

## **К вопросу использования характеристик газового разряда, индуцируемого электронно-оптической эмиссией объекта окружающей среды**

Позняк С.С.  
pazniak@iseu.by

*Международный государственный экологический университет имени А.Д. Сахарова*

*В статье приводятся результаты исследований по разработке новых подходов для оценки степени загрязненности поверхностных и грунтовых вод, атмосферных осадков и растительных объектов с использованием характеристик газового разряда, индуцируемого электронно-оптической эмиссией объекта, помещенного в электромагнитное поле высокой напряженности. Показана возможность применения метода газоразрядной визуализации при исследовании объектов окружающей среды, основанного на статических показателях их электромагнитных полей. Выявлена закономерность: чем больше степень загрязненности окружающей среды, тем больше площадь свечения объектов окружающей среды и средняя интенсивность их свечения. Для поверхностных вод наиболее информативными показателями их состояния являются распределение площади свечения, энтропия по изолинии и фрактальность по изолинии.*

**Ключевые слова:** газоразрядная визуализация, параметры ГРВ грамм, фрактальность, энтропия, интенсивность свечения, ресурс адаптации.

### **Введение**

Принципы регистрации цифровых газоразрядных изображений с последующей их компьютерной обработкой и анализом были впервые предложены и развиты д.т.н. Коротковым К.Г. в работах [3, 4]. Под его руководством на кафедре проектирования компьютерных систем Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики разработан прибор газоразрядной визуализации «ГРВ Камера», предназначенный для регистрации статических и динамических газоразрядных изображений. Прибор сертифицирован Комитетом по новой медицинской технике Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации в качестве прибора медицинского назначения и выпускается серийно.

Приборы газоразрядной визуализации, кроме исследования организма человека, могут с успехом применяться для профессиональных научных и прикладных исследований биологических и небологических объектов окружающей среды, с их помощью можно изучать жидкости и твердые вещества органического и неорганического происхождения: кровь, воду, растения, почву, минералы и т.д. [8].

Оборудование ГРВ предназначено для регистрации оцифрованных изображений газоразрядного свечения (ГРВ-грамм), возникающего вокруг объектов исследования различной природы при помещении их в электромагнитное поле высокой

напряженности и работает в комплекте с компьютером. Съемка ГРВ-грамм и управление режимами работы оборудования осуществляется с помощью программы «GDV Capture», а обработка получаемых изображений производится с использованием программного обеспечения «GDV Software». В частности обработка получаемых серий ГРВ-грамм производится в программе «GDV Scientific Laboratory», которая позволяет рассчитывать параметры изображений и выявлять статистически достоверное различие между выборками, что в значительной степени облегчает интерпретацию получаемых результатов [3, 8].

ГРВ оборудование позволяет регистрировать как статические, так и динамические ГРВ-граммы в различных режимах по длительности и по мощности электромагнитного поля воздействующего на объект исследования.

### **Метод ГРВ в исследованиях объектов окружающей среды**

Многолетние исследования в разных странах показали, что метод ГРВ является очень чувствительным при изучении свойств веществ и материалов. Во многих областях его возможности оказались уникальными.

Информативность метода ГРВ для исследования жидкофазных объектов была продемонстрирована при изучении свечения микробиологических культур (Гудакова, 1990), крови здоровых людей и онкологических больных (Коротков, 1998), реакции крови на аллергены (Свиридов, 2003), сопоставлении натуральных и синтетических, органических и обычных образцов масел (Коротков, 2004), гомеопатических препаратов (Бэлл, 2003), цветочных эссенций (Коротков, 2003), а также драгоценных камней и их влияния на человека.

Метод ГРВ используется при исследованиях геоактивных зон Земли и их влияния на человека. Факторы окружающей среды, как географические, так и космические, в первую очередь действуют на природные объекты. Измеряя их параметры в спокойных и активных зонах, можно выделять геоактивные зоны по аномалиям различных параметров (Ершов, 2004).

