

ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ МАГНИТОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЗАПОВЕДНЫХ И РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ РОССИИ

В.В.Александров, Е.Е. Авраменко, Е.А. Кичигин, Б.В.Александров

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПб ГПУ)

Введение.

В заглавии темы доклада сформулирована задача, отвечающая новой острой необходимости практически оценить экологическую ситуацию на озелененных территориях – в заповедниках, городских садах и парках, на лесных и сельскохозяйственных угодьях.

Магнитобиологические исследования, сопряженные с познанием царства растений и животных, развиваются давно и хорошо известны не только участникам Конгресса.

Поэтому синтез научной и прикладной деятельности в данной проблеме настолько ярко проявляется, что оппонентам будет трудно задавать наболевший и неуклюжий вопрос – «А когда ваша деятельность окупится, или, проще говоря, когда вы внесете деньги в казну?» А теперь по существу.

Методология исследований

Вокруг любого биологического объекта в процессе его жизнедеятельности возникает сложная картина (суперпозиция) физических полей *. И естественно, что живой объект, как и любое физическое тело, должен быть *«источником равновесного электромагнитного излучения»* [Кибернетика живого: 1984. С.111]. Например, подобное излучение от теплокровного объекта далеко «уходит» от его поверхности, попадая в определенные частотные окна прозрачности – каналы информации, – которые являются областями взаимодействия внутренних структур живого объекта с внешними полями геосферы. Низкочастотное ЭМИ в значительной мере экранируется высокопроводящими тканями биообъекта. Это затрудняет решение обратных задач: по измеренным величинам электрического потенциала $\Delta\phi$ вблизи поверхности тела определить источник таких полей внутри объекта. В низкочастотной области излучения (видимо, в пределах до 1 кГц) должны наблюдаться и магнитные поля, связанные с электрическими токами в проводящих тканях, сопровождающими физиологические процессы (ионные токи). В отличие от электрических полей магнитные поля не экранируются тканями объекта, поэтому, регистрируя МП, можно с большей достоверностью выявить их источники. Это важно вплоть до расшифровки деятельности мозга и других внутренних органов, что уже весьма успешно осуществляется в медицинских исследованиях и лечении заболеваний разной этиологии. Помимо выявления названных выше каналов (окон) необходимо синхронное измерение комплекса физико-химических характеристик среды – газовый и аэрозольный состав, концентрацию ионов, т.к. в процессе метаболизма биообъект вносит в нее возмущения, при которых меняется удельная электрическая проводимость χ и диэлектрическая проницаемость ϵ сопредельных участков всех компонентов среды (твердой, жидкой и газообразной фаз). Существенную пользу в таких исследованиях должны обеспечить современная аппаратура дистанционного зондирования (по аналогии с космическими и физиологическими задачами).

Применяя новые методы медико-биологического контроля теплокровных животных и человека к исследованию растений, можно на ранней стадии состояния их регуляторных систем и функций выявить изменения, приводящие впоследствии к патологии. Здесь мы вплотную подходим к рассмотрению задач, связанных с электрическими и магнитными биотропными реакциями растений на воздействие внешних факторов (источников) ЭМП и ЭМИ. *Таким образом, определяется первая часть нового методического подхода к изучению фитоценоза – биомагнитному (физиологически оправданный метод).*

Следует подчеркнуть, что биомагнитные сигналы очень слабы, и регистрация их – непростая физическая задача. Это объясняется высоким уровнем магнитных шумов в пространстве. Напомним,

* В настоящем тексте рассматриваются только физические поля, связанные конкретно с электромагнитными явлениями. – прим. Автора.

