

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Алены Валерьевны Григоренко
«Влияние аэротехногенного загрязнения на компоненты
лесной экосистемы (на примере Минусинского ленточного бора)»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата биологических наук по специальности
03.02.08 – Экология (биология)

Актуальность представленной работы не вызывает сомнений. С одной стороны, это обусловлено значительным объемом техногенных эмиссий в атмосферу Минусинской котловины, которые оказывают негативное влияние на компоненты уникального ленточного бора, а с другой – важной ролью данного лесного массива, как фактора улучшения экологической обстановки в регионе.

Заявленная цель работы заключалась в изучении влияния аэротехногенного загрязнения на компоненты лесной экосистемы Минусинского бора. Однако при этом автор вместо древостоя относит к ним хвою и осевые побеги сосны и не рассматривает подрост, подлесок и живой напочвенный покров, являющиеся важными компонентами этой экосистемы.

Для достижения данной цели решались **следующие**, несколько перефразированные нами, **задачи**:

- определение характера атмосферной миграции загрязняющих веществ и их влияния на ход физиологических процессов, биохимические параметры и морфометрические характеристики хвои и осевых побегов *Pinus sylvestris*;

- оценка влияния аэротехногенного загрязнения на аккумулирующую способность древостоя и уровень загрязнения почвы, лесной подстилки и сосновой хвои фтором и тяжелыми металлами;

- выделение основных загрязнителей, оказывающих негативное воздействие на состояние физиологических и морфометрических параметров ассимиляционного аппарата сосны.

Научная новизна. Впервые для юга Минусинской котловины проведено комплексное исследование древостоя, лесной подстилки и почвы в условиях аэротехногенного загрязнения. Построены карты, отражающие уровень их загрязнения. Установлено, что основными загрязняющими веществами, оказывающими негативное воздействие на лесную экосистему, являются тяжелые металлы и фтор.

Практическая значимость. Выявленные уровни загрязнения указанных компонентов лесной экосистемы, а также оценка его влияния на физиологические функции и морфологические параметры древостоя, могут применяться при мониторинге и прогнозировании состояния насаждений в условиях аэротехногенного загрязнения. Некоторые результаты исследований могут быть использованы в процессе обучения студентов биологических и технических направлений подготовки. Полученные данные о состоянии древостоев

Минусинского ленточного бора следует учитывать при планировании лесохозяйственных и лесозащитных мероприятий (которые автор ошибочно называет лесомелиоративными).

Личное участие. Все работы по сбору, обработке и анализу экспериментальных данных выполнены автором лично.

Выносимые на защиту положения вполне обоснованы и не вызывают замечаний, поскольку базируются на значительном экспериментальном материале. Автором заложено 22 постоянных и временных пробных площади, выполнено 660 определений содержания взвешенных веществ в снежном покрове, почти 17 тыс. морфометрических измерений хвои и побегов и 900 определений интенсивности фотосинтеза, дыхания и водного дефицита. В аккредитованных лабораториях проведен количественный и качественный анализ содержания в хвое терпеноидов и различных загрязнителей. На основе применения математического анализа установлена взаимосвязь полученных данных с результатами морфометрических, биохимических и физиологических исследований.

Результаты исследований прошли основательную **апробацию** на семи конференциях различного уровня, включая 4 международные, и отражены в десяти публикациях, три из которых – в журналах из перечня ВАК.

Диссертация изложена на 196 стр. и состоит из введения, пяти глав и заключения. Она включает 26 рисунков, 28 таблиц и 5 приложений. Библиографический список представлен 452 работами, 47 из которых на иностранных языках.

Глава 1 представляет собой аналитический обзор большого количества литературных источников, посвященных исследованиям негативного влияния атмосферного загрязнения на лесные экосистемы, и состоит из пяти разделов.

В первом из них загрязнение атмосферы рассматривается, как основной фактор, отрицательно влияющий на природные экосистемы и условия жизни людей. Отмечая признаваемую во всем мире острую актуальность данной проблемы, автор подчеркивает важную роль в ее решении органов государственной власти и науки. Главными источниками атмосферного загрязнения диссертант называет предприятия металлургии и теплоэнергетики, приводит сведения о составе и количестве вредных выбросов, анализирует факторы, определяющие особенности их переноса и осаждения. При этом на стр.10 автор допускает досадную неточность, указав, что «ежегодно в природную среду поступает свыше 100 тысяч различных химических элементов», хотя их известное число составляет всего 118.

Второй раздел посвящен анализу различных видов негативного антропогенного воздействия на лесные экосистемы, приводящего к их деградации и сокращению площади лесов. Основными причинами этого, по мнению автора, являются рубки, пожары, добыча полезных ископаемых и аэротехногенное загрязнение. В результате действия последнего фактора вблизи крупных металлургических комбинатов образуются «техногенные пустоши», а

зона деградации лесов превышает 100-200 км. В то же время, диссертант подчеркивает огромную роль лесных экосистем в аккумуляровании газообразных выбросов и пыли, благодаря которой их концентрация под пологом заметно ниже, а также указывает на положительное влияние выделяемых лесами фитонцидов на состав воздуха. В завершение раздела автор обосновывает использование сосны обыкновенной в качестве биоиндикатора атмосферного загрязнения, поскольку она весьма чувствительна к различным механизмам его негативного воздействия.

Название третьего раздела «Влияние антропогенного загрязнения на физиологические и биохимические процессы древостоя», на наш взгляд, является некорректным, поскольку указанные процессы протекают в отдельных деревьях, составляющих древостой. Кроме того, весьма сомнительно отнесение к биогенным элементам тяжелых металлов (стр.20-21). В целом данный раздел посвящен воздействию атмосферного загрязнения на важнейшие физиологические процессы растений (фотосинтез, дыхание, транспирацию), анализ которого выявил его не совсем однозначный характер.

Четвертый раздел, по сути, во многом схож с предыдущим, что во многом объясняет аналогичные претензии к его названию. Дело в том, что приведенные в нем в качестве интегрального показателя состояния лесных экосистем морфометрические параметры сосновой хвои (размер, масса, продолжительность жизни) не являются морфологическими признаками древостоя. Вместе с тем, анализ источников позволил диссертанту выявить неоднозначный характер изменения морфометрических параметров хвои и определить наиболее негативно действующие загрязнители – фтор и тяжелые металлы.

Поэтому завершающий раздел главы посвящен анализу влияния указанных загрязнителей на лесные экосистемы. Диссертант указывает, что тяжелые металлы, как микроэлементы, необходимы растениям. Однако, вследствие узости безвредного интервала их концентрации даже небольшое его превышение оказывается для растений токсичным. Не менее опасны соединения фтора, который не является необходимым для растений элементом. При этом токсичные вещества поступают в растения не только из атмосферы, но и из почвы, где токсиканты сохраняются более длительное время. Однако, диссертант приводит данные ряда авторов, согласно которым загрязнению почв препятствует лесная подстилка. Ее мощность изменяется, в зависимости от интенсивности загрязнения и расстояния до его источника, что дает основание использовать данный показатель для диагностики состояния лесных экосистем. Согласно данным целого ряда исследователей, мощность подстилки вблизи источников загрязнения увеличивается в несколько раз. В то же время, на стр. 29-30 диссертант указывает, что длительное воздействие промышленных эмиссий приводит к обнажению и эродированности почвы, объясняя это «нарушением механического состава и питательных свойств», а также дефицитом влаги. Во-первых, говоря об обнажении почвы, автор противоречит себе, тем самым указывая на отсутствие подстилки, что должно было способствовать большему поступлению воды в почву. Во-вторых, не-

понятно, каким образом загрязнение почвы может изменить соотношение фракций ее гранулометрического состава (термин «механический» уже давно является анахронизмом), а также сказаться на содержании элементов питания.

Несмотря на указанные замечания, приведенный аналитический обзор, в целом, дает полное представление о рассматриваемой проблеме.

Во второй главе описаны объекты и методика исследований. Автор дает детальную характеристику насаждений Минусинского бора и заложённых пробных площадей. Несколько удивляет отсутствие детального описание их почв, являющихся важным компонентом лесной экосистемы и непосредственным объектом изучения. Кроме того, определенные сомнения вызывают приведенные в таблице 1 (стр.36) относительная полнота и запас древостоев на пробных площадях №№ 1-3. Возможно, это связано с некорректными значениями средней высоты древостоев, которую следовало бы определять по кривой высот или рассчитывать по формуле Лорея, а также использованием таксационных справочных материалов, не относящихся к району исследований. Кроме того, некоторые методики, например, закладки пробных площадей (стр.38), на наш взгляд, описаны излишне подробно. В то же время, приводя на стр.42 методику отбора образцов подстилки и почвы, диссертант не указывает сроки его проведения, которые, в определенной мере, могли повлиять на содержание химических элементов.

Несмотря на указанные замечания, в целом, анализ данной главы позволяет заключить, что объекты и методики их исследований выбраны верно.

В третьей главе приводится характеристика природных условий района исследований и расположенных в нем источников загрязнения. Автор детально описывает рельеф и геологическое строение территории (раздел 3.1), особенности ее климата и почвенного покрова (разделы 3.2 и 3.3), а также травянистую растительность степной части Минусинской котловины (раздел 3.4). Последнее, по нашему мнению, является абсолютно лишним, поскольку фитоценозы степей не имеют никакого отношения к данной работе. Также вовсе необязательно, характеризуя промышленные источники загрязнения (раздел 3.5), неоднократно повторять полные названия этих предприятий.

В разделе 3.6 автор с целью оценки очищающей эффективности древостоев анализирует свои данные о содержании взвесей в снежном покрове и рН снеговой воды. Установлено, что по мере удаления от источника загрязнения очищающая эффективность древостоев возрастает ($r=0,9$), тогда как два последних показателя – снижаются ($r=-0,69-0,72$). Завершается глава заключением (раздел 3.7), содержащим основные выводы.

Знакомство с главой, и, особенно, ее предпоследним разделом позволяет сделать вывод о способности диссертанта к самостоятельным исследованиям.

Глава 4 более интересна и содержательна, поскольку представляет анализ полученных автором данных об ответных реакциях деревьев соснового древостоя на загрязнение атмосферы. В разделе 4.1 рассматривается изменение в зоне влияния эмиссий интенсивности таких важнейших физиологи-

ческих процессов, как фотосинтез и дыхание ассимиляционного аппарата, а также во многом определяющей их величины водного дефицита хвои. Используя метод регрессионного анализа, диссертант установил уменьшение водного дефицита хвои ($R^2=0,8355$) и увеличение интенсивности ее фотосинтеза ($R^2=0,635$) по мере удаления от источников загрязнения и отсутствие четкой зависимости от данного фактора активности дыхания ($R^2=0,3426$). Кроме того, установлена тесная отрицательная корреляция водного дефицита хвои с интенсивностью дыхания ($r=-0,79$) и, особенно, фотосинтеза ($r=-0,95$), что может быть использовано в подобных экологических исследованиях.

В разделе 4.2 диссертант рассматривает биохимические изменения, происходящие в хвое сосен под действием атмосферных загрязнителей. Установлено, что хвоя наиболее загрязненной ПП № 2, по сравнению с фоновым участком, почти на 40 % содержит больше эфирного масла. Автор объясняет это активизацией его биосинтеза, как механизма противодействия растений внешнему негативному воздействию. В то же время, особых различий в составе терпенов в эфирных маслах хвои указанных участков не наблюдается.

Раздел 4.3, по нашему мнению, точнее было бы назвать «Изменение морфометрических параметров ассимиляционного аппарата *Pinus silvestris* L. Минусинского ленточного бора», поскольку в нем рассматривается влияние атмосферного загрязнения на морфометрические параметры хвои и осевых побегов сосен. Диссертантом установлена обратная корреляция между показателями поражения хвои и расстоянием от источника загрязнения ($r=-0,92-0,95$) и получены уравнения регрессии, указывающие на тесную взаимосвязь последнего показателя с длиной, площадью, массой хвои ($R^2=0,9467-0,9069$) и продолжительности ее жизни ($R^2=0,839$). Кроме того, автор выявил достоверное увеличение средней длины осевых побегов первых двух лет жизни с их удалением от источников загрязнения ($r=0,73-0,72$). Также установлена обратная связь между длиной однолетних побегов и количеством хвои на них ($r=-0,73$) и прямая корреляционная зависимость увеличения плотности хвои с приближением к источникам загрязнения ($r=0,63$). Высокая плотность хвои приводит к сокращению ее жизни, чем автор и объясняет практическое отсутствие хвои четвертого года жизни на пробных площадях №№ 2-5, расположенных неподалеку от Минусинска.

В разделе 4.4 рассматривается взаимосвязь между физиологическими и морфометрическими параметрами хвои, последние из которых здесь почему-то называются морфологическими. Автором установлена прямая корреляция интенсивности фотосинтеза с длиной ($r=0,68$), площадью ($r=0,66$) и массой хвои ($r=0,70$) и обратная связь данных морфометрических параметров с величиной водного дефицита ($r=-0,65-0,64$). При этом последний показатель прямо коррелирует с процентом поражения хвои ($r=0,82$). В результате регрессионного анализа получено восемь уравнений, описывающих закономерные связи между интенсивностью фотосинтеза, дыхания, водного дефицита хвои и ее основными морфометрическими параметрами, а также процентной

долей поражения. Значения R^2 данных уравнений находятся в интервале от 0,4534 до 0,8483.

Глава завершается заключением (раздел 4.5), содержащим основные выводы.

В последней, самой большой по объему (почти 50 стр.), **пятой главе** анализируется содержание тяжелых металлов, многие из которых являются микроэлементами, а также фтора в различных компонентах бора. В разделе 5.1 рассматривается содержание указанных элементов в хвое, в первую очередь подвергающейся влиянию атмосферного загрязнения. Автор анализирует изменение данного показателя, в зависимости от расстояния до города; сравнивает среднее содержание микроэлементов в хвое с их нормальной концентрацией; прогнозирует возможные последствия резкого отклонения от нее; рассчитывает коэффициенты концентрации тяжелых металлов и фтора (K_k), характеризующие интенсивность воздействия загрязнения атмосферы на ассимиляционный аппарат сосны; составляет ряд исследуемых элементов по степени аккумуляции; изучает их взаимодействие. Для обобщающей оценки влияния промышленных эмиссий на хвою рассчитаны показатели суммарного загрязнения (Z_c), наибольшие значения которых отмечены на ПП №№ 1 и 3 вблизи населенных пунктов, а также составлена карта-схема 3.

В разделе 5.2 рассматривается содержание тяжелых металлов и фтора в почве. При этом алгоритм исследований практически аналогичен изучению хвои, но полученные данные сравниваются с ПДК и ОДК указанных элементов. Их содержание определяется в верхнем 20-сантиметровом минеральном слое почвы, который автор не совсем корректно называет гумусово-аккумулятивным горизонтом (стр.99). Кроме того, отсутствие данных о гумусе и гранулометрическом составе, которые, по мнению самого автора, во многом определяют сорбционную способность почв (стр.97), затрудняют анализ результатов исследования концентрации элементов. Тем не менее, диссертант вполне логично объясняет различия данных показателей, в т.ч., связывая это с неодинаковой интенсивностью их поступления на разных пробных площадях. Наибольшие коэффициенты концентрации отмечены вблизи города (ПП №1), причем максимальные значения имеют фтор (6,19) и кадмий (2,29), которые открывают ряд по степени аккумуляции в почве. Анализ показателей суммарного загрязнения выявил достоверное снижение его уровня по мере удаления от городских источников эмиссий ($r = -0,87$), что отражено в карте-схеме 4. Те же показатели, рассчитанные с учетом токсичности элементов ($Z_{ст}$), по причине высокой ее степени As, Cd, Hg, Pb и др., оказались в среднем на 3 единицы больше. Несмотря на это, выявленное загрязнение, в целом, оценивается, как допустимое.

Не совсем корректным является сравнение представленных на стр. 107-108 результатов с данными Э.Е. Боболевой, поскольку, судя по принадлежности изученных ею почв к иному типу, исследования проводились на других пробных площадях. Также неубедительным выглядит объяснение снижения со временем содержания в почве Cu, Co и Hg вследствие их миграции

вниз по профилю, а также водной эрозии и дефляции. Во-первых, по данным Ф.И. Плешикова (1975, 1991), на которые автор сам ссылается на стр. 52, внутрипочвенная миграция из-за засушливости очень слаба, а эрозионные процессы, благодаря почвозащитной роли бора, практически не выражены.

Логическим продолжением исследования является представленный в разделе 5.3 анализ содержания тяжелых металлов и фтора в подстилке, которую автор, вероятно, придерживаясь взглядов В.Н. Сукачева, С.В. Зонна, Л.О. Карпачевского, Л.Г. Богатырева, считает отдельным природным телом, а не верхним органомным горизонтом лесных почв. Однако, даже в этом случае, исходя из положения подстилки в насаждении, ее следовало рассматривать раньше почвы, что могло бы способствовать лучшему анализу представленных в разделе 5.2 данных.

Исследуя мощность подстилки, автор выявляет достоверное увеличение данного показателя с удалением от города ($r=0,8$), объясняя это улучшением состояния ассимиляционного аппарата и большей массой опада хвои на дальних участках.

Анализ содержания указанных элементов в подстилках различных пробных площадей выявил ту же закономерность, что и в ранее рассмотренных компонентах лесной экосистемы. Наибольшая концентрация наблюдается вблизи Минусинска, а максимумы отдельных элементов распределены по пробным площадям №№ 1-4. Рассчитанные коэффициенты концентраций всех загрязнителей, кроме Mn, оказались больше 1, что указывает на аккумуляцию в подстилке рассматриваемых элементов, причем Pb, As и F – в наибольшей степени. Поэтому данная «тройка» открывает ряд элементов по степени их аккумуляции в подстилке. Суммарные показатели загрязнения, вычисленные с учетом степени токсичности элементов, варьируют от 12,7 (ПП №3) до 3,69 (ПП №9), что соответствует допустимому уровню.

Раздел 5.4 представляет собой сравнительный анализ содержания в хвое, подстилке и почве исследуемых элементов, которое практически для всех их превышает фоновые значения. При этом сильное варьирование данного превышения (от 1 до 547 %), в значительной мере, обусловлено механизмом поступления загрязняющих элементов, а также положением и ролью изучаемых компонентов в насаждении. Тесную корреляцию между содержанием в них элементов ($r=0,63-0,95$) автор объясняет экологическими взаимосвязями хвои, подстилки и почвы, допуская, однако при этом, весьма сомнительные высказывания. Так, большая концентрация марганца (стр.117) и фтора (стр.120) в подстилке, по мнению диссертанта, связана с их поступлением в нее из почвы (?!). Это абсолютно нелогично, тем более, что сам автор далее называет лесную подстилку «биогеохимическим барьером, препятствующим поступлению загрязнителей в сопредельные среды» (стр.121), вследствие чего содержание в ней большинства элементов выше, чем в почве.

Анализ вычисленных коэффициентов биологического поглощения обнаружил их максимумы в отношении цинка (1,59) и фтора (1,56), на основа-

нии чего сделан вывод об их активном поглощении хвоей из атмосферы. В целом же, наибольший вклад в загрязнение исследуемых компонентов вносят свинец, кадмий и фтор. Кроме того, анализ коэффициентов корреляции позволил диссертанту выявить наличие между содержанием большинства элементов в хвое, подстилке, почве и расстоянием до источников выбросов определенной связи, которая из-за влияния многих факторов, чаще всего, не имеет строго линейного характера.

Разделу 5.5, в котором приведен корреляционный анализ зависимостей интенсивности физиологических процессов, а также длины, площади, массы и поражения хвои от содержания различных элементов, по нашему мнению, больше соответствует название «Влияние загрязнения на физиологические и морфометрические параметры хвои *Pinus silvestris L.*». Автором составлена таблица корреляции изучаемых элементов с морфометрическими параметрами хвои, интенсивностью ее фотосинтеза и дыхания, а также величиной водного дефицита. Анализ таблицы позволил диссертанту выявить определенные различия в характере и степени влияния разных элементов на рассматриваемые параметры хвои. При этом отмечается наиболее сильное негативное влияние цинка и ванадия. На рисунках 20-26 представлены графики зависимостей морфометрических параметров хвои и степени ее поражения от содержания различных элементов. Автор подчеркивает сложный характер данных зависимостей, одни из которых наиболее близки линейным и полиномиальным, а другие – полиномиальным, степенным и логарифмическим.

Глава традиционно завершается заключением (раздел 5.6), содержащим основные выводы. Диссертант отмечает максимум суммарного загрязнения хвои на расстоянии 16 км, а лесной подстилки и почвы – 22 км от города. При этом причиной очень высокого содержания кадмия и свинца в исследуемых компонентах лесной экосистемы автор объясняет влиянием выхлопных газов автотранспорта отдыхающих в бору.

В заключение диссертант приводит три вывода, которые соответствуют цели и задачам исследований и обоснованы большим объемом фактического материала, проанализированного с применением современных математических методов. По нашему мнению, выводы можно было представить в более лаконичной форме.

Завершая рассмотрение диссертации, в качестве общих замечаний следует отметить очень большой размер предложений, затрудняющий восприятие содержащейся в них информации; тавтологию; пунктуационные ошибки; отсутствие рис.13; технически неверный перенос большинства таблиц.

Что касается автореферата, то он вполне отражает содержание диссертации. Однако содержание главы 1 в нем следовало бы раскрыть более подробно, а не ограничиваться тремя строками.

Несмотря на высказанные замечания, большинство из которых носит технический характер, диссертационная работа Григоренко Алены Валерьевны «Влияние аэротехногенного загрязнения на компоненты лесной экосистемы (на примере Минусинского ленточного бора)» отвечает

требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.08 – Экология (биология) (биологические науки).

Официальный оппонент
кандидат биологических наук
(03.00.16 – экология), доцент,
доцент кафедры лесоводства
Института лесных технологий
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Сибирский государственный
университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева»

Тарасов Павел Альбертович

14.05.2018

Адрес: 660049, Красноярск, пр. Мира, 82
Тел.: 8 (391) 266-04-19
e-mail: avyatar@yandex.ru

Подпись Тарасова П.А.
удостоверяю

Зам. ученого секретаря
Ученого совета СибГУ
им. М.Ф. Решетнева

А.И. Криворотова

Подпись П.А. Тарасова заверен



А.И. Криворотова