Принцип формирования ГРВ изображений заключается в следующем. Между исследуемым объектом и прозрачным электродом (пластиной), на котором размещается объект, подаются импульсы напряжения от генератора электромагнитного поля, для чего на обратную сторону электрода нанесено прозрачное токопроводящее покрытие. При высокой напряженности поля в газовой среде пространства контакта объекта и пластины развивается лавинный и/или скользящий газовый разряд, характеристики которого определяются свойствами объекта. Свечение разряда с помощью оптической системы и ПЗС-камеры преобразуется в видеосигналы, которые записываются в виде одиночных кадров (ГРВ-грамм) или AVI-файлов в блок памяти, связанный с процессором обработки видеок кадров. Процессор обработки представляет собой специализированный комплекс, который позволяет вычислить комплекс параметров и на их основе делать определенные диагностические заключения (рисунок 1) [4, 8].

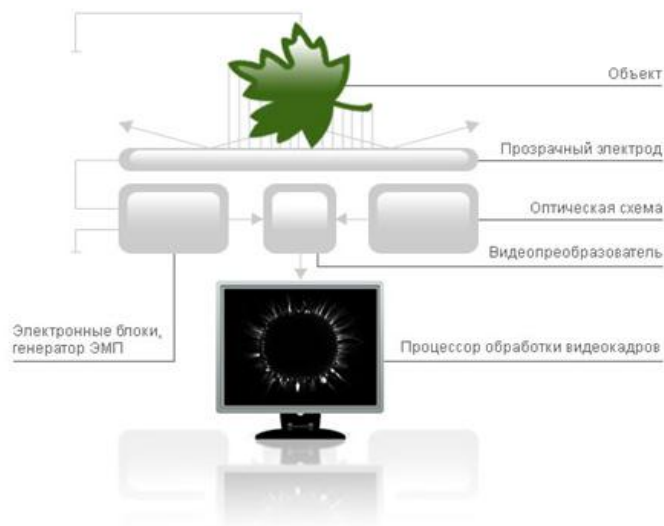


Рисунок 1. Принцип формирования изображений

Таким образом, прибор для регистрации газоразрядного свечения объектов «ГРВ - Камера» позволяет получать на экране компьютера или видеомонитора статические и динамические (подвижные) изображения свечения газового разряда (ГРВ-граммы) и сохранять их в виде компьютерных файлов (рисунок 2).

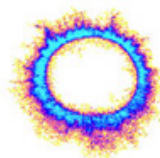


Рисунок 2. ГРВ-грамма биологического объекта

ГРВ-грамма представляет собой сложную двумерную фигуру, каждый пиксель которой характеризуется своей яркостью в диапазоне от 0 («черное») до 255 («белое»). Геометрические параметры ГРВ-грамм: площадь изображения (*определяемая как сумма пикселей выше заданного порога яркости*), коэффициент фрактальности (*определяемый как отношение длины периметра изображения к его среднему радиусу, умноженному на  $2\pi$* ) и ширина стримеров, несут информацию о характеристиках объекта [3, 4].

### Экспериментальная часть

С целью разработки и апробации новых способов оценки состояния компонентов окружающей природной среды, основанных на динамических показателях их электромагнитных полей, в рамках Государственной программы научных исследований «Научные основы комплексного использования, сохранения и воспроизводства природно-ресурсного потенциала и повышения качества окружающей среды» нами в 2011-2013 годах проведены соответствующие исследования, основными задачами которых являлись: 1) разработать новые подходы для оценки степени загрязненности поверхностных и грунтовых вод, атмосферных осадков и растительных объектов с использованием характеристик газового разряда, индуцируемого электронно-оптической эмиссией объекта, помещенного в электромагнитное поле высокой напряженности; 2) оценить возможность применения метода газоразрядной визуализации при исследовании

объектов окружающей среды, основанного на статических показателях их электромагнитных полей [6].

В качестве объектов исследования были определены поверхностные воды, снег, почва и древесные растения в зонах с различной степенью антропогенной нагрузки.

Предметом изучения являлись параметры ГРВ-грамм биологических объектов.

В процессе обработки ГРВ-грамм были рассчитаны и проанализированы следующие ГРВ-параметры для исследуемых объектов:

Площадь

Нормализованная площадь

Средняя интенсивность

Количество фрагментов

Коэффициент формы

Энтропия по изолинии

Фрактальность по изолинии

СКО фрактальности

Средний радиус изолинии

Нормализованное СКО радиуса изолинии

Длина изолинии

Радиус вписанного круга

В исследованиях других авторов ранее было установлено, что существует пять типов дефектов на ГРВ-граммах: I, II, III, IV, V [3, 4]. Каждый тип дефектов отражает энергетический потенциал биологического объекта на данный момент (рисунок 3).

