

А.Ю. Борисов, В.В. Герасименко

**БИОМОНИТОРИНГ БОРОДИНСКОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ
ФЛЮОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА**

Исторические земли и ландшафты, а Бородинское поле относится к этой категории, должны быть тем местом, где созидательные силы природы и человека должны встречаться и усиливать друг друга. Именно в них заключен огромный потенциал для духовного развития нашего общества.

Исторические земли и ландшафты, а Бородинское поле относится к этой категории, должны быть тем местом, где созидательные силы природы и человека должны встречаться и усиливать друг друга. Именно в них заключен огромный потенциал для духовного развития нашего общества. Выявление источников экологической деградации исторических земель на ранних стадиях методом флуоресцентного биомониторинга дает возможность целенаправленно влиять на практику современного землепользования и на сохранение исторических ландшафтов как материальных памятников, как центров исторической жизни, развития природы в связи с известным каждому глобальным масштабом экологических проблем.

Вплоть до нашего времени фотосинтез, т.е. мир водорослей, растений и мельчайших фотобактерий, а это более половины живой материи земли, исправно кормил, одевал человека, давал ему материалы для строительства и других технологических нужд, многие медицинские и парфюмерные препараты, красители и прочее. При этом фотосинтез авторегуляторно поддерживался на уровне, обеспечивавшем его равновесие с животным миром и человеком. Это равновесие - круговорот осуществлялось в нашей природе многопланово, включая целый ряд природных элементов, таких как углерод, фосфор, азот, сера, калий, натрий, магний, марганец и, что самое важное, -кислород. Животный мир потреблял кислород и выдыхал углекислый газ, а фотосинтезирующие растения, наоборот, дышали углекислым газом и выдыхали ненужный, и даже опасный для них кислород. В таком цикле Земля могла бы существовать еще долгий космический срок, если бы не наступление эры цивилизации, которая изменила все кардинально в течение нескольких столетий. Произошли изменения в том, что казалось неизменным. Круговороты веществ вышли из равновесия. Природа нашей планеты построена на диво разумно - мы уже имели возможности убедиться, что она, сходно с живыми организмами (!) реагирует на любые отклонения от этого равновесия в сторону его восстановления, но, увы, масштаб времени на эту реакцию у нее также соответственный, по крайней мере, столетия. Это означает, что вызванные нашей цивилизацией за последние десятилетия резкие изменения окружающей среды в масштабе времени природы эквивалентны взрыву. Следовательно, нам необходимо на переходный период взять на себя функции восстановления природных циклов веществ, если мы не хотим допустить быстрой гибели человечества, "Дыхание" нашей промышленности и транспорта потребляет примерно столько же кислорода и выделяет соответствующее количество углекислого газа, сколько и дыхание животного мира. Наша промышленность производит огромное количество неестественных для природы веществ и соединений, таких как моющие средства, гербициды, дефолианты, искусственные пластики, которые неизбежно попадают в окружающую среду, из нее - в растения и животных, а затем - в наш организм. Наша энергетика и транспорт наряду с углекислым газом "выдыхают" массу вредных веществ, типа недоокисленных соединений или даже радикалов углерода, азота, свинца, цинка, ртути, различные кислоты и др., которые способны вызывать заболевания типа рака как у животных, так и у растений. Заболевания эти необходимо лечить не только у людей, но и у наших друзей-растений, без которых нам не выжить. Лечение же невозможно без хорошей диагностики, причем особенно важно проводить диагнозы еще на ранних стадиях, когда больным (лесам, полям, лугам) еще не поздно помочь. Когда мы видим хиреющие от кислотных дождей леса - это уже последняя, можно сказать предсмертная стадия болезни. Как и в медицине, необходимо определять состояние растительных экоценозов значительно раньше, когда внешне болезнь еще не проявилась. В большинстве случаев это можно выявить с помощью флуоресцентного метода.

