

комплексов регионов. Используемый в работе подход предполагает возможность введения в дальнейшем новых или более подробных показателей и большую пространственную детализацию.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория статистики / Под ред. Р.А. Шмойловой. М.: Финансы и статистика, 2003. С. 117-125.
2. Чибилев А.А., Мячина К.В. Геоэкологические последствия нефтегазодобычи в Оренбургской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 134 с.

*Наталья Василевна КОКОРИНА —  
доцент кафедры экологии,  
кандидат сельскохозяйственных наук*

*N\_Kokorina@ugrasu.ru;*

*Алексей Михайлович КАСАТКИН —  
зав. лабораторией экологии*

*A\_Kasatkin@ugrasu.ru;*

*Юрий Михайлович ПОЛИЩУК —  
зав. кафедрой экологии, доктор*

*физико-математических наук, профессор*

*Yu\_Polishchuk@ugrasu.ru—*

*Югорский государственный университет*

УДК 504.06; 633.877; 553.98

## **БИОИНДИКАЦИЯ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ СЖИГАНИИ ПОПУТНОГО ГАЗА В ФАКЕЛАХ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ В СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

## **BIOINDICATION OF ATMOSPHERIC POLLUTION AT GAS FLARING ON OIL FIELDS IN MIDDLE TAIGA OF WESTERN SIBERIA**

**АННОТАЦИЯ.** Изучены вопросы биоиндикации атмосферных загрязнений в условиях средней тайги Западной Сибири. Отбор образцов производился на 17 ключевых участках, находящихся на расстоянии 0,4-16,5 км от факела для сжигания попутного газа. Установлены наиболее информативные биоиндикационные показатели сосны сибирской кедровой, с использованием которых выявлена зона воздействия факела на Приобском месторождении.

**SUMMARY.** Problems of atmospheric pollution bioindication in the conditions of West-Siberian middle taiga are studied. Sampling was made on 17 key sites which are 0.4-16.5 km away the flare. The most informative bioindicators of cedar trees were found which helped to reveal the flare impact zone at Priobskoye oil field.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Атмосферное загрязнение, биоиндикация, сжигание попутного газа, средняя тайга Западной Сибири.

**KEY WORDS.** Atmosphere pollution, bioindication, gas flaring, West-Siberian middle taiga.

**Введение.** Современная практика оценки воздействий техногенного загрязнения атмосферы на природную среду опирается на санитарно-гигиенические

нормативы, основанные на использовании предельно допустимых концентраций (ПДК) химических загрязняющих веществ. Однако такой формальный подход к оценке воздействий на ландшафтную сферу с ее совокупным биоразнообразием не учитывает реакцию живых организмов на химическое загрязнение воздушной среды и потому не является обоснованным. Поэтому перспективным рассматривается использование методов биологического контроля окружающей среды, которые дают объективные интегральные оценки состояния природной среды. Биологические методы контроля качества среды не требуют предварительной идентификации конкретных химических соединений, достаточно просты в исполнении и позволяют вести контроль качества среды в непрерывном режиме.

Сжигание попутного газа в факелах является существенным фактором, воздействие которого проявляется на больших расстояниях от источников выбросов загрязняющих веществ. При сжигании попутного газа на нефтяных месторождениях в атмосферу в больших объемах выбрасываются сажа, окислы углерода и азота, углеводороды [1]. Опасность продуктов сжигания связана с кумулятивностью действия и отдаленным биологическим эффектом. В этой ситуации наиболее эффективным методом комплексного анализа степени аэротехногенного воздействия на лесные экосистемы, включающим оценку отдаленных эффектов, является биоиндикация.

Проведенные исследования в районах действия источников эмиссии различной мощности [2], [3], [4] показывают, что одним из основных факторов, усиливающим изреживание крон хвойных деревьев, является атмосферное загрязнение. Так, например, в условиях умеренного загрязнения в молодых древостоях сосны около 80% деревьев изрежены более чем на 30%, а 16% из них полностью лишены хвои.

Исследование долгоживущих видов с широким ареалом дает возможность оценить хроническую имиссию токсикантов в экосистемы. Наиболее изученным тест-объектом биоиндикации среди хвойных пород деревьев является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]. В Ханты-Мансийском автономном округе сосновые леса занимают большую площадь (56%), однако на значительных территориях округа лесные насаждения представлены темнохвойными породами — на сосну сибирскую приходится 16%, на ель и пихту — 9% площади [10]. В связи с этим целью нашей работы является оценка воздействия сжигаемого попутного нефтяного газа на природную среду посредством использования индикаторных признаков темнохвойных пород — сосны сибирской кедровой (*Pinus sibirica* Du Tour) и ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.).