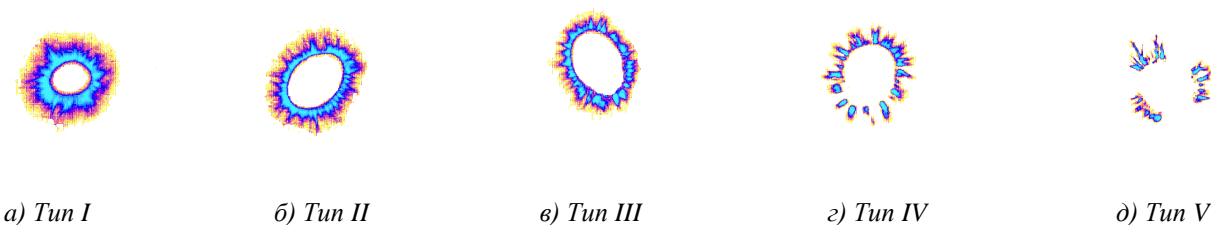


Рисунок 3. Типы ГРВ-грамм

В наших исследованиях ГРВ-граммы биологических образцов соответствовали IV и V типу, которые характеризуют энергетическое истощение организма. При этом, все исследуемые образцы характеризовались неоднородностью свечения с выбросами, что свидетельствует о дисфункциональном нарушении различного генеза.

Известно, что по отношению к основному свечению выбросы делятся на отстоящие - не имеющие непосредственной связи с основным свечением и характеризующие сформировавшийся хронизированный патологический очаг (рисунок 4) и исходящие - связанные с остальным свечением, которые характеризуют недавно начавшийся и активно протекающий острый процесс (рисунок 5) [5].

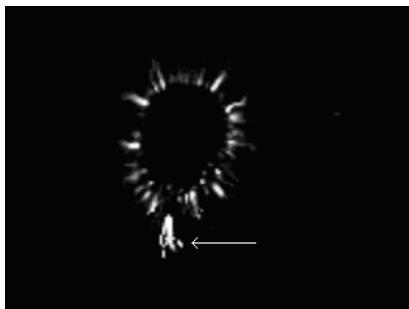


Рисунок 4. Отстоящий, разветвленный, яркий, большой выброс

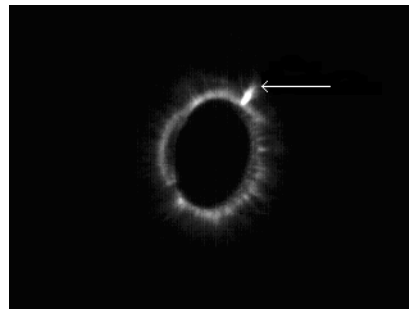


Рисунок 5. Исходящий, неразветвленный, яркий, средней величины выброс

Форма выброса, его величина и яркость характеризуют активность патологического процесса: чем разветвленнее, ярче и больше очертания выброса, тем активнее и острее процесс, который присутствует в исследуемых образцах. На некоторых ГРВ-граммах наблюдается неполная блокировка, которая свидетельствует о снижении функциональной активности в связи с его хронизацией или временном функциональном сдвиге [1, 8].

В результате исследования состояния почвенного покрова нами проводилась регистрация оцифрованных изображений газоразрядного свечения (ГРВ-грамм), возникающих вокруг образцов почвы, при помещении их в электромагнитное поле высокой напряженности с использованием прибора газоразрядной визуализации «ГРВ Камера». В процессе обработки ГРВ-грамм особое внимание уделялось расчету следующих параметров: площадь свечения, средняя интенсивность свечения, энтропия по изолинии, фрактальность по изолинии. Эти параметры являются наиболее информативными, потому что именно по ним наблюдается значительный разброс значений (рисунок 6).



Рисунок 6. Показатели ГРВ-грамм образцов почвы

В результате обработки ГРВ-грамм установлено, что образцы почвы с более плодородных (пахотных) горизонтов почвы по показателю «Площадь свечения» имеют определенное преимущество – более обширную площадь свечения. Максимальная площадь свечения отмечалась в автоморфной дерново-подзолистой почве, отобранной с верхних горизонтов (5-20 см) с тенденцией снижения площади свечения по мере спуска с окраины плакора до нижней части склона: окраина плакора → верхняя часть склона → нижняя часть склона. Параметры ГРВ изображений почвы по площади свечения находятся в пределе  $2.05 \cdot 10^{+4}$  –  $2.75 \cdot 10^{+4}$  пиксель. При этом, при увеличении глубины отбора образцов (20-35 и 35-50 см) наблюдается уменьшение площади свечения почвы [7].

Значения показателя «Средняя интенсивность свечения» проявляли такую же закономерность, как и показатель «Площадь свечения». Почва, отобранная на окраине плакора с глубины 5-20 см, имеет высокую среднюю интенсивность свечения, а на нижней части склона с глубины 20-35 см - низкую. Средняя интенсивность свечения образцов почвы находится в пределах 70 – 101 усл. единиц.

В целом, распределение площади и интенсивности свечения образцов почвы дает значимую информацию об экологическом состоянии почвенного покрова. Площадь свечения (количество пикселей с нулевой интенсивностью) является численной характеристикой двумерной (плоской или искривленной) геометрической фигуры и отражает меру адаптации организма: чем обширнее площадь свечения, тем больше у организма ресурсов для адаптации. В свою очередь показатель средней интенсивности свечения (средняя интенсивность всех пикселей с ненулевой интенсивностью) определяет количественное значение энергетического состояния объекта: чем интенсивность выше, тем больше энергии в организме [7].

Поэтому наиболее плодородные горизонты почвы (5-20 см) имеют более высокие значения площади и интенсивности свечения. Уменьшение значений данных показателей при увеличении глубины отбора образцов и по мере опускания по склону подтверждает факт вертикальной и латеральной миграции микроэлементов и тяжелых металлов по почвенному горизонту.

Показатель «Фрактальность по изолинии» отвечает за характер усвоения организмом новой информации. Слово фрактал (от латинского *fractus* – дробный, нецелый): размерность Хаусдорфа – Безиковича увеличивается по мере возрастания извилистости: равная единице для прямой, она становится равной 1,02 для слегка извилистой линии, 1,15 – для более извилистой, 1,53 – для очень извилистой и т.д.

В эксперименте прослеживается тенденция увеличения значения по направлению миграции загрязнителей: сверху вниз по вертикали, и сверху вниз по склону. В горизонте почвы 20-35 см отмечается более высокое значение фрактальности, по сравнению с горизонтами 5-20 и 35-50 см.

Показатель «Энтропия по изолинии» отражает баланс регуляции: чем больше энтропия, тем больше хаоса, тем больше дисрегуляция в организме. Малое количество энтропии отражает ригидность регуляции. В соответствии с концепциями Нобелевского лауреата И. Пригожина в процессе роста и развития организма происходит уменьшение скорости продуцирования энтропии, отнесенной к единице массы объекта. При достижении стационарного состояния суммарное изменение энтропии можно считать равным нулю, что соответствует взаимной

компенсации всех процессов, связанных с поступлением, удалением и превращением вещества, энергии и информации. Отклонение от стационарного состояния – заболевание – связано с дополнительными энергетическими затратами и ростом энтропии. В опытах значения энтропии находились в пределах 1,5-2 у.е.

Несколько отличающаяся закономерность проявления величин показателей площади и интенсивности свечения, фрактальности и энтропии по изолинии образцов почвы на нижней части склона объясняется, по-видимому, тем, что нижняя часть склона в результате почвообразования и миграции минеральных элементов по профилю преобразовалась в торфяно-минеральную, в которой аккумулируются загрязнители за счет более высокой ёмкости поглощения гумусированным органическим веществом и перераспределения загрязнителей с поверхностным стоком [7].

По нашему мнению выбранные параметры в полной степени отражают меру адаптации и количественное значение энергетического состояния почвенного покрова и свидетельствуют о неблагоприятном экологическом состоянии.