Флуоресцентный метод диагностики состояния природной среды (природных экоценозов)

Флуоресценция - это некоторое универсальное природное явление: любая

материя, которая способна поглощать свет, может также его излучать. Известно, что свет флуоресценции отличается по цвету от света, облучающего вещество. Обычно излучаемый свет флуоресценции мы не замечаем, так как он довольно слаб и поэтому теряется в массе рассеянного и отраженного возбуждающего света. Чтобы различить флуоресценцию без оптических приборов и приспособлений, необходимо осветить предметы невидимым ультрафиолетовым светом, например, от ртутной лампы. В таких условиях каждое вещество светится характерным только для него видимым светом - светом флуоресценции. Особенно ярко светятся различные красители, в том числе природные. Из них самым распространенным, несомненно, является хлорофилл, который придает зеленый цвет всем растениям и водорослям. Этот краситель является главным поглотителем энергии солнечного света, которая преобразуется в специальных микросиловых "станциях" растений - хлоропластах, обеспечивая энергией жизненные процессы в мире фотосинтеза. При освещении раствора хлорофилла в спирту или просто зеленого листа ультрафиолетовым светом ртутной лампы или сине-фиолетовым видимым светом, хлорофилл и лист светятся ярко-красным с рубиновым оттенком светом флуоресценции, причем раствор хлорофилла светится на порядок ярче. Последнее свидетельствует о том, что большую часть поглощенной световой энергии хлорофилл листа направляет в "биологический котел", где перерабатывает в биохимическую энергию, от чего на остальные, естественные для всех молекул каналы ее растраты (превращение в тепло и флуоресценцию), остается тем меньшая доля, чем активнее идут процессы фотосинтеза, связанные с преобразованием энергии поглощенного света в биологическую. Это последнее обстоятельство и было положено в основу метода флуоресцентной диагностики. У людей и высших животных ранняя диагностика осуществляется, как мы знаем, простым измерением температуры тела с помощью градусника. Этот метод, конечно, не позволяет опознать конкретную болезнь, зато он довольно универсален и весьма надежен. Для растений, однако, он не применим, так как их листья очень тонки и не имеют защитных тепловых покровов, как у животных, иначе они не могли бы поглощать солнечный свет. Единственный тепловой механизм у листьев связан с их способностью защищаться от смертельного для их белков перегрева за счет испарения воды, в остальном они принимают температуру окружающей среды и могут функционировать в широком интервале температур. Поэтому для определения признака заболевания растений был выбран иной критерий, который, кстати, справедлив и для животных - это "отсутствие аппетита". Возможно, врачи также предпочли бы этот критерий при диагностике пациентов, если бы существовал быстрый и надежный способ количественного измерения степени потери активно, т.е. эффективно преобразуют энергию поглощаемого солнечного света в биологическую и затем тратят ее на синтез белков, углеводов, жиров и иных соединений, необходимых для их жизнедеятельности. В силу конкуренции этого фундаментального процесса усвоения энергии с тривиальными молекулярными потерями их хлорофилл излучает весьма слабую флуоресценцию. Однако, как было продемонстрировано в большом количестве экспериментальных работ со многими растениями, помещаемыми в те или иные стрессовые и аномальные условия, флуоресценция их хлорофилла всегда реагирует на них ростом интенсивности и изменением цвета на более темно-красный. Основанный на этом важном факторе метод диагностики показал свою надежность для многих стрессов и болезней, вызываемых, например азотным голоданием, загрязнением почв тяжелыми металлами, гербицидами, дефолиантами. Одним из пионеров этого метода следует считать российского исследователя В. Карнаухова из научного центра в г. Пущинона - Оке. В. Карнаухов и его сотрудники провели ряд важных экспертиз состояния здоровья больших эценозов в некоторых заповедниках и заказниках России, сделали хорошо обоснованные прогнозы их динамики при наличных и рекомендуемых условиях, смогли обнаружить скрытые источники загрязнения реки Оки. Флуоресцентный метод довольно широко применяется в наше время в некоторых странах Европы. Он позволяет разработать

количественные критерии при измерениях в различных условиях, определить объективные оценки нагрузок на воздух, почвы и водные бассейны, вызываемых производством, транспортом или просто большими скоплениями населения в крупных городах. Эти критерии четко определяют границы, при переходе которых изменения в растительных экоценозах становятся необратимыми, что через 5 - 10 лет неизбежно вызовет тяжелые последствия в животном мире, в том числе и у людей. В современном варианте флуоресцентный метод диагностики стал более мобильным, теперь не обязательно доставлять образцы листьев или водорослей в лабораторию и измерять их флуоресценцию на дорогих стационарных спектрофлуориметрах, поскольку спроектированы и построены легкие полевые приборы. Выявлены растения (хвойные - для анализа загрязнения воздушной и некоторые 5-10 лет неизбежно вызовет тяжелые последствия в животном мире, в том числе и у людей. В современном варианте флуоресцентный метод диагностики стал более мобильным, теперь не обязательно доставлять образцы листьев или водорослей в лабораторию и измерять их флуоресценцию на дорогих стационарных спектрофлуориметрах, поскольку спроектированы и построены легкие полевые приборы. Выявлены растения (хвойные - для анализа загрязнения воздушной и некоторые водоросли для анализа загрязнения водной среды), листья которых могут сохранять нужную флуоресцентную информацию в течение 2-3 дней. Метод перешел в разряд экспресс - методов - один сотрудник на велосипеде может за день сделать диагностические измерения, выявляющие экологическую ситуацию на территории в несколько квадратных километров! Повторение подобных измерений через один-два года позволит объективно выявить динамику экологического состояния окружающей среды и на основе этого спрогнозировать ее в течение ближайших лет, определить запас восстановительных возможностей окружающей среды и степень ее защищенности от конкретных физических и химических воздействий. Таким образом, при широком внедрении флуоресцентного метода в практику, можно объективно-количественно оценивать многие воздействия на живую природу.