**Методика исследований.** Исследования проводились в период с 2004 по 2008 гг. на территории Приобского месторождения нефти. Условия роста деревьев и их состояние изучалось на ключевых участках разной степени удаленности от источника выбросов загрязняющих веществ в сходных эколого-фитоценологических условиях. Исследования проводились в последней декаде августа и в начале сентября, когда формирование новых побегов и хвои полностью завершается, окраска хвои стабилизируется, а физиологически обусловленный осенний опад хвои старшего возраста еще не наступает. Ключевые участки выбирались в соответствии с преобладающими в течение года ветрами — в восточном и южном направлениях.

Уровень дефолиации деревьев является широко используемым показателем состояния деревьев в системе мониторинга лесных экосистем. Этот показатель наиболее пригоден для оценки ассимиляционной способности крон. В ходе работы

проведены обследования территории маршрутным методом, на каждом ключевом участке оценивалось по 50 деревьев ели сибирской и сосны сибирской, рассчитывались индексы состояния древостоя и лесообразователей по А.С. Алексееву [11].

Для оценки морфометрических показателей на каждом ключевом участке производился отбор побегов 2-го порядка ветвления из средних частей крон с 20 деревьев одного возраста (60-80 лет) сосны сибирской и ели сибирской. При одинаковом содержании поллютантов в почве их концентрация в тканях различных видов растений может отличаться в несколько раз, что обуславливает необходимость видоспецифичного и органоспецифичного отбора проб [12]. В связи с этим расчет биоиндикационных показателей производился для побегов разных лет жизни: оценивалась охвоенность (масса хвои на единицу длины побега) и масса 100 шт. хвоинок первого и второго года жизни для сосны сибирской и ели сибирской.

Известно, что хвоя разных возрастов различно реагирует на атмосферное загрязнение. По мнению Шабалова Н.М., Залесова С.В. [9], наиболее сильно поллютанты влияют на морфометрические показатели хвои старших возрастов — при постепенном накоплении поллютантов в хвое уменьшается количество ассимилирующей фитомассы и происходит падение содержания фотосинтетических пигментов. Другие исследователи выдвигают положение о наибольшем поражении поллютантами хвои в начале ее развития, когда кутикула и восковое покрытие минимальны [12]. С целью определения информативности показателей сосны сибирской и ели сибирской на основе отбора проб с разновозрастных побегов проведено сравнение средних значений массы хвои и охвоенности побегов текущего и прошлого года с использованием критерия Стьюдента.

Антропогенные стрессоры часто обуславливают сокращение продолжительности жизни органов и растения в целом, ускоренное прохождение стадий развития, укорочение годового цикла. При воздействии аэрополлютантов количество отмирающей хвои увеличивается, в связи с чем средний возраст хвои в насаждении сокращается [12], [13], [14]. В ходе исследования нами определялась продолжительность жизни хвои, которая является признаком неспецифической биоиндикации неблагоприятного состояния деревьев.

В целом в качестве индикаторов состояния природной среды на каждом ключевом участке исследовалась совокупность показателей, характеризующих состояние деревьев и древостоев: индекс состояния древостоя, индексы состояния лесообразователей — сосны сибирской и ели сибирской, охвоенность побегов текущего и прошлого года обеих пород, масса 100 шт. хвоинок первого и второго года жизни сосны сибирской и ели сибирской, продолжительность жизни хвои и длина прироста побегов ели сибирской.

Полученные с разных ключевых участков данные измерений биоиндикационных показателей обрабатывались с помощью методов кластерного анализа для определения однородных групп объектов по методике, изложенной в [15]\*. Для пространственного анализа полученных групп, а также для отображения информации на космоснимке использовалась геоинформационная система (ГИС) ArcGIS ArcView 9.3.

**Результаты и их обсуждение.** Как отмечалось выше, информативность биоиндикационных показателей зависит от возраста хвои. В связи с этим измерения охвоенности и массы хвои производились для проб, отобранных с побегов приростов текущего и прошлого годов. Статистически значимые различия между средними

---

\* Авторы выражают благодарность Г.А. Кочергину за помощь в обработке и анализе данных.

показателями были установлены для охвоенности побегов и массы хвои текущего и прошлого годов сосны сибирской. Различия показателей массы хвои и охвоенности побегов разного возраста для ели сибирской статистически незначимы.