что индукция квазистационарного (постоянного – нормального поля Земли) имеет порядок $5 \cdot 10^{-5}$ Тл, квазиперемеменный геомагнитный фон (включая городской шум) $\approx (3-6) \cdot 10^{-7} \div 10^{-8}$ Тл, ферромагнитные частицы индуцируют сигнал $\approx 10^{-6} \div 10^{-9}$ Тл, а сетевая помеха – $10^{-8} \div 10^{-10}$ (при частоте $10^2 \div 10^3$ Гц). Поэтому основная задача биомагнитных измерений – это применение специальных мер защиты от помех. Именно поэтому широкое внедрение биомагнитного метода в практику экологических исследований отстает от современных хорошо оснащенных в техническом отношении космических и медицинских достижений. С другой стороны, магнитные шумы в окружающем пространстве являются слабыми флуктуациями собственно геомагнитных и промышленных, индуцируемых электроустановками. Это способствует использованию простейшего подхода для избежания внешних, в основном антропоферных, магнитных шумов, т.е. желательно измерения проводить непосредственно в природных условиях, вдали от существенных аномалий МП Земли и размещения электрических машин. Для биомагнитных измерений станет возможным применение приемного устройства типа «сквида»*. Известен эффект реакции живого дерева (береза) на удар по стволу в результате которого был зафиксирован радиометром импульс электрического поля $\Delta\Phi$ [Электромагнитные поля в атмосфере и их биологическое значение, т.1, М.: Наука, 1984, С.122]. Безусловно, при такой высокой чувствительности магнитометров на основе «сквидов» необходимо следить за колебаниями ΔB_z в течение суток (есть вероятность геомагнитных возмущений в пределах 100 нТл – слабая магнитная буря). Значение максимальной скорости изменения ГМП в полдень, т.е. $\text{grad } \Delta B_z$, равный примерно 0,3 нТл/мин, можно не учитывать, т.к. он на 4 порядка меньше фоновых значений ГМП (при кратковременном измерении в одной точке).

Вторая часть нового методического подхода к изучению фитоценоза весьма очевидна – геоботаническая. Геоботаника как наука сформировалась в XIX в., когда этот термин одновременно предложили в 1866 г. А. Гризбах и Ф.И. Рупрехт. С начала XX в. установилось современное понимание геоботаники, и ее стали рассматривать или как синоним фитоценологии (В.В. Алехин, А.П. Шенников), или как дисциплину, объединяющую ботаническую географию и фитоценологию (В.Н. Сукачев, В.Б. Сочава). В общей цепи геоботанических дисциплин нас интересует *экологическая геоботаника*, т.е. зависимость растительности от условий природной среды [Биологический энциклопедический словарь. 1989, С. 126.]. Именно условия природной среды могут формировать зоны биологического дискомфорта, пространственно связанные как с естественными неоднородностями геофизических полей, так и с антропоферными источниками – крупными промышленными зонами, нефтехранилищами, линиями метрополитена, территориями жилищной застройки и т.д. и т.п. Как показывает практика, в таких дискомфортных условиях формируется экологическая ситуация, способствующая развитию патологии и угнетению растительности. С целью выявления патологического состояния древесной растительности проводится ландшафтная геоботаническая съемка – выявление зон, где деревья поражены различными заболеваниями (микозы; бактериальные патологии; разрушение древесной массы насекомыми и др.).

Так, например, сотрудники СПбГПУ и Лесотехнической Академии с целью выяснения геоботанического состояния древесной экосистемы в западной части парка университета провели первые поисковые работы по инвентаризации деревьев. В частности были определены **таксономические характеристики (показатели) древесной растительности***, тем более что стала очевидной так называемая **таксономия опасностей****: порода, диаметр ствола, высота, класс

* «Сквид» - от англ. *Superconducting Quantum Interference Device* – сверхпроводящий квантовый интерференционный прибор для измерения МП, основанного на использовании чисто квантовых явлений – эффекта Джозефсона и интерференции волновой функции электронных пар в сверхпроводящем кольце, содержащем джозефсоновский переход. Фактически «сквиды» - это чувствительный элемент магнитометров, обеспечивающий измерение электрического тока, магнитной восприимчивости χ_m , перемещение магнетика и т.д. [ФЭС, М.: Советск. энциклопедия. 1983. С. 660]. Чувствительность «сквидов» $\approx 10^{-15}$ Тл, а при измерении градиента МП $\approx 10^{-14}$ Тл/м.