В качестве других объектов исследований выбраны наиболее распространенные виды древесных растений, находящиеся в составе зеленых насаждений вокруг промышленных предприятий города Минска: липа обыкновенная (*Tilia vulgaris*), клен обыкновенный (*Acer platanoides*) и клен ясенелистный (*Acer negundo*). У названных древесных растений в утреннее время (около 10-00 часов) в рабочие дни отбирались образцы листьев вокруг промышленных предприятий, являющихся потенциальными загрязнителями окружающей среды:

1. ОАО «Горизонт»;
2. Пивзавод «Оливария»;
3. Завод «Ударник»;
4. ОАО «Белхим»;
5. Минский часовой завод;
6. Минский тракторный завод;
7. Завод шестерён;
8. ПРУП «Минский электротехнический завод имени В.И. Козлова»;
9. ОАО «Минскпромстрой»;
10. Минский мотовелозавод;
11. ОАО «Элема»;
12. Кондитерская фабрика «Коммунарка»;
13. Минский завод колесных тягачей;
14. Минский рессорный завод;
15. ОАО «Минскдрев».

В наших исследованиях наибольшая площадь свечения листьев древесных растений регистрировалась у образцов, отобранных возле предприятий: Мотовелозавод; УПТК Филиал ОАО «Минскпромстрой»; ПРУП «Минский электротехнический завод имени В.И. Козлова», наименьшая – возле ОАО «Белхим»; Минский часовой завод [2].

Свечение листьев в разряде электромагнитных полей высокой напряженности характеризует степень устойчивости объектов к увеличению антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Параметры ГРВ изображений листьев древесных растений по площади свечения находились в пределе  $1.00E+04 - 2.00E+04$ , за исключением трех образцов клёна ясенелистного, что свидетельствует о том, что наибольшими адаптационными ресурсами обладают растения, находящиеся в наиболее загрязненном районе г. Минска, а с меньшими в менее загрязненном районе города Минска [2].

Статические ГРВ изображения с большей средней интенсивностью свечения имеют листья растений, отобранные возле: Минский завод шестерён ПРУП ПО МТЗ, РУП Минский тракторный завод; РУП Минский тракторный завод; ПРУП «Минский электротехнический завод имени В.И. Козлова», меньшей – ОАО «Белхим», ОАО «Горизонт»; УПТК Филиал ОАО «Минскпромстрой»; Минский часовой завод. Листья деревьев по средней интенсивности свечения находятся в пределе 90 – 120.

Все образцы имеют приблизительно одинаковые значения средней интенсивности свечения, которая показывает количественное значение энергии в объектах. Древесные растения в целом обладают достаточным количеством энергии, адаптационной способностью [2].

Показатели распределения площади и средней интенсивности свечения листьев деревьев зависели от степени техногенной нагрузки и уменьшались по мере размещения их в загрязненный и менее загрязненный районах г. Минска.

Значения величин фрактальности изменялись в вариантах опыта незначительно и колебались от 1,8 до 1,9.

Значение показателей энтропии по изолинии в образцах растений также входили в один числовой коридор – от 1,6 до 2,1.

Размерность СКО фрактальности образцов древесных растений колебалась от 0,1 до 0,16.

Таким образом, в результате проведенного эксперимента подтверждена возможность применения метода ГРВ для оценки состояния энергетического состояния древесных растений в условиях урбанизированной среды с использованием следующих параметров обработки ГРВ - грамм: площадь свечения, энтропия по изолинии и СКО фрактальности.

В эксперимент были также включены объекты: снежный покров и поверхностные воды водохранилищ: на Калиновского, Цнянского, Чижовского, Лошицкого, Дрозды; рек Свислочь (ул. Аранская), Титовка, Птичь, Уздянка; озер Лоша, Березовское (Глубокский р-н), Великое, Долгое, Когальное [9].

Исследование изменений молекулярных связей воды, возникающих при различных воздействиях на неё, становится всё более насущным в связи с загрязнением окружающей среды и ухудшением качества питьевой воды. Ранее проведенными исследованиями установлено, что ГРВ-показатели крови различны у здоровых и больных людей. Были исследованы также гомеопатические растворы и информационно-кодированные лекарства. Накопленный объём данных и результатов их научного исследования говорит об удивительных возможностях дальнейшего применения метода ГРВ в этой области [5].