Графическое представление динамики данных показывает, что наиболее четко уменьшение степени загрязнения по мере удаления от факельной установки характеризуют побеги первого года жизни сосны сибирской: охвоенность побегов и масса хвои демонстрируют рост при увеличении расстояния до источника загрязнения — от 0,760 г/см до 0,947 г/см и от 2,971 до 4,196 г соответственно (рис. 1).

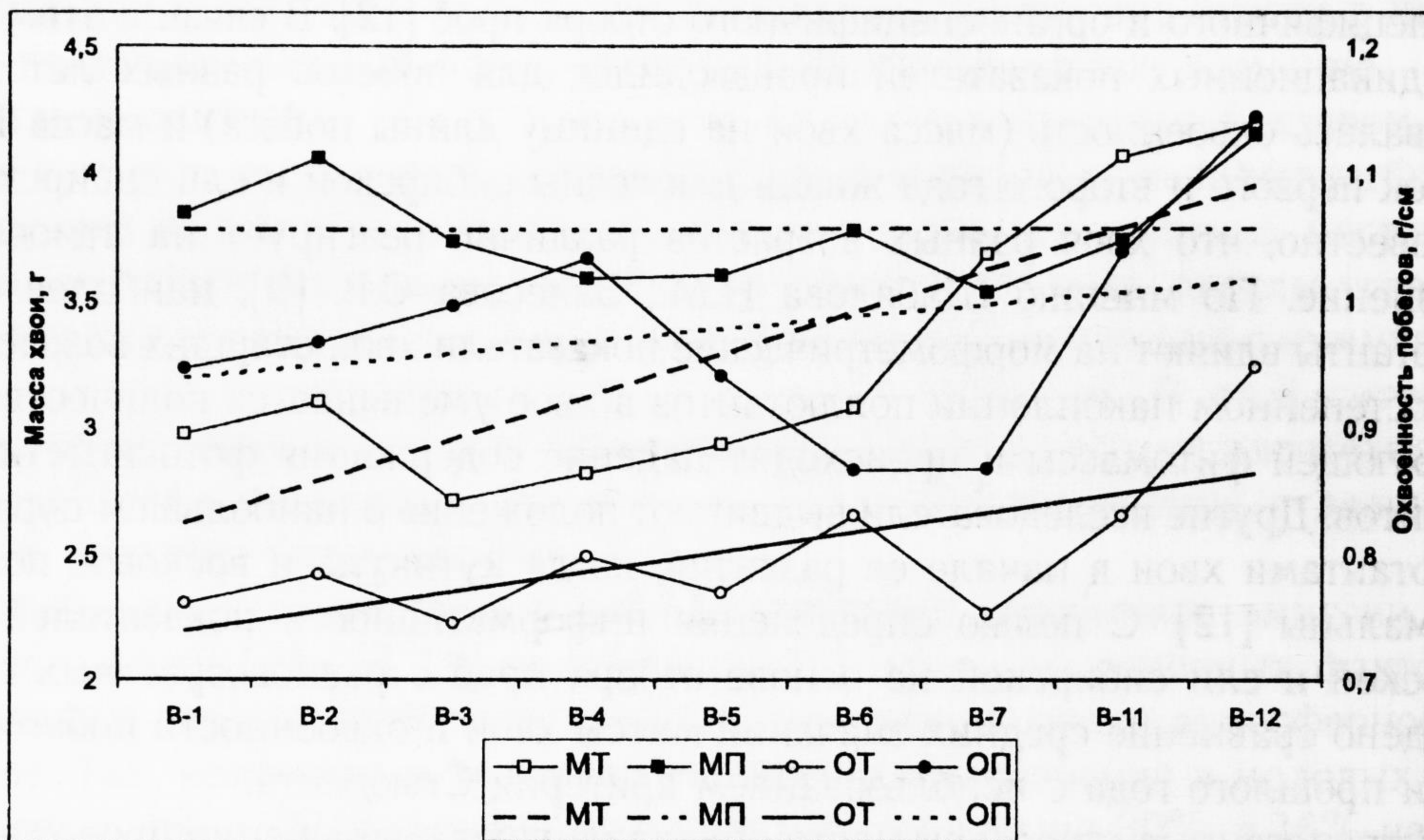


Рис. 1. Зависимость массы хвои и охвоенности побегов сосны сибирской от расстояния до источника загрязнения.