* **Таксономия** (от таксон + гр. номос - закон) – теория и практика научной систематики и классификации. Раздел систематики, учение о соподчинении таксономических категорий – **таксонов** – от видов до систематических царств. **Таксон** (греч. таксис – расположение в порядке) – то же, что и **единица таксономическая** – группа родственных организмов, которым можно присвоить таксономическую категорию.

** **Таксономия опасностей** – классификация и систематизация опасностей по различным признакам. По происхождению опасности делятся на 6 групп: природные, техногенные, антропогенные, биологические,

Крафта, категория состояния, заболеваемость, степень повреждения. Составлен инвентаризационный план, соответствующий произрастающему насаждению на момент обследования.

Далее, каждое дерево было фитопатологически обследовано:

- территория разделена на 10 участков, ограниченных проезжими и пешеходными дорогами;
- деревья нумеровались (в натуре и на плане) по каждому участку отдельно;
- фиксировалась визуально порода дерева;
- производилась морфометрическая оценка;
- категория состояния деревьев оценивалась по 6-балльной шкале в соответствии с «Санитарными правилами в лесах Российской Федерации» [М., Экология, 1992, 16 с.].

Сведения внесены в электронную базу данных в программе *MapInfo*.

Первичные результаты показали, что в парке распространены грибковые заболевания (загнивание ствола, некрозы коры и ветвей, ржавчина и черная пятнистость листьев, мучнистая роса листьев и др.), ведьмины метлы и гнилость корней, плодовые тела различных трутовиков, дупла, сухие сучья, механические повреждения (табл. 1).

Таблица 1

Заболеваемость древесных пород

Название болезни или повреждения	Латинское название	Повреждаемая древесная порода.
Лиственные породы		
"Ведьмины метлы"	<i>Taphrina betulina</i>	Береза
Мучнистая роса	<i>r.Uncinula</i>	Береза, Клен, Ива
Некроз ветвей	<i>Nectria cinnabarina</i>	Клен, Липа, Береза
Рак ступенчатый	<i>Nectria galligena</i>	Береза, Липа, Клен
Черная пятнистость листьев клена	<i>Rhytisma acerinum</i>	Клен
Ржавчина листьев березы	<i>Mcclampsoridium bctulae</i>	Береза
Ржавчина листьев тополя	<i>Melampsora populina</i>	Тополь
Рак тополя	<i>Hypoxylon pruinaum</i>	Тополь
"Чага" (стволовая гниль)	<i>Inonotus obliquus</i>	Береза
Опенок осенний (гниль корней)	<i>Armielariella mellea</i>	Береза, Ольха
Березовый трутовик	<i>Lepzites bctulioa</i>	Береза
Хвойные породы		
Рак лиственницы	<i>Lachnellula wllcommii</i>	Лиственница
Рак сосны	<i>Peridermium pini</i>	Сосна
Некрозы ветвей сосны	<i>Cenangium abietis</i>	Сосна

С помощью ГИС-технологий из общего числа графических объектов (деревьев) выделены деревья, пораженные заболеванием *Nectria galligena* (лат.), на отдельный информационный слой, а в дальнейшем при использовании 3-го (магнитологического метода оценки экосистемы) результаты были объединены в единое информационное пространство (рис. 1).

Рассмотренные выше предпосылки для формирования нового подхода к мониторингированию природной среды на территории университета пришлось яснее и четче сформулировать, когда обострилась проблема экстренной и обязательной паспортизации рекреационной зоны.

В 2003 г. руководством СПбГПУ было утверждено распоряжение «о необходимости проведения комплексного обследования парка СПбГПУ, используя учебный и научный потенциал подразделений университета». Техническое задание №1/2003 преследовало цель – «проведение внутреннего контроля за состоянием зеленых насаждений, находящихся на территории СПбГПУ».

Опираясь на требования технического задания, Лаборатория «Электрофизика естественных экосистем» университета предложила использовать третью часть нового методического подхода –

геомагнитометрический, а в данном контексте *магнитоэкологический метод, мониторингирования зоны парка, используя главное его преимущество – экспрессность*. А далее предполагается наращивать качественность исследования, расширяя комплексность и синхронность измерений (см. первый и второй методы мониторингирования).

Методика третьей части нового подхода обследования

1. *Оценка фоновое геомагнитного поля.* Как известно, эта характеристика описывается уравнением для *нормального магнитного поля Земли К.Ф. Гаусса*. Но также известно, что «представительной математической модели ГМП до настоящего времени не создано» [Почтарев В.И. Нормальное магнитное поле Земли – М.:Наука, 1984]. Наличие аномалий делает эту задачу чрезвычайно трудной. Хотя за последние 30 лет и разработано значительное количество международных аналитических моделей ГМП, все они являются математическим описанием с различной степенью приближения наблюдаемого поля $\bar{B}$, а не нормального $\bar{B}_0$. *Нормальное поле* в магнитологии трактуется как определенный уровень отсчета, включающий основную, главную часть общего, присущего планете Земля, магнитного свойства. Понятие «нормальное поле», «нормальный уровень», «нормальный фон» применяется и в других научных дисциплинах (гравиметрии, аэрологии и др.). Необходимость сформулировать понятие нормального поля возникла в результате выявления в различных районах земного шара интенсивных аномалий в структуре ГМП, обусловленных различными геолого-физическими причинами. В основном это объяснялось присутствием железосодержащих гипермагнитных руд в земной коре. Поэтому разделение сложного явления на нормальную – главную первичную, порожденную основными (общими) причинами, и аномальную – вторичную, являющуюся неким следствием планетарных и космических взаимодействий, представляет общенаучный методологический интерес.

Без учета влияния флуктуирующих электромагнитных источников (геомагнитные колебания суточного цикла, аномальные всплески в системе Солнечно-Земных связей, сейсмические явления планетарного масштаба и т.д.), собственное ГМП, $\bar{B}$, качественно может быть представлено в виде суммы следующих структурных частей:

$$\bar{B} = \bar{B}_0 + \bar{B}_m + \bar{B}_{кр} + \bar{B}_p + \bar{B}_л + \delta\bar{B},$$

где $\bar{B}_0$ – поле диполя (поле однородно намагниченного шара с соответствующим магнитным моментом M), при этом $\bar{B}_0 \approx 80\% \bar{B}$.

$\bar{B}_m$ – поле мировых магнитных аномалий крупномасштабного характера в размере нескольких тысяч км, $\bar{B}_m \approx 10-15\% \bar{B}$.

$\bar{B}_{кр}$ – крупные региональные аномалии, выявленные сравнительно недавно, размеры $\approx 400-500$ км (реже ≈ 1000 км), $\bar{B}_{кр} \approx 1\% \bar{B}$.

$\bar{B}_p$ – региональные аномалии с поперечными размерами в пределах 30-40 км, $\bar{B}_p \approx 1\% \bar{B}$.

Кстати, мегаполис, как, например, Санкт-Петербург, можно классифицировать как некую региональную магнитоэлектрическую (переменную по интенсивности излучения) аномальную структуру.

$\bar{B}_л$ – локальные аномалии с размерами $\approx 3-5$ км, причем $\bar{B}_л \approx 1-3\% \bar{B}$.

$\bar{B}_p$ и $\bar{B}_л$ – многочисленные и распространенные классы аномалий на Земле.

$\delta\bar{B}$ – изменение среднегодовых значений ГМП в пункте наблюдения, выявленные в течение не менее 10 лет, $\delta\bar{B} \approx 0,1\% \bar{B}$.

Таким образом, основная, главная часть магнитного поля Земли,

$$\bar{B}_0 + \bar{B}_m \approx 95\%.$$

С методической точки зрения следует отметить, что долгопериодные изменения уровня ГМП за периоды 10 и более лет могут привести к серьезным ошибкам в расчете $(\bar{B}_0 + \bar{B}_m)$, поэтому

геомагнитную информацию необходимо приводить к одной эпохе, кратной 5-10 годам. Подобные интенсивные колебания осредненных значений магнитных свойств планеты обусловлены непрекращающимися активными процессами в ядре и мантии Земли (самоподдерживающееся динамо).

2. *Выявление локальных устойчивых аномалий магнитного поля $\bar{B}_L$ на территории СПбГПУ.* Рассмотренные выше основы аналитического представления структуры ГМП показывают, что при отсутствии сведений о нормальном геомагнитном поле $\bar{B}_0$ построение карт (схем) аномальных полей невозможно.

Поэтому уже с 1965 г. в СПб ФИЗМИРАН разрабатывалась модель математического описания магнитного поля Земли для территории бывшего СССР. На основе этой модели построены крупномасштабные карты ГМП, по которым можно определить $\bar{B}_0$ регионального масштаба, а далее, производя необходимые обследования, выявить локальные аномалии $\bar{B}_L$, анализируя их и соотносить с реальными источниками возмущения антропоферного характера.

Конкретно для рекреационной зоны СПбГПУ проведено:

- По картам ГМП эпохи 1980-х годов [Почтарев, 1984, с.32-33] найдена величина региональной осредненной по площади характеристики вертикальной компоненты индукции поля $\Delta\bar{B}_z \cong 48,0-48,5$ мкТл для Северо-Западного региона России с максимальной погрешностью $\delta \approx 50$ нТл (0,1%).
- План участка рекреационной зоны в масштабе 1:500 с постройками и пронумерованными деревьями разделен на микроучастки со стороной квадратной ячейки в 10 м, стороны квадрата ориентированы по странам света.
- В узлах подготовленной сетки выполнены измерения величины $\Delta\bar{B}_z$ магнитометром «НЕВА-4».
- Данные по измерениям $\Delta\bar{B}_z$ в соответствии с плановым геодезическим обоснованием были табулированы. После произведенной обработки этих данных в программе *DeltaGraph* получены результаты в виде карт-схем распределения $\Delta\bar{B}_z$ по площади парка на поверхности земли (0 м) и уровне 0,7 м от поверхности земли (рис. 1). Одновременно с измерением $\Delta\bar{B}_z$ были учтены наблюдения за переменной частью $\Delta\bar{B}_0$ (по данным Обсерватории ИЗМИРАН в г. Троицке, Московская обл.; 23-25.06.2003 г.), которые показывают, что вариации модуля индукции за период измерений не превышали амплитуды 80 нТл, т.е. 0,02%, и они не представляют серьезной ошибки при определении локальных аномалий $\Delta\bar{B}_L$.
- В качестве экологически благополучной (невозмущенной) зоны была условно выбрана территория парка СПбГПУ, где измеренные значения составляющих полного вектора магнитной индукции в период обследования равнялись:

№ точки	Магнитная индукция В, мкТл			
	Вертикальная компонента, $\bar{B}_z$	Горизонтальная компонента, $\bar{B}_x$	Горизонтальная компонента, $\bar{B}_y$	Полный вектор, $\bar{B}_z$
1	48,3	-5,3	8,0	49,24
2	46,3	-2,0	9,5	47,31
3	44,7	-2,0	10,2	45,89

Резюме. Проведенные исследования на территории парка СПбГПУ магнитоэкологическим методом, показали, что фоновый уровень квазипостоянного ГМП, оцененный по величине ΔB_z , практически соответствует данным для эпохи 1980 г., а именно – 48 мкТл. Прослеживается изменение этой характеристики в зависимости от высоты измерения: 0 м или 0,7 (над поверхностью земли). Отрицательные аномалии ΔB_L выявлены в центральной части территории вблизи строений и несанкционированной свалки, где были обнаружены негодные для употребления радиодетали. Положительные аномалии наблюдаются в северо-восточной части парка в пределах слоя от 0 м до 0,7 м, вблизи ограды территории Университета.

Можно полагать, что эти аномалии $\Delta B_{\text{л}}$ связаны с подземными источниками ЭМИ, поскольку поверхность земли экологически соответствовала СанПиН 2.1.7.1287-03 требованиям (Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы), а магнитосферные возмущения ГМП также исключаются (солнечные вспышки в период измерений не наблюдались). Наконец, модуль индукции в пределах слоя в 1 м, с высотой уменьшается. Таким образом, не исключается локализация подземной поверхностью негативного источника ЭМИ на экологию растительности и почвы, т.е. постоянное действие сниженного значения индукции $\Delta B_{\text{л}} \approx 46$ мкТл.

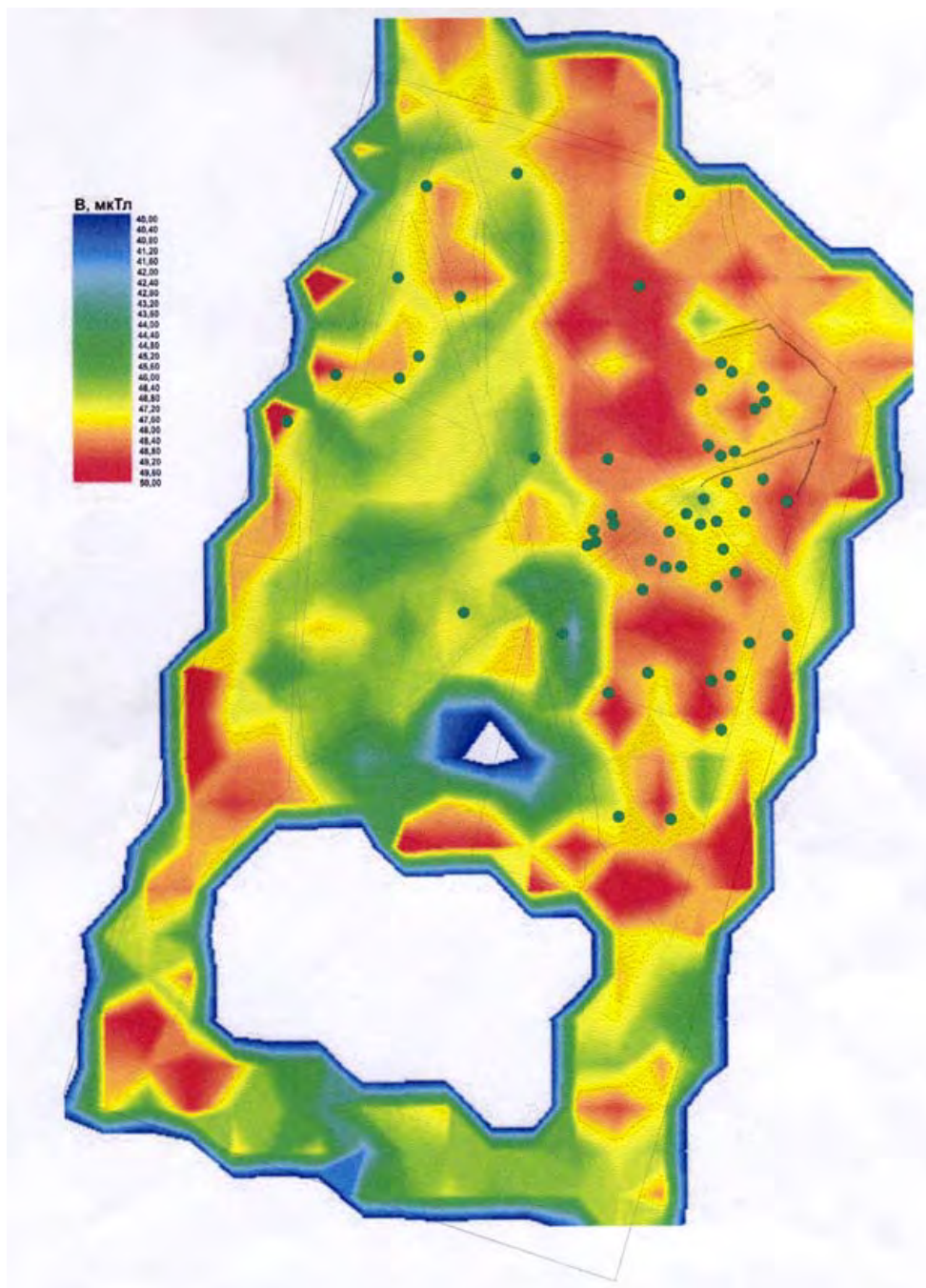


Рис. 1. Карта уровней магнитного поля на территории СПбГПУ на высоте 0,7 м от поверхности земли, совмещенная с расположением деревьев, пораженных болезнями.