Молекулы и история

Закономерная иерархичность живого — биополимеры, клетки, органеллы, ткани, органы организма, биогеоценозы — и органическая взаимосвязанность каждой ступени со всеми остальными — позволяет судить об экологических проблемах на молекулярном уровне. Современные инструментальные методы дают возможность получать точные цифры даже незначительных доз и концентраций великого множества новых веществ и соединений, порожденных техносферой. Так называемый метод предельных допустимых концентраций по своей сути механистичен и при всей громозкости малопрактичен при борьбе с комбинациями вредоносных веществ - "адскими" смесями, возникающими каждый день. Метод ПДК скорее ассоциируется с чахлой растительностью под трубами, а между тем экология подразумевает развивающуюся многообразную природу на фоне стремительного распространения техносферы. Здесь не обойтись без биоиндикаторов. Природа обладает сверхчувствительностью, смысл которой в возможности приспособиться к новым условиям существования. Часто возникают софизмы "ведомственных" экологов о том, что изменения в природе - еще не повод для юридических санкций, что в конце концов природа ко всему приспособится. Но приспособление еще не гарантия выживания, то есть, видимость может восприниматься благополучнее реальности. Кроме окончательной гибели, может быть затянута расчленение биогеоценозов, неминуемо ведущее к тому же. Найти тонкую границу этой, так сказать, положительной адаптации призвана система растений-биоиндикаторов.

Создание системы растений-биоиндикаторов

Любое растение является, технократически говоря, биологическим усилителем сигнала и определителем биологической значимости воздействия или суммы воздействий. И в зависимости от масштаба наблюдений за динамикой условий среды, который мы выбираем как в пространственном, так и во временном отношении, существует соответствующий этим пространственно-временным нишам вид растений. Причем выбором этого вида - биоиндикатора и его распространением (а это, как правило, должен быть массовый вид) мы способны задавать вектор желательных направлений дальнейшего развития биогеоценозов. И в связи с общей, глобальной экологией в этом отношении замечательны хвойные леса. Именно хвойные леса обладают одним из наиболее выраженных балансов по выделению кислорода и поглощению углекислого газа. Это предопределяет высокую чувствительность хвойных лесов к биологической чистоте атмосферы и меньшую зависимость от питательных свойств почв. Объективные показатели говорят о том, что пылеулавливающие способности хвойных лесов в десять раз значительнее, чем у других лесов. Необходимо учитывать закономерность смены хвойного (соснового) леса лиственным. И хотя эти процессы вековые, все же человеку надо знать законы своего влияния и использовать их не в ущерб видовому разнообразию. Правомерно задать вопрос: как соотносится данный метод с традиционными измерениями техногенного загрязнения атмосферы по суммарным выбросам пыли и газов городами (в тоннах в сутки). На экологической карте Московской области 1993 года мы увидим, что все города обведены концентрическими кругами уровней загрязнения воздушного бассейна. Самый внешний из них отстоит от городской черты в среднем на 10 км, в зависимости от направления преобладающих ветров, "с повышенной пылевой нагрузкой в 5 и более раз выше фона и превышением суммарного показателя концентрации вредных веществ в пылевых выпадениях менее чем в 10 раз выше фона". Но как можно руководствоваться такой картой в практической работе? Считать ли все окрестности загрязненными или чистыми и что происходит за их чертой? И как знать, не расплзается ли это пятно, как чернильная клякса, по промокательной бумаге? Флуоресцентный биомониторинг позволяет увидеть всю картину в динамике. К примеру, Ступино находится в 50 км от Приокско-террасного заповедника и по экологической карте его влияние не достигает заповедника. Но флуоресцентный мониторинг хвои сосны весьма красноречиво свидетельствует об обратном. Начатый в 1980-х годах, он показывал только сезонные колебания загрязнения атмосферы в зависимости от отопительного сезона (сказывалось действие котельных недалеко расположенного Серпухова), в первую очередь, из-за применения высокосернистых углей. Кстати, сейчас во всем мире используется уголь все более низкого качества в связи с топливным кризисом. Какое-то время летние замеры свидетельствовали, что репарационные способности еще не исчерпаны и соотношение пиков флуоресценции митохондрий и хлоропластов (органелл, связанных с энергетикой клетки, причем первые выступают в роли ТЭЦ, а вторые - гелиостанций) восстанавливается практически до прежнего уровня. Но с постройкой высотной трубы в Ступино в 1982 году репарационная способность исчерпалась, летние кривые уже не достигали прежнего положения, пульсации сгладились, но уже на другом, более низком уровне. В то время как в непосредственной близости от Ступино обстановка, по-видимому, даже несколько улучшилась. Очевидно, разработчики преследовали цели снизить уровень загрязнения ниже допустимого. Однако данные флуоресцентного мониторинга показывают, что в какой-то мере успокоив жителей, дома которых расположены вблизи высотной трубы, разработчики "размазали" загрязнение, как минимум, по пяти южным районам Московской области, но не настолько тонким слоем, чтобы природа с этим справилась. Совершенно ясно, что сверхвысокие для воздуха и сверхглубокие для моря трубы без надлежащей очистки -

это тихое, но основательное уничтожение природы. И метод флуоресцентного биомониторинга - один из немногих, способных предотвратить такое убийство экосферы через ее оскудение. Сам метод флуоресцентного биомониторинга концептуально связан с последними достижениями в области молекулярной биофизики и соотносится с биологическим воздействием малых доз и концентраций. Широкий класс веществ может быть отнесен к биологически активным веществам, оказывающим действие в химически исчезающих, следовых концентрациях (порядка 10^{-12} м), приближающихся к числу Авогадро, когда молекулы можно уже считать поштучно. Живая природа обладает способностью по существу информационного реагирования на появление нового фактора задолго до его силового воздействия. То есть, эволюционно предвидение лежит в самой основе живого, а не возникает только лишь с формированием центральной нервной системы. Так, при появлении нового химического вещества, ранее незнакомого, скачком увеличивается частота естественных мутаций именно тех ферментов, которые ускоряют реакции веществ, наиболее сходных с вновь появившимися. Эти молекулярные механизмы являются более серьезной основой прогрессивной эволюции, чем классическая дарвиновская борьба за существование. Перед растением в процессе развития всегда стоит вопрос: что тратить на себя (на выживание) и что на развитие (продуктивность). Гены предоставляют растениям свободу выбора в зависимости от внешних условий. Синтез нового белка в ответ на изменение условий (тепловой шок, появление ртути) может начаться уже через десять минут. В частности, белки, синтезируемые в ответ на поступление ртути, обладают повышенной хелатирующей (обволакивающей) способностью, направленной на нейтрализацию вредного действия ионов тяжелых металлов. На этот выбор влияют ничтожно малые концентрации. В опытах на теплокровных животных (мышьях) по методике стандартизированного, так называемого порционного кормления показано, что присутствие биологически активных веществ в ничтожно малых концентрациях совершенно однозначно сказывается на весе животных, то есть на обмене веществ. Как уже говорилось, растения преобразуют световую энергию в химическую с помощью специализированных структур - хлоропластов. Часть световой энергии при этом высвечивается обратно, причем эта часть весьма мала (не более 4%, что практически близко к термодинамическому пределу).

Поддержание структуры этой своеобразной гелиостанции - непростая задача для живой клетки. Другими словами, хлоропласт - это в значительной мере динамическая структура. Преобразованная в химическую в хлоропластах световая энергия далее используется в митохондриях, при этом энергетика клетки отражается на флуоресценции метаболитов (промежуточных звеньев в биохимической цепочке питания). Иными словами, наблюдаемые спектры флуоресценции весьма информативны и адекватны использованию растений как биоиндикаторов. По флуоресценции всходов можно предсказывать урожайность. Технически при этом могут использоваться передвижные лаборатории, самолеты, вертолеты, спутники. Исследование флуоресценции с целью дистанционной диагностики - одна из приоритетных программ НАСА. Флуоресцентный мониторинг традиционно используется в океанологии. Г. С. Карбышева в своей книге "Флуоресценция в океане" (Л., 1987) пишет: "Полоса флуоресценции хлорофилла в живых частицах имеет сложную форму. Ее максимум находится при 680 - 690 нм, а между 710 и 740 нм лежит "плечо", положение и крутизна которого варьируют от одного растения к другому в соответствии с содержанием различных форм хлорофилла а." Сам термин "форма хлорофилла а" мало что объясняет, поскольку молекула "хлорофилла а" синтезирована химически, и истинные его растворы в органических растворителях имеют "менее красный", чем в природе основной максимум около 660 нм. Удивительно, но до последнего времени считалось, что красный сдвиг хлорофилла

обязан кристаллам хлорофилла или "кристаллическим формам хлорофилла", в то время как экспериментально давно уже подтверждено, что фотосинтетический аппарат состоит из пигмент - белковых комплексов и именно белок управляет спектральными сдвигами. Белок, точнее - фундаментальное свойство белковых глобул, способность к эффективному внутриглобулярному переносу электрона, задает высокую эффективность первичным стадиям фотосинтеза, а не уникальному расположению пигмента на белковой "подложке", как утверждалось ранее. Как раз изменения в ансамблях хлорофилл-белковых комплексов отражаются в спектрах флуоресценции, как, в частности, степень кооперативности, изменяющаяся в зависимости от внешних условий. При ухудшении условий питания, других стрессах кооперативность, как правило, возрастает. Известны грибы актиномицеты, которые при хороших условиях существуют как одноклеточные, а при их ухудшении собираются в многоклеточные структуры с возможностью последующего спорообразования через дифференциацию тканей. Любые физиологические стрессы, воздействующие на клетку, на ее органеллы изменяют хлорофилл-белковые комплексы. Как тенденцию отметим увеличение красного пика 740 нм при ухудшении условий, что свидетельствует об усилении взаимодействия. Поскольку решение экологических вопросов затрагивает непосредственные экономические интересы, неизбежны возражения, зачастую абсурдные, оправдывающие ту или иную хозяйственную активность. Надо отметить, что для отдельных видов растений (сосна, лишайники) эффективность метода подтверждается многолетними исследованиями с контрольными опытами для различных почвенных и других условий. В целом, правильно выбрав растение-биоиндикатор, мы можем следить за состоянием воздушной среды, почвенных и гидрологических факторов. Так, накопление фосфатов в речном иле до определенного времени не оказывает влияния на водоросли, не имеющие разветвленной корневой системы. Флуоресценция подорожника, в отличие от сосны, указывает на конкретные почвенные условия произрастания. Правильным выбором растения-биоиндикатора можно также определять масштаб получения средних значений, разделяя колебания, тенденции и тренды.

Флуоресцентный мониторинг воздушного и водного бассейна Бородинского заповедника

Сброс в реку неочищенных сточных вод приводит к сильному первичному и вторичному (бактериальному) ее загрязнению. При сбросе сточных вод, прошедших предварительную очистку, может не быть сильных изменений. Однако постоянное действие даже относительно хорошо очищенных сточных вод необходимо контролировать, при этом в качестве биоиндикаторов используются водоросли. Из спектров люминесценции может быть извлечен безразмерный параметр XV, представляющий собой отношение интенсивности флуоресценции длинноволновой полосы энергозапасяющего хлорофилл-белкового комплекса 730 нм к его коротковолновой полосе с длиной волны 680 нм.

Исследованиями установлено, что это. отношение отражает изменение кооперативности работы хлорофилл-белкового комплекса и крайне чувствительно к биологически значимым, важным изменениям условий окружающей среды. В нормальных условиях величина этого параметра лежит в области 0,2 - 0,5, но может расти, в частности при действии сточных вод, до 4,5 и более. Увеличение параметра XV у водорослей происходит при повышении в среде их обитания концентрации органических веществ, а также нитратов и фосфатов (рис.1). Для проверки и количественной оценки состояния реки Колочь в семнадцати точках по течению реки отобраны образцы водорослей нескольких видов (см. рис. 2). Обработка данных по спектрам их люминесценции показала, что значения параметра лежат в пределах физиологически

нормальных (0,2 - 0,5) условий. Вместе с тем, параметр АУ показал рост в связи с поступлением органических и минеральных веществ из вероятных стоков из населенных пунктов, расположенных вблизи реки и возможных влияний притоков.

Первые пробы, отобранные у железнодорожного моста вблизи станции Колоочь, указывают на предыдущий участок умеренного поступления органических веществ, который затем сменяется естественным очищением вод. Повышение параметра ЛУ далее начинается между точками 4 и 5, несколько ниже впадения реки Сетки, что свидетельствует о поступлении стоков у деревень Фомкино и Александрове, с несколько повышенным, но допустимым содержанием органических и минеральных веществ. Далее до западных окраин села Бородино опять наблюдается участок естественного очищения. С западных окраин села Бородино идет устойчивое повышение параметра ЛУ, связанное, по-видимому, с поступлением множества мелких бытовых стоков. На некоторое влияние притоков вблизи села Бородино может указывать рост параметра \У между точками 10 и 12, однако существенных изменений в картину они не вносят и максимум параметра наблюдается после села Бородино. Сравнительно быстрое очищение вод далее по реке указывает на маломощность, хотя и возможную множественность стоков в пределах населенного пункта. Дальше на фоне очищения (общего падения параметра XV) прослеживается влияние деревни Новое Село, но оно слабее, чем у села Бородино. В пробе 17 сказывается, по всей вероятности, застойное течение вблизи устья перед впадением в Можайское водохранилище. Итак, можно отметить, что параметр ЛУ для реки Колоочь говорит об относительно хорошем ее экологическом состоянии. Однако уже сейчас видны тенденции экологического давления, на которые следует обратить внимание, в частности, на стоки у деревни Фомкино и санитарный порядок у села Бородина. Количественные значения параметра XV (см. рис. 1) могут служить точкой отсчета при решении экологических проблем, связанных с рекой Колоочь в будущем. Отбор проб был проведен 12 — 13 августа 1992 г.

На рис. 2 показано, как в результате усиления загрязнений на одном из участков может произойти резкое ухудшение ситуации, так как восстановительные силы реки в этом месте исчерпаны.

Обратимся к состоянию воздушного бассейна на той же территории заповедника "Бородино". Различие почвенных условий сильнее отражается на форме дерева, чем на спектрах флуоресценции. Существует четкая корреляция между формой спектра люминесценции клеток складчатой паренхимы хвои и степенью загрязнения среды места обитания *Pinus sylvestris*. Для хвои из района, в котором нет источников загрязнения, типичен спектр люминесценции с преобладанием полосы излучения хлорофилл-белкового комплекса.

По мере увеличения загрязненности воздушной среды в спектрах люминесценции уменьшается интенсивность полосы излучения хлоропластов и увеличивается интенсивность полосы окисленных флавопротеинов митохондрий. Безразмерный параметр $\omega_{\text{хк}}$ - отношение этих пиков, дает численный критерий загрязнения воздушной среды. Загрязнение воздушной среды снижает эффективность фотосинтеза и активизирует запасную митохондриальную систему энергообеспечения. Но после израсходования питательных веществ клетки, при длительном существовании такой ситуации неизбежно обесцвечивание хвои за счет уменьшения хлорофилла, а затем и некроз хвоинок. Исследование хвои сосны, взятой 4 февраля 1993 года с помеченных на карте деревьев в окрестностях станции Бородино и села Бородина, показало следующее.

В целом местность можно отнести к среднезагрязненным, возможно длительное воздействие источников загрязнения г. Можайска, закономерно ухудшение чистоты воздушной среды рядом со станцией и селом Бородино. (Номер дерева 2, 6). Четко проявился локальный источник загрязнения - котельная больницы, рядом с которой фиксируется область сильного и даже

очень сильного загрязнения. Один из существенных выводов предварительных исследований: в связи с тем, что репаративные способности исчерпаны, любые новые локальные источники загрязнения вызовут быструю деградацию растений.

Перспективными направлениями развития флуоресцентного биомониторинга исторических территорий, к которым относится заповедник "Бородинское поле", могут быть:

- создание единой системы оценки состояния воздушной среды, рек и водоемов заповедника с помощью растений-биоиндикаторов;
- стандартизация отбора проб для люминесцентных измерений;
- картографирование деревьев-биоиндикаторов, обнаружение больных растений, разработка рекомендаций для дополнительных лесонасаждений;
- фиксирование люминесцентного контроля, выявление динамики постоянных трендов при периодических сезонных колебаниях; в частности, уточнение динамики состояния водных бассейнов по люминесценции водорослей.

Интерес представляет локализация и исследование местных источников загрязнений, находящихся на территории заповедника, выявление внешних источников и выяснение направления их действия, оценка наиболее опасных направлений.