Обозначено: B1 — 0,4 км; B2 — 0,7 км; B3 — 1 км; B4 — 1,3 км; B5 — 1,7 км; B6 — 2 км; B7 — 4,5 км; B11 — 8,5 км; B12 — 16,4 км в восточном направлении

Показатели массы хвои и охвоенности побегов другого лесобразователя — ели сибирской не имеют столь выраженных трендов изменения по мере удаления от стационарного источника загрязнения (рис. 2).

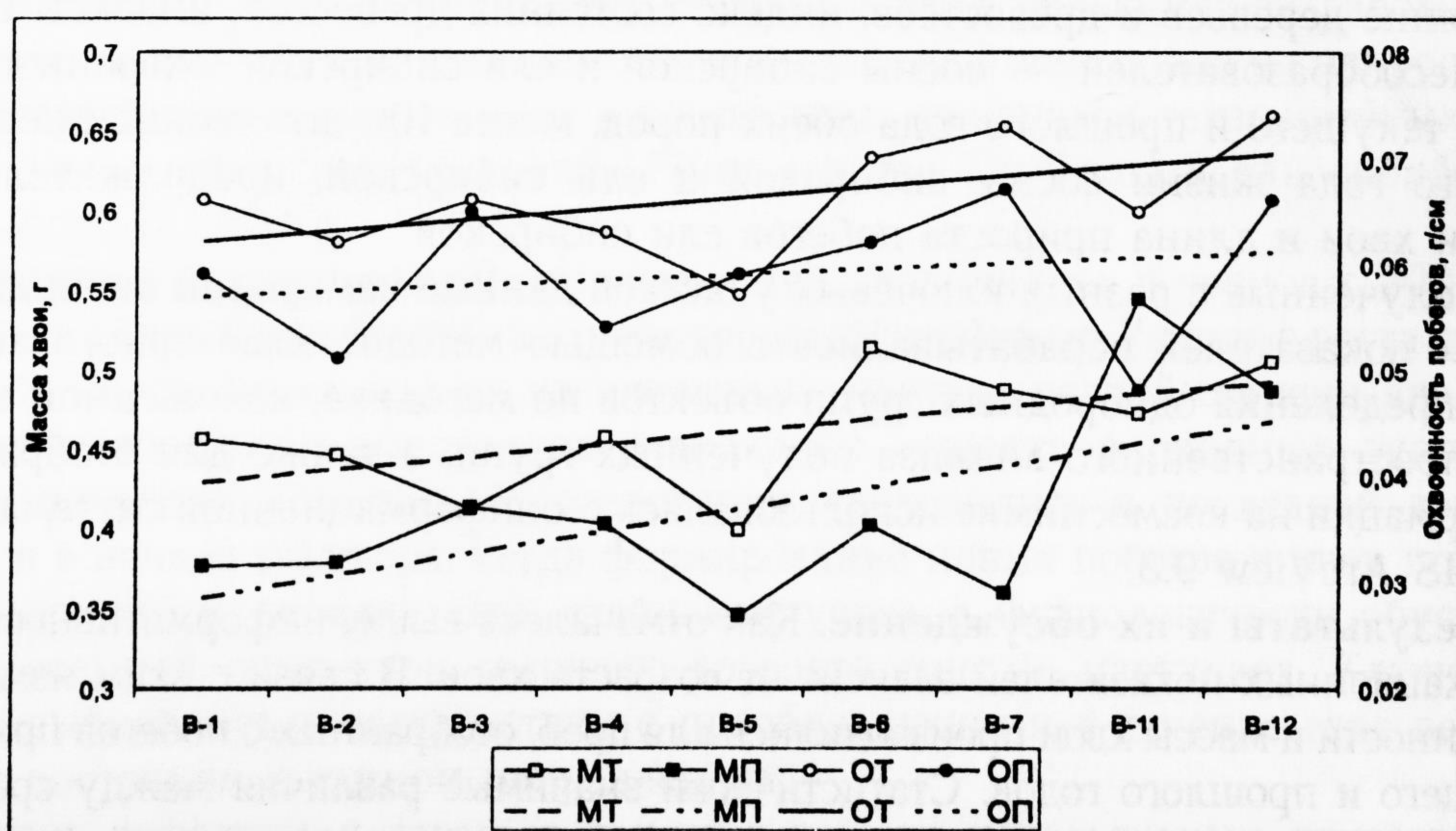


Рис. 2. Зависимость массы хвои и охвоенности побегов ели сибирской от расстояния до источника загрязнения

Показатели охвоенности побегов в ряде работ [4], [7], [12] рекомендуются как наиболее индикационно значимые. Недостатком использования данного показателя в мониторинге состояния окружающей среды является его трудоемкость. Она определяется необходимостью проведения достаточно большого количества измерений ( $N=30\text{--}40$ ) и значительным временем на подготовку проб к взвешиванию. Увеличение объема выборки обусловлено высокими значениями коэффициентов вариации, характеризующих внутривидовую изменчивость признака.

