видов классов растительности, % от числа видов					
<i>Artemisieta vulgaris</i> Lohm., Prsg. et Tx. in Tx. 1950 em Kopecky in Hejny et al. 1979	5,3	5,4	0	0	0
<i>Agropyretea repentis</i> Oberd., Th. Muller et Gors in Oberd. et al. 1967	10,5	5,4	0	0	0
<i>Epilobietea angustifolii</i> R. Tx. et Prsg. in R. Tx. 1950	10,5	10,8	13,3	7,7	4,0
<i>Molinio-Arrhenatheretea</i> R. Tx. 1937 em. R. Tx. 1970	21,1	32,4	13,3	3,8	0
<i>Vaccinio-Piceetea</i> Br.-Bl. in Br.-Bl., Siss. et Vlieger 1939	5,3	5,4	10,0	23,1	36,0
<i>Querco-Fagetea</i> Br.-Bl. et Vlieger in Vlieger 1937 em. Klika 1939	5,3	10,8	16,7	30,8	44,0

Растительность сосняков зоны влияния ГХЗ включает виды нескольких классов растительности, соотношение которых позволяет судить об уровне нарушенности этих экосистем (см. табл. 2). Сообщества ненарушенных сосновых лесов характеризуются высокой представленностью видов лесных классов *Querco-Fagetea* Br.-Bl. et Vlieger in Vlieger 1937 em. Klika 1939 и *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl., Siss. et Vlieger 1939 эколого-флористической классификации Браун-Бланке [5]. Описания лесов, находящихся на расстоянии более 2 км от источника выбросов, диагностированы нами как ассоциация *Querco roboris-Pinetum* J. Mat. 1981 союза *Dicrano-Pinion* Lbb. 1933 порядка *Cladonio-Vaccinietalia* K.-Lund 1967 класса *Vaccinio-Piceetea*.

Под воздействием химического стресса участие видов лесных классов уменьшается, а возрастает участие видов синантропных классов (*Artemisieta vulgaris* Lohm., Prsg. et Tx. in Tx. 1950 em Kopecky in Hejny et al. 1979; *Agropyretea repentis* Oberd., Th. Muller et Gors in Oberd. et al. 1967), а также луговой растительности (*Molinio-Arrhenatheretea* R. Tx. 1937 em. R. Tx. 1970). Установлено, что фитоценозы, находящиеся на расстоянии до 1,5 км от источника выбросов, характеризуются значительной представленностью видов класса луговой растительности *Molinio-Arrhenatheretea*; доля видов лесных классов составляет всего лишь 10-15 %.

Результаты, полученные на основе выполненных исследований, показывают, что индикаторами химической трансформации лесного ландшафта служат: характеристики состояния популяции сосны; видовой состав, численность и поврежденность подроста и подлеска; спектр жизненных форм растительности и ее фитоценотическая структура. Комплексный анализ этих показателей позволяет выполнить экспресс-оценку состояния лесного ландшафта, находящегося в условиях химического загрязнения атмосферы.

1. Биоиндикация загрязнения наземных экосистем / Под ред. Р. Шуберта. М., 1988.

2. Дончева А.В., Казакова Л.К., Калущков В.Н. Ландшафтная индикация загрязнения природной среды. М., 1992.

3. Гусев А. П. Ландшафтно-экологическая индикация техногенных нарушений лесных геосистем. Гомель, 2000.

4. Гусев А. П. Лесные экосистемы в условиях антропогенного воздействия (ландшафтно-экологические исследования). Гомель, 2001.

5. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. Wien; New York, 1964.

Поступила в редакцию 02.02.06.

Андрей Петрович Гусев - кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры экологии, декан геолого-географического факультета ГГУ им. Ф. Скорины.