Экспериментально установлено, что поверхностные воды озер Когальное, Березовское (Глубокский р-н), Великое характеризуются наибольшей площадью



свечения, наименьшая – присуща водохранилищам на Калиновского и Дрозды (рисунок 7).

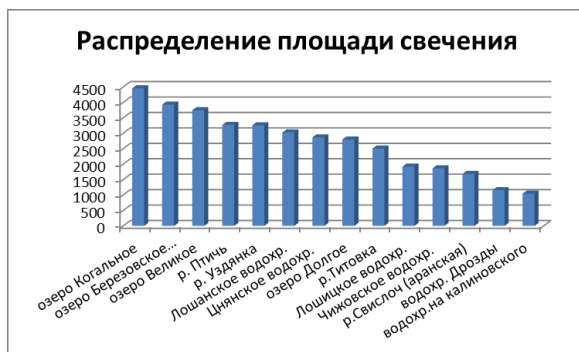


Рисунок 7. Диаграмма распределение площади свечения воды.

Параметры ГРВ-грамм воды по площади свечения находятся в пределах 1000–4500 пиксель. Более высокая средняя интенсивность свечения присуща поверхностным водам, отобранным в Ушачском и Глубокском районах Витебской области и г. Минске, меньшей – реки Титовка, Уздянка, Птичь, Лошанское водохранилище. Параметры ГРВ-грамм воды по средней интенсивности свечения находятся в пределах 40 – 130 усл. единицы. Средняя интенсивность свечения воды показывает количественную меру энергии, характеризующую способность стимулировать процессы жизнедеятельности.

Величина ресурса адаптации изучаемых водоемов характеризует возможность компонента окружающей среды приспособиться к изменениям окружающей среды. В наших исследованиях степень адаптированности поверхностных вод к загрязненности изменялась в ряду: Витебская область > Минская область > г. Минск.

Важными показателями, характеризующими состояние окружающей среды, являются параметры – фрактальность по изолинии и энтропия по изолинии.

Самое низкое значение фрактальности по изолинии отмечалось в образцах воды из Цнянского водохранилища, что вызывает особую озабоченность, поскольку это является свидетельством критического состояния объекта [9].

Значение энтропии по изолинии в водных объектах значительно ниже, по сравнению с другими исследуемыми компонентами (рисунок 8).

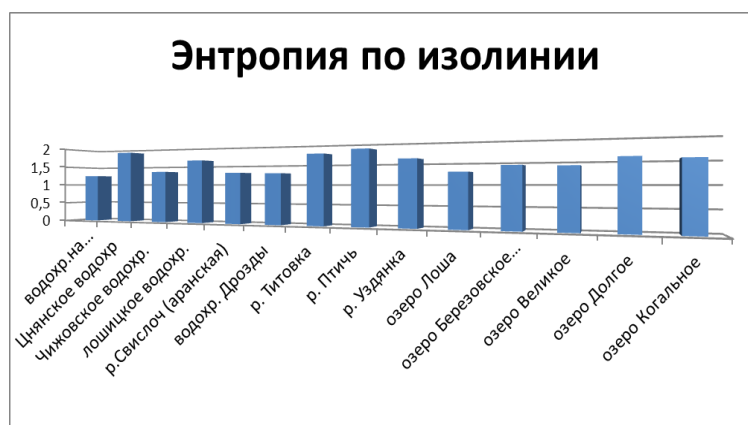


Рисунок 8. Значение энтропии по изолинии для образцов воды

В наших исследованиях значения энтропии поверхностных вод водохранилищ: на Калиновского, Чижовское, Дрозды; реки Свислочь (в районе ул. Аранская) и озера Лоша приближались к единице, что свидетельствует о направленности процесса к достижению стационарного состояния систем. В целом, при достижении стационарного состояния суммарное изменение энтропии можно считать равным нулю, что соответствует взаимной компенсации всех процессов, связанных с поступлением, удалением и превращением вещества, энергии и информации.

## **Выводы**

В результате эксперимента установлено, что при использовании характеристик статических ГРВ-грамм можно оценить степень загрязненности объектов окружающей среды, которая зависит от совокупности факторов. В процессе исследования выявлена закономерность: чем больше степень загрязненности окружающей среды, тем больше площадь свечения объектов и средняя интенсивность свечения, которые являются наиболее информативными и свидетельствуют о мере адаптации и количестве энергии в объектах окружающей среды [6].

Наибольшую степень загрязненности имеют листья деревьев, снежный покров и почва, наименее загрязнены – поверхностные воды. Для поверхностных вод наиболее информативными показателями их состояния являются распределение площади свечения, энтропия по изолинии и фрактальность по изолинии [2, 7, 9].

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что интенсивность, характер и структура специфического свечения компонентов экосистем в переменном электрическом поле (ГРВ-свечения) во многом зависит от исходного состояния объекта.

Сравнивая полученные данные с данными о загрязнении объектов окружающей среды, можно сделать вывод о том, что метод ГРВ дает возможность оценить структурно-функциональное состояние биологических объектов с получением стабильных воспроизводимых результатов в реальном масштабе времени.

## **Список литературы**

1. Борисова, М.В., Крыжановский, Э.В., Ткалич, В.Л. Оценка погрешности экспериментальных результатов при исследовании методом ГРВ биоэлектрографии. Приборостроение. Т. 49, № 2, 2006. – С. 30-31.
2. Изучение устойчивости древесных пород к техногенным нагрузкам с использованием метода газоразрядной визуализации / С.С. Позняк, Ч.А. Романовский, Е.Ф. Кучина, М.А. Менькова // Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы XXI века: Материалы 12-ой междунар. науч. конф., 17-18 мая 2012 г., г. Минск, Республика Беларусь/ под. ред. С.П. Кундаса, С.С. Позняка. – Мн.: МГЭУ им. А.Д.Сахарова, 2012. – С. 341-342.
3. Коротков, К.Г. Основы ГРВ биоэлектрографии. – СПб.: ИТМО (ТУ), 2001. – 356 с.
4. Коротков, К.Г. Разработка научных основ и практическая реализация биотехнических измерительно-вычислительных систем анализа газоразрядного

свечения, индуцированного объектами биологической природы: дис. док. техн. наук. – СПб.: СПб ИТМО, 1999. – 93 с.

5. Орлов, Д.В. Методика проведения измерений объектов природной среды на программно-аппаратном комплексе газоразрядной визуализации (ГРВ). Методическое пособие. СПб.: СПб ГУ ИТМО, 2009. – 54 с.

6. Позняк, С.С. Оценка состояния окружающей природной среды с использованием метода газоразрядной визуализации / С.С. Позняк // Экологические проблемы недропользования. Наука и образование: материалы пятой межд. научн. конф. 19-24 ноября 2012г., Санкт-Петербургский государственный университет. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 245-249.

7. Позняк, С.С. Методы ГРВ и РФА-анализа при оценке экологического состояния почвенного покрова в зоне влияния предприятий животноводства // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий : сб. науч. тр. Вып. 5 / под общ. ред. Ю.А. Мажайского. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2012. – С. 438–446.

8. Практические основы метода газоразрядной визуализации / К.Г. Коротков [и др.] // под. ред. Д.И. Муромцева. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 128 с.

9. Романовский Ч.А., Позняк, С.С. Возможности использования метода ГРВ для изучения состояния поверхностных вод / Ч.А. Романовский, С.С. Позняк // Актуальные проблемы экологии: матер. VIII межд. науч.-практ. конф. (Гродно, 24-26 окт. 2012 г.). В 2 ч. Ч.2/ ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: И.Б. Заводник (гл.ред.) [и др.]- Гродно: ГрГУ, 2012.- С.74-76.

## **On the use of characteristics specific for gas discharge induced by the electron-optical emission of the environmental object**

Pozniak S.S.

*International Sakharov Environmental University*

*The paper presents the results of research to develop new approaches to assess the level of contamination of surface and ground water, precipitation and plant objects using characteristics specific for gas discharge induced by electron-optical emission of an object placed in an electromagnetic field of high intensity. The paper also demonstrates a possibility of application of gas discharge visualization in the environmental study, based on the static measures of the electromagnetic fields. The regularities: the greater the level of environmental contamination, the greater glow area of the environmental objects and the average intensity of their glow. For surface waters, the most informative indicators of their condition are the distribution glow area, entropy and fractal contours along the isoline.*

**Key words:** gas discharge visualization, GDV-grams parameters, fractal, entropy, glow intensity, resource adaptation.