Следует отметить, что показатели охвоенности и массы хвои ели в сравнении с сосной варьируют в большей степени: коэффициент вариации охвоенности побегов первого года жизни ели сибирской составляет 34-38%, сосны сибирской — 25-27%. При величине коэффициента вариации до 10% изменчивость оценивается как слабая, при 11-25% — как средняя, при достижении значения более 25% трактуется как сильная [16]. Для сопоставления изменчивости морфометрических признаков древесных пород более подходящей является эмпирическая шкала, предложенная С.А. Мамаевым (1969). Эта шкала отражает закономерности формообразования древесных растений, определяющие амплитуду изменчивости, и имеет практическое значение [17]. Согласно данной шкале, охвоенность побегов сосны демонстрирует повышенный уровень изменчивости, а ели — высокий.

Анализ значений дисперсий и коэффициентов вариации массы хвои показывает большую однородность, т.е. меньшую изменчивость признака по сравнению с охвоенностью побегов: коэффициенты вариации массы годичной хвои обеих пород варьируют в пределах от 11 до 17%. В связи с этим объем выборки при использовании показателя массы 100 хвоинок при биоиндикационных исследованиях можно ограничить 6-8 измерениями, что дает возможность снизить временные затраты на камеральную обработку данных.

Масса хвои отражает процесс накопления органических веществ, ее уменьшение в зонах поражения свидетельствует о снижении активности фотосинтеза [12]. Для оценки статистической связи между двумя группами данных индикационных показателей был произведен расчет коэффициентов корреляции (табл. 1).

Таблица 1

**Коэффициенты корреляции биоиндикационных показателей темнохвойных пород (сосна сибирская/ель сибирская)**

	Масса хвои текущего года (МТ), г	Масса хвои прошлого года (МП), г
Охвоенность побегов текущего года (ОТ), г/см	0,77***/0,87***	0,29/0,47
Охвоенность побегов прошлого года (ОП), г/см	0,34/0,63*	0,12/0,10

\* —  $p < 0,05$ ; \*\* —  $p < 0,01$ ; \*\*\* —  $p < 0,001$  — уровни значимости.

Был установлен высокий уровень зависимости между охвоенностью побегов и массой хвои приростов текущего года обеих древесных пород, в то время как морфометрические признаки, характеризующие ассимиляционные органы старшего возраста, такой статистической связи не демонстрировали (рис. 3).

