

БИОЦЕНОТИЧЕСКАЯ ФИЗИКО- БИОХИМИЧЕСКАЯ И БИОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМАТИКА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕАКТИВНОСТИ К ГЕОХИМИЧЕСКИМ И ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ФАКТОРАМ

*Орехов Ф.К., Панкратов С.К.,
Адамович Е.Д., Линь Д., Градов О.В.*

Аннотация

Предлагается идеология гибридизации «вычислительно-математических» и «мониторинговых» подходов в кинетической физико-химической систематике, основанной на корреляционной регистрации условий среды и отклика растений на данные условия в реальном времени. Совмещение натурального эксперимента и математического моделирования приводит к качественно новой достоверности, эвристической ценности и степени комплексирования данных (для data mