

Отзыв официального оппонента Романовой Екатерины Владимировны (ЦСБС СО РАН, 630090 г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101) на диссертацию Сафранковой Екатерины Алексеевны «Комплексная лишеноиндикация общего состояния атмосферы урбоэкосистем», представленной на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.08 – Экология (биологические науки).

Диссертация Е.А. Сафранковой посвящена изучению лишайников на урбанизированных территориях Брянской и Орловской областей и обобщает результаты многолетних исследований, выполненных соискателем. Район исследования является довольно интересным объектом, представляя собой равнинную территорию на границе двух природных зон. Исследование выполнено не только в двух крупных городах, но также и в малых населенных пунктах исследуемого района, что позволило получить наиболее полную картину распространения лишайников по урбанизированным территориям. Другой сильной стороной работы является то, что она объединяет результаты исследований с 1994 по 2010 гг. и позволяет выявить динамику эпифлеодных лишайниковых группировок г. Брянска на протяжении длительного периода. Комплексный подход к лишеноиндикации исследованных территорий заключается в том, что флористический и геоботанический аспекты работы дополнены анализом содержания тяжелых металлов в слоевищах лишайников, дана оценка накопительным возможностям некоторых видов лишайников и установлен экологический ряд лишайников-эпифитов по накопительной способности, а также выполнен биотоксикологический анализ образцов лишайников.

Актуальность темы. Тема исследований, безусловно, актуальна. Несмотря на повышенный интерес специалистов к лишайникам как объекту для биоиндикационных исследований, закономерности их распространения на урбанизированных территориях выявлены не в полной мере, и данная работа является весомым вкладом, ликвидируя очередное «белое пятно» в этой области. Другой важный и актуальный аспект работы является прикладным – поиск и апробирование новых методов лишеноиндикации, более простых в использовании по сравнению с широко распространенными индикационными индексами, которые позволят проводить экспресс-оценку состояния атмосферного воздуха с помощью лишайников и будут доступны в использовании не только лишенологам, но и широкому кругу специалистов.

Научная новизна и теоретическая значимость работы несомненна и заключается в том, что проведен комплексный анализ эпифитных лишенобиот городских территорий, выявлены показатели лишенобиоты и отдельные виды, перспективные для экспресс-оценки качества окружающей среды. На основе данных за длительный период времени впервые составлены лишеноиндикационные карты изученных городов и карты распространения тяжелых металлов. Применяв количественные методические подходы к анализу эпифитных лишеносинузий, соискатель разработала новый лишеноиндикационный индекс, который назван ею лишайниковый индекс (L), и апробирование и калибровка которого является задачей дальнейших исследований. Дана оценка накопительным возможностям

некоторых видов лишайников по отношению к элементам группы тяжелых металлов. Выявлены критерии для лишайноиндикационного зонирования территории малых и крупных городов Нечерноземья России.

Практическая значимость. Полученные соискателем результаты имеют огромное практическое значение и являются основой для комплексных мониторинговых исследований региона. Результаты лишайноиндикационного зонирования и районирования территорий городов используются в работах специалистов, отвечающих за качество среды и здоровье населения, в оценке антропогенной нарушенности природных комплексов, а также для целей биоиндикации и биомониторинга. Лишайноиндикационные методики, региональные коэффициенты полеотолерантности рекомендованы и включены в Регламент биомониторинга по обследованию территорий опасных техногенных объектов. Полученные результаты изучения видового состава эпифитных лишайников использованы для составления региональных лишайнофлористических списков, для уточнения экологии, географии и ареалов отдельных видов. Элементы лишайноиндикационных исследований апробированы в общеобразовательных учебных заведениях г. Брянска и Брянской области

Объем и структура диссертации. Диссертация объемом 204 с. состоит из введения, 4 глав, выводов, практических рекомендаций, списка литературы, включающего 149 работ (в том числе 17 на иностранных языках), и 9 приложений, содержит 21 таблицу и 106 рисунков. Структура и содержание работы соответствуют сформулированным во введении задачам и защищаемым положениям.

Первая глава представляет собой аналитический обзор литературы, посвященный лишайноиндикационным исследованиям, истории развития данного направления и его практическому применению по всему миру. Подробно рассмотрены особенности лишайников, делающие их удобным объектом для биоиндикации, описаны подходы к оценке качества окружающей среды, дан обзор исследований, уже проведенных на городских территориях России, описаны некоторые общие тенденции трансформации городских лишайнобиот. Содержание раздела показывает, что соискатель очень хорошо разбирается в предмете исследования, свободно ориентируется в биоиндикационных методиках. К сожалению, в рассматриваемой части работы, нет указаний на то, проводилось ли кем-либо изучение лишайников на территориях Брянской и Орловской областей до начала исследований соискателя, или же по исследуемой территории отсутствовали даже первичные сведения о лишайнобиоте? Ответа на этот вопрос нет и в других разделах диссертации.

Во второй главе дана характеристика природных условий исследуемой территории. Рассмотрено географическое положение района, приведены данные его геоботанического районирования, дано подробное описание климатических условий местности, рассмотрены основные источники загрязнения атмосферного воздуха обследованных городских территорий, дана оценка вклада стационарных источников и автотранспорта.

Третья глава характеризует использованные в работе методики исследования лишайников. Объем проанализированного материала – химический анализ 287

проб и токсикологический анализ 120 образцов эпифитной лишенобиоты в городах Нечерноземья России – позволяет оценить полученные автором результаты как достоверные, позволяющие в полной мере выявить тенденции распространения загрязнителей по исследуемой территории и накопления компонентов атмосферного загрязнения в талломах лишайников. Для выявления видового разнообразия обследованной территории соискателем собрано и проанализировано 320 гербарных образцов лишайников. Учитывая количество и площадь обследованных населенных пунктов, такой объем гербария представляется недостаточным для адекватного выявления видового разнообразия лишайников, тем более что на обследованных городских территориях не выявлена так называемая «зона лишайниковой пустыни», где отсутствует лишайниковая растительность, о чем сказано в следующих разделах диссертации. Кроме того, далее в работе указано, что были изучены не только эпифитные, но также лишайники на искусственных субстратах. Однако в начале раздела указано, что собраны, проанализированы и депонированы 320 образцов эпифитных лишайников. Означает ли это, что видовая идентификация лишайников на других субстратах осуществлялась в полевых условиях, без сбора гербарного материала и его обработки в лабораторных условиях? Подобный подход, несомненно экономит время и усилия исследователя, однако в ряде случаев, особенно при изучении накипных лишайников, может приводить к ошибочному определению их таксономической принадлежности.

Раздел 3.1 посвящен методам, которые были использованы для изучения лишенофлористического состава городских экосистем. Дано описание методик сбора и обработки материала, приведены литературные источники, использованные для определения лишайников и проведения таксономического, экологического и географического анализа. Однако описание методики сбора лишенологического материала, представленное в этом и следующем разделах, вызывает ряд вопросов и замечаний. В частности, соискатель указывает, что исследования проводили маршрутным методом: «Лишенофлористические и индикационные работы осуществляли маршрутным методом в пределах административных границ г. Брянска, г. Орла, малых городов и посёлков городского типа Брянской области... ..Описывали эпифитную лишенофлору для последующего использования видов при расчете синтетических лишеноиндикационных индексов». Однако уже в следующем разделе есть указание на то, что для исследования лишенобиоты и расчета лишеноиндикационных индексов был применен метод квадратов: «План схему города Брянска разбивали на сеть квадратов (1 км²), в каждом из которых проводили геоботаническое описание эпифитных лишайниковых группировок...». Следующие разделы диссертации также не вносят ясности, какой же метод применялся при обследовании территории. Так, на стр. 50: «По данным маршрутных обследований только городских территорий для Брянска установлено 58 видов лишенофлоры, для Орла – 52 вида», а на стр.52: «На территории двух крупных городов наиболее распространены виды, которые зарегистрированы в 25-49 % всех учетных квадратов». Возникает вопрос, каким же методом все-таки проводилось обследование исследуемой территории – маршрутным, или методом квадратов?

Или же выявление видového разнообразия лишайников и лишеноиндикационное картирование были проведены как два разных исследования: первое – маршрутным методом, а второе – методом квадратов? Для проведения будущих исследований, соискателю было бы полезно разобраться, в каких случаях будет адекватным использование маршрутного метода, а в каких – метода квадратов, тем более, что в ряде литературных источников, цитированных соискателем в предыдущем разделе, такие указания имеются. В частности, при обследовании сравнительно небольших территорий, неоднородных по экологическим условиям (а все изученные населенные пункты удовлетворяют этому условию) наиболее адекватным будет метод квадратов, который позволит наиболее полно выявить видовое разнообразие лишайников и провести картирование с использованием лишеноиндикационных индексов. При изучении лишайников в городах применять маршрутный метод нецелесообразно, так как это приводит к ощутимым потерям информативности полученных данных; этот подход дает неплохие результаты при обследовании обширных, более-менее однородных территорий, где метод квадратов потребует огромных трудозатрат при том же объеме информации, получаемой в качестве результатов исследования.

В разделе 3.2 приведены описания лишеноиндикационных индексов, используемых соискателем в своей работе. Приведены индекс полеотолерантности (IP), предложенный Х.Х. Трассом (1968), индекс чистоты атмосферы (IAP), предложенный канадскими учеными (Le Blanc, De Sloover, 1970) и собственный авторский индекс соискателя, разработанный на основе полученного материала и являющийся одним из важных результатов исследования. В разделе дано краткое описание метода расчета авторского индекса L, более подробно соискатель освещает этот вопрос при описании результатов исследования. Соискатель очень подробно описывает, каким образом она получила региональные значения коэффициента полеотолерантности для каждого вида. Выполненные процедуры соответствуют рекомендациям автора методики и позволяют заключить, что полученные таким образом сведения о сравнительной чувствительности каждого эпифитного вида лишайников в данном регионе достоверны, и при картировании изученных территорий с помощью IP не были использованы шкалы чувствительности лишайников, полученные для других регионов.

К этому разделу у оппонента также имеется ряд замечаний:

1. На стр. 36 соискатель пишет: «...проводили геоботаническое описание эпифитных лишайниковых группировок, как наиболее чувствительных к воздействию атмосферных загрязнителей». В этом утверждении содержится ошибка: эпифитные лишайниковые группировки действительно рекомендуются многими исследователями-лихенологами в качестве удобного объекта для биоиндикационных исследований но не потому что они наиболее чувствительные, а потому, что они наиболее распространены в городских условиях (почти в любом городе средней полосы подходящий субстрат для эпифитных лишайников имеется в избытке), и, кроме того, они характеризуются довольно высокой скоростью роста и сравнительно быстрым жизненным циклом по сравнению, например, с эпилитными (субстрат для которых также в избытке присутствует в любом городе). Среди других эколого-субстратных групп лишайников также имеются и

чувствительные, и устойчивые к загрязнению виды, однако их распространение в городах (в отличие от эпифитов) лимитируется другими факторами в большей степени, чем атмосферным загрязнением.

2. На стр. 36, при описании методики определения a_i каждого вида: «Ключевые участки (250X100 м) располагали вдоль автотрасс от центральной части города до окраин» - на каком расстоянии от автотрасс располагались ключевые участки? Не вносила ли близость автотрасс помехи при определении сравнительной чувствительности лишайников?

Там же: «...Так как естественные ландшафты не были исследованы, коэффициенты 2 и 1 не присваивались». Остается непонятным, почему они не были изучены, так как сравнительный анализ с участием образцов и описаний из фоновых местообитаний, свободных от антропогенного воздействия, помогает лучше понять и закономерности распространения лишайников в городских условиях, и закономерности распространения загрязнения в исследуемом районе.

3. В разделе 3.2 автор употребляет понятие «фоновые виды», однако расшифровывает его только в следующих разделах как: ««наиболее часто встречаемые» (стр. 52). Поскольку в большинстве отечественных работ эпитет «фоновый» относят к ненарушенным местообитаниям, во избежание путаницы было бы полезно сразу расшифровать, что имеет в виду соискатель, употребляя это определение.

4. Также возникает ряд вопросов по поводу применения метода квадратов и зонирования исследованных городских территорий. Так, на стр. 36 указано, что «...План схему города Брянска разбивали на сеть квадратов (1 км²)... Территория города Брянска была разбита на 147 квадратов», в то время как на стр. 28 при описании исследуемой территории сообщается, что «Площадь г. Брянска составляет около 230 км²...». Означает ли это, что городская территория была исследована не полностью, и примерно 7% площади города не охвачена лишеноиндикационными исследованиями? Если это так, то что стало препятствием тому, чтобы обследовать городскую территорию полностью? При описании методики вычисления индекса L на стр. 38 мы видим другое зонирование территории: «Карты урбоэкосистем также разбивались на сеть квадратов произвольного масштаба: г. Брянска – на 152, пгт Навля – на 35 квадратов. Квадраты принимались за учетные (пробные площадки). В каждом их квадратов произвольно обследовались зеленые насаждения различного целевого назначения». Означат ли это, что для картирования территории на основе другого индекса она была зонирована повторно, по другому принципу? Почему квадраты были произвольного масштаба? Означает ли это, что квадраты (учётные площадки) имели разную площадь? Почему нельзя было использовать сеть 1-км квадратов, уже подготовленную для картирования с помощью индекса IP? В этом случае результаты картирования по двум индексам можно было бы сравнивать корректно. Все эти моменты соискателю следовало пояснить в диссертации.

5. На стр. 38 при описании методики расчета индекса L: «...вычислить «концентрацию» талломов эвритоных (модельных) видов лишайников на стволе дерева, т.е. отношение площади слоевищ лишайников к площади поверхности дерева на котором они растут». К сожалению, не указано, каким образом можно

оценить площадь поверхности дерева. В состав формулы входят такие показатели, как «...D – обхват дерева (см), Н – расстояние от земли, выше которого нет двух талломов, расположенных друг от друга ближе, чем на $10 d^2$ », которые не дают информации о площади поверхности дерева, и только косвенно указывают на ту площадь поверхности ствола, которая доступна для поселения лишайников. При этом непонятно, каким образом измерялся параметр Н в тех случаях, когда лишайниковые группировки встречались на всем протяжении ствола взрослого дерева. Обследовались ли стволы на высоте (например) 2-3 человеческих роста, и если да, то с применением каких методов и приспособлений? Также не указано, какими методами измерялись размеры слоевищ модельных видов лишайников. Все эти вопросы, на которых соискатель не остановилась подробно при описании методики расчета индекса L, затрудняют практическое применение результатов исследования.

Раздел 3.3 посвящен лабораторно-химическим и статистическим методам исследования, подробное описание которых не оставляет сомнений в достоверности в корректности применения методик и достоверности полученных соискателем результатов.

Глава 4 отражает результаты, полученные соискателем в процессе исследования. Результаты работы полностью соответствуют заявленным целям работы.

В разделе 4.1 подробно изложены флористические аспекты исследования: приведено число видов для каждого населенного пункта, выполнен таксономический, экологический, географический анализ, выявлены основные синузии на различных форофитах, есть указания на анатомические аномалии лишайниковых слоевищ на городских территориях, выявлены спорадически встречающиеся виды, определены параметры лишенобиоты, наиболее информативные для лишеноиндикационной оценки территорий. Однако утверждение соискателя «...Видовой состав лишайников-эпифитов обоих городов включает 19 индикаторных видов (1 и 2 группы встречаемости по баллам), используемых для расчетов ИП» вызывает закономерный вопрос о том, как она рассчитывала индекс полеотолерантности. Согласно рекомендациям его Х.Х. Трасса (1968), при расчете IP используются такие показатели, как встречаемость и обилие всех видов, имеющих на учетной площадке, а не только «индикаторных».

В разделе 4.2 приведены результаты лишеноиндикационной оценки территории с применением трех лишеноиндикационных индексов, приведена шкала региональных коэффициентов полеотолерантности, установлены закономерности распространения лишайников по урбанизированным территориям, проведено зонирование населенных пунктов, выявлено две лишеноиндикационные зоны по IP и 4 по IAQ, для г. Брянска проанализировано, как изменились границы каждой зоны в том или ином районе с 1994 по 2010 гг, отмечено общее возрастание зон значительного загрязнения и проанализированы изменения содержания поллютантов в атмосфере города за указанный период. По результатам исследования соискателем предложен свой, авторский лишеноиндикационный индекс, который был апробирован на примере двух городских территорий. Важными преимуществами данного метода являются его объективность и

возможность применения не только лишенологами, но и широким кругом специалистов.

По содержанию данного раздела у оппонента имеется два замечания. Так, на стр. 62 соискатель упоминает индекс ИЗА: «Согласно расчетным индексам загрязнения атмосферы (ИЗА)...», однако ни ранее, ни далее в тексте диссертации нет указаний, что это за индекс, кто его автор, по какой методике он рассчитывается и какой имеет физический смысл.

Второе замечание касается индекса L, предложенного автором в качестве объективного метода лишеноиндикационной оценки, свободного от таких субъективных показателей, как проективное покрытие, сравнительная чувствительность видов к загрязнению и тому подобных. Первичные данные, предлагаемые как основа для расчета индекса, а также алгоритм интерпретации полученных значений содержат несколько дискуссионных моментов. Во-первых, мне не удалось найти в тексте работы указаний, каким методом измеряются размеры слоевищ, измеряются ли они на всем протяжении ствола или в какой-то ограниченной зоне, а также каким образом оценивается наличие слоевищ, их размеры и дистанция между ними на значительных высотах (ведь лишайники поселяются не только в нижних зонах ствола, довольно развитые синузии могут встречаться на высоте, значительно превышающей человеческий рост). При интерпретации полученных результатов указано, что величина значений индекса находится в прямой зависимости от уровня загрязнения (расстояния до дороги). Однако ранее соискателем было указано, что естественные ландшафты не были обследованы, а значит, индекс не был калиброван с использованием всех возможных вариантов местообитаний, его апробирование состоялось только на участках, подверженных влиянию антропогенных факторов, и заявление соискателя о прямой зависимости значений индекса и уровня загрязнения является несколько преждевременным. Другой дискуссионный момент – выбор модельных видов, которые соискатель называет «фоновыми», то есть широко распространенными (эвритопными). Дело в том, что на городской территории повсеместно распространенными (а значит наиболее информативными для расчета индекса) заведомо будут сравнительно устойчивые виды лишайников, а значит, зависимость значений индекса от степени атмосферного загрязнения не будет линейной. Многими отечественными и зарубежными исследователями городских лишенобиот – показано, что обилие (проективное покрытие, отражающее размер слоевищ и куртин) эвритопных, сравнительно устойчивых к загрязнению видов, зависит от степени антропогенного воздействия нелинейно. Так, в естественных и приближенных к естественным фитоценозах эти виды, как правило, не могут реализовать в полной мере потенциал своего роста, несмотря на отсутствие или низкий уровень атмосферного загрязнения. В таких местообитаниях ведущим фактором для их развития является межвидовая конкуренция со стороны чувствительных к загрязнению видов, которые получают в этих условиях возможности для своего максимального развития. По мере усиления антропогенного воздействия, чувствительные виды выпадают из экосистем, уменьшается или вовсе пропадает действие конкуренции, и сравнительно устойчивые эвритопные виды резко увеличивают свое обилие (число и размер

слоевищ и куртин), однако при дальнейшем усилении антропогенного воздействия и они деградируют тоже, вплоть до полного исчезновения. Таким образом, если для расчета индекса используются только эвритоппные виды, то его значения должны быть максимальными для умеренно нарушенных биотопов и снижаться не только при усилении, но и при ослаблении воздействия антропогенных факторов; индекс будет более-менее адекватно отображать уровень антропогенного воздействия только в умеренно и сильно нарушенных местообитаниях, и не будет работать в местообитаниях слабонарушенных и свободных от антропогенного воздействия. Если же в качестве модельных видов выбрать не эвритоппные, а чувствительные (которые демонстрируют линейную взаимосвязь между своим обилием и уровнем антропогенного воздействия), то индекс не будет работать в тех биотопах, где уровень загрязнения достаточно высок для чувствительных видов, но эвритоппные сравнительно устойчивые виды существуют вполне благополучно. Третий дискуссионный вопрос связан с использованием данного индекса за пределами региона, для которого он был предложен, поскольку одни и те же виды в разных регионах могут по-разному проявлять себя на городских территориях и становиться более или менее чувствительными к загрязнению, в зависимости от местных климатических условий. Очевидно, эта методика при использовании ее в других регионах должна быть в каком-то виде адаптирована к местным условиям.

Несомненно, минимизация субъективных моментов при вычислении того или иного экологического параметра является одной из наиболее актуальных задач современных экологических исследований. На данный момент разработка и апробирование универсальных лишеноиндикационных индексов продолжается по всему миру, и предложенный авторский индекс, несомненно, займет в этом ряду далеко не последнее место. Однако, с учетом вышесказанного, индекс L на данный момент не может использоваться как универсальный и надёжный метод лишеноиндикационной оценки и требует дальнейшей проверки («калибровки») на экосистемах разного типа, с разным уровнем антропогенного воздействия, в разных регионах.

Раздел 4.3. содержит результаты, полученные соискателем при химическом анализе проб лишайников из разных районов в пределах исследованной территории, включая фоновые местообитания. Дана оценка валового содержания тяжелых металлов в смешанных пробах эпифитных лишайников, проведен анализ изменения концентрации в разных точках отбора проб для каждого элемента. При сравнении изученных образцов с образцами из фоновых местообитаний выявлено превышение фоновых значений по некоторым элементам. Проанализировано, как изменяется валовое содержание тяжелых металлов в зимний сезон по сравнению с осенним, выявлено повышение валового содержания некоторых элементов в осенний период. Для крупных городов Нечерноземья (Брянска и Орла) выявлены ряды накопления ТМ в эпифитных лишайниках, определены коэффициенты накопления элементов, установлен экологический ряд лишайников-эпифитов по накопительной способности, проведено зонирование исследованных территорий по накоплению тяжелых металлов. Другим важным и интересным результатом этого раздела является то, что в результате исследования с применением математических

и картографических методов выявлены пути миграции поллютантов от основных источников загрязнения в пределах городской территории.

В разделе 4.4 изложены результаты токсикологического анализа образцов лишайников из разных точек сбора в пределах исследуемой территории. Токсикологический анализ выполнен методами биотестирования с использованием двух тест-объектов. Определен уровень токсичности образцов разных субстратных групп, выявлены различия в токсичности эпигейных, эпифлеодных и эпиксильных лишайников из разных местообитаний. Проведено сравнение с образцами из фоновых и радиационно загрязненных территорий. Результаты токсикологического анализа образцов лишайников согласуются с результатами, изложенными в предыдущем разделе. Соискателем показано, что индекс токсичности проб связан с содержанием ТМ в тестируемых объектах прямой зависимостью и выявляет общие токсические эффекты и даны практические рекомендации по использованию комплекса биотоксикологических и химико-аналитических методов.

Основные положения, выводы и практические рекомендации рассматриваемой работы являются новыми, хорошо обоснованными и достоверными, т.к. получены на основании анализа и обсуждения значительного количества хорошо обработанного оригинального материала. Результаты работы имеют большое практическое значение, и уже нашли свое применение в научно-исследовательских и образовательных программах.

Основное содержание рассматриваемой работы изложено в 25 научных работах, из них 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 1 – глава в рецензируемой монографии. Результаты работы доложены на 11 международных и 4 всероссийских конференциях. Содержание автореферата полностью соответствует диссертационной работе.

Несмотря на отмеченные выше, в сущности, небольшие недостатки и дискуссионные вопросы рассматриваемой диссертационной работы ее автор, Сафранкова Екатерина Алексеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.08 – Экология (биологические науки).

Научный сотрудник
Лаборатории низших растений ЦСБС СО РАН,
к.б.н.

Е.В. Романова

29.05.2014 г.