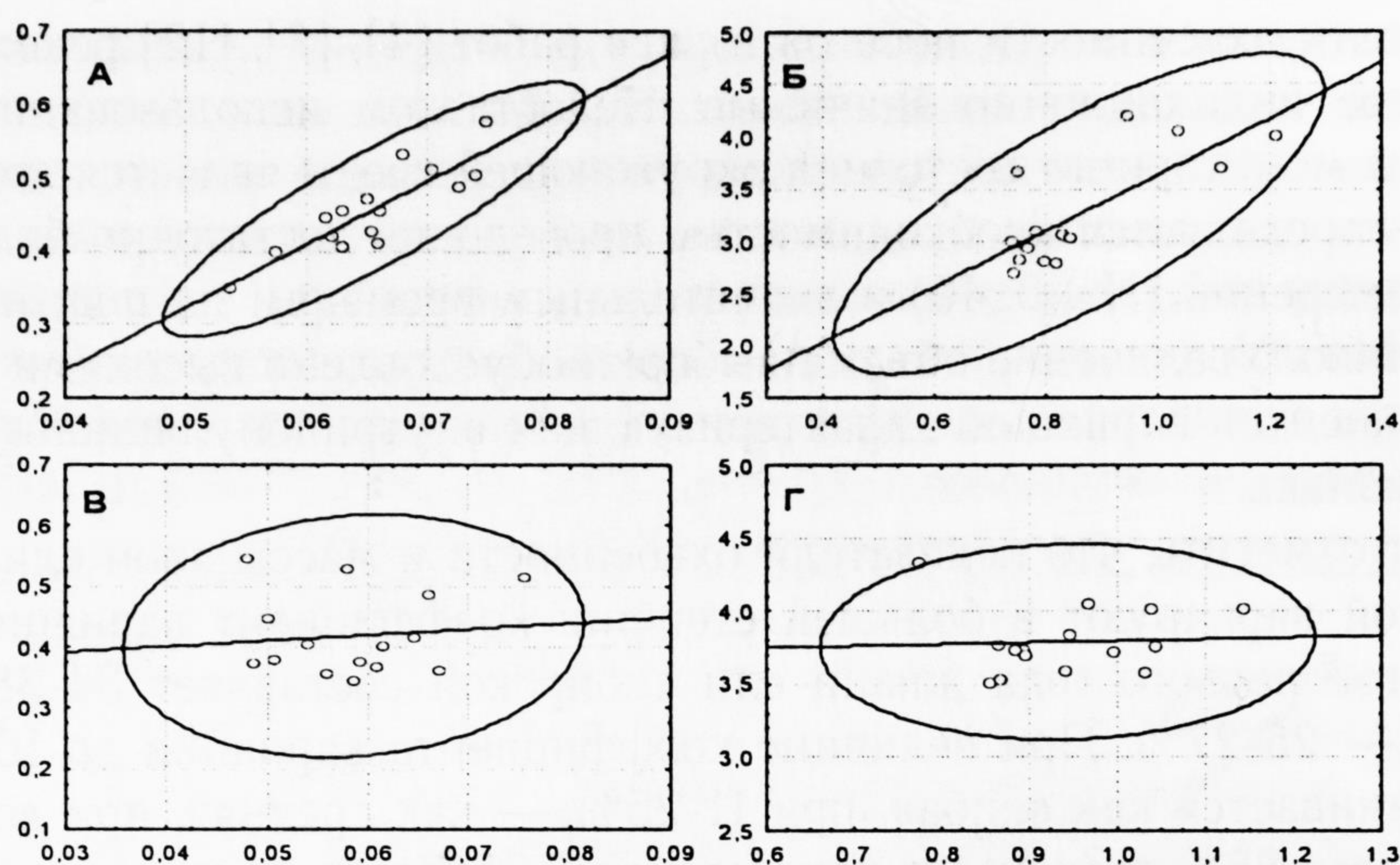


Рис. 3. Зависимость охвоенности побегов (г/см) от массы хвои (г):  
 А — текущего года ели сибирской; Б — текущего года сосны сибирской;  
 В — прошлого года ели сибирской; Г — прошлого года сосны сибирской

Выявленные значимые высокие коэффициенты вариации свидетельствуют о возможности использования при оценке атмосферного загрязнения показателя массы хвои текущего года сосны сибирской в качестве самостоятельного биоиндикационного признака, который по сравнению с охвоенностью побегов более доступен для измерения.

Задача по определению зон загрязнения при воздействии выбросов от факельной установки по сжиганию попутного нефтяного газа на лесные массивы решалась с помощью методов кластерного и пространственного анализа. Кластерному анализу был подвергнут массив данных, включающий два выявленных нами наиболее информативных признака — охвоенность побегов и массу хвои текущего года сосны. Результаты зонирования территории, примыкающей к стационарному источнику загрязнения, представлены на рис. 4. Ключевые участки распределены на две зоны — зону выраженного уровня воздействия и зону с отсутствием выраженного воздействия.

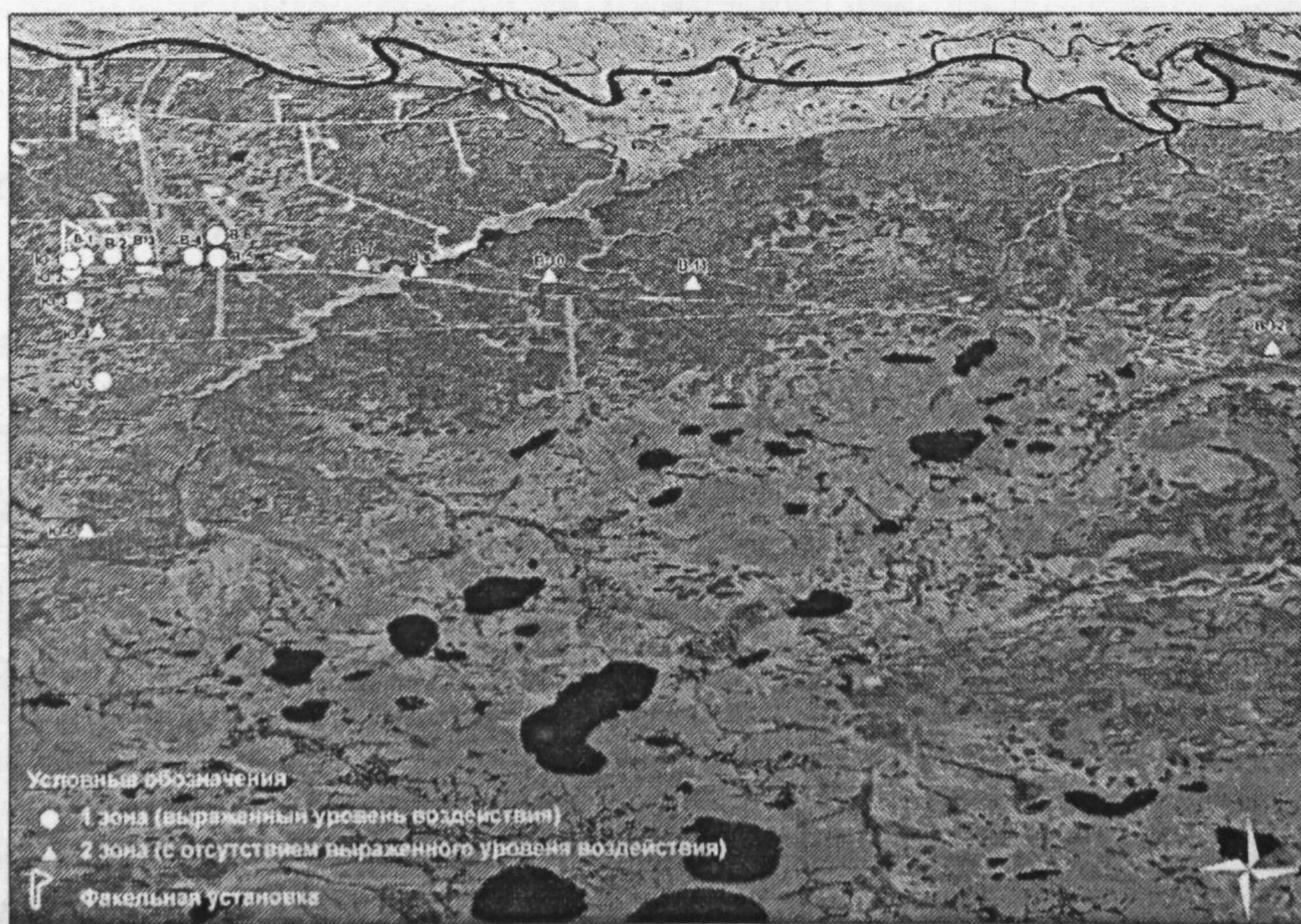


Рис. 4. Результаты комплексного анализа многомерных данных на основе сочетания кластерного и пространственного анализа

Всего были проанализированы данные с 17 ключевых участков: 6 — в южном и 11 — в восточном направлениях от стационарного источника загрязнения. В восточном направлении ключевые участки В-1 — В-6, расположенные на расстоянии до 2 км от факельной установки, отнесены в зону выраженного уровня воздействия, а участки В-7 — В-12 отнесены во вторую зону (4,5-16,5 км от факела) по силе воздействия атмосферного загрязнения на древостой. В южном направлении в зону с выраженным уровнем воздействия включены три ближайших к факельной установке участка, находящиеся на расстоянии до 1,4 км. Полученное графическое представление результатов дает основание утверждать, что по мере удаления от источника выбросов степень нагрузки на древостой постепенно ослабевает. Сравнение рассчитанных по каждой зоне средних биоиндикационных показателей привело к выводу, что масса хвои и охвоенность побегов сосны текущего года сибирской в первой зоне — зоне выраженного уровня воздействия — на 30-35% меньше, чем во второй.

**Заключение.** Оценка изменений массы хвои и охвоенности побегов в зависимости от расстояния до источника загрязнения свидетельствует о наибольшей пригодности для практических целей биоиндикации в качестве тест-объекта сосны сибирской кедровой (*Pinus sibirica* Du Tour) при соблюдении условий органоспецифичного отбора проб — он должен вестись с побегов прироста текущего года.

Использование ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в темнохвойных насаждениях в качестве тест-объекта биоиндикации нерационально, поскольку требует значительного увеличения объема выборки в силу вариабельности морфометрических признаков, соответствующих высокому уровню изменчивости по шкале С.А. Мамаева для древесных пород. Кроме того, надежность выводов, полученных с использованием признака, обладающего высоким коэффициентом вариации ( $Cv \geq 35\%$ ), будет невысокой.

Применение методов кластерного анализа биометрических данных и пространственного анализа средствами геоинформационных систем позволило выделить две зоны на исследуемой территории, прилегающей к факельной установке по сжиганию попутного газа — зону выраженного уровня воздействия и зону с отсутствием выраженного воздействия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полищук Ю.М., Токарева О.С. Методика оценки воздействия техногенного химического загрязнения атмосферы на лесоболотные комплексы в нефтедобывающих районах Сибири // Химия в интересах устойчивого развития. 2002. Т. 10. № 5. С. 659-668.
2. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: из-во НИИ химии С.-Петерб. гос. ун-та, 1997. 210 с.
3. Аникеев Д.Р., Юсупов И.А., Луганский Н.А., Залесов С.В., Лопатин К.И. Влияние продуктов сжигания попутного газа при добыче нефти на репродуктивное состояние сосновых древостоев в северотаежной подзоне // Экология. 2006. № 2. С. 122-126.
4. Аугустайтис А.А. Особенности формирования надземной фитомассы сосновых молодняков в условиях загрязнения природной среды // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1989. С.32-51.
5. Бабушкина Л.Г., Зуева Г.В., Коковкина Т.Ф. и др. Механизмы повреждения и устойчивости насаждений сосны обыкновенной в зоне промышленных загрязнений // Экология и защита леса: Межвуз. сб. науч. тр. СПб.: ЛТА, 1997. С. 3-10.
6. Степанчик В.В. Сосновые насаждения в условиях загрязнения окружающей среды и проблемы их мониторинга // Влияние атмосферных загрязнений и других

антропогенных и природных факторов на дестабилизацию состояния лесов Центральной и Восточной Европы. Т. 1. М.: МГУЛ. 1996. С. 28-30.

7. Черненко Т.В., Макаров А.В. Рост сосны обыкновенной в окрестностях металлургического комбината «Североникель» // Лесоведение. 1996. № 5. С. 72-76.

8. Михайлова Т.А., Суворова Г.Г., Бережная Н.С., Игнатьева О.В., Янькова А.С. Морфофизиологические показатели изменения стока углерода в сосновых древостоях, загрязняемых аэропромвыбросами // Структурно-функциональная организация и динамика лесов: мат-лы Всерос. конф. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2004. С. 180-182.

9. Шебалова Н.М., Залесов С.В. Оценка воздействия экстремальных условий на состояние древостоя сосны обыкновенной // Экология и человек. 2006. № 5. С. 25-26.

10. Чижов Б.Е. Леса и лесное хозяйство Югры. Екатеринбург: Сред.-Урал. кн. изд-во, 2000. 128 с.

11. Алексеев А.С. Мониторинг лесных экосистем. СПб.: ЛТА, 1997. 116 с.

12. Шелуха В.П. Биоиндикация хронического промышленного воздействия щелочного типа на компоненты хвойных лесонасаждений. Брянск, 2001. 205 с.

13. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 125 с.

14. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука, 1979. 278 с.

15. Полищук Ю.М., Кочергин Г.А., Перемитина Т.О. Геоинформационная методология анализа радиационного загрязнения речных систем // Проблемы анализа риска. 2005. Т. 2. № 3. С. 208-220.

16. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 320 с.

17. Мамаев С.А. Основные принципы методики исследования внутривидовой изменчивости древесных растений // Индивидуальная и эколого-географическая изменчивость растений. Свердловск, 1975. С. 3-14.

*Анастасия Эдуардовна ЯКОВЛЕВА —  
аспирант кафедры социально-экономической  
географии и природопользования  
Тюменского государственного университета  
estrelle@yandex.ru*

УДК 504.5 (571.12)

## **ОТХОДЫ КАК ИСТОЧНИК ФОРМИРОВАНИЯ НЕБЛАГОПРИЯТНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

### **WASTES AS THE CAUSE OF THE UNFAVORABLE ENVIRONMENTAL SITUATION IN TYUMEN REGION**

**АННОТАЦИЯ.** Активное развитие экономики ведет не только к повышению уровня жизни населения и сокращению природных ресурсов, но и к увеличению объемов образования и накопления отходов. В настоящей статье рассматриваются тенденции последних лет в сфере образования отходов в Тюменской области, проводится оценка причин сложившейся ситуации.

**SUMMARY.** The active economic progress leads not only to the increase of the population's living standards or the natural resources reduction, but also to the amount of wastes' forming and accumulating growth. The current paper discusses the last years tendency in the sphere of wastes' forming in Tyumen region, and analyzes the causes of nowadays situation.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Отход, накопление, свалка, токсичный.

**KEY WORDS.** Waste, accumulation, dump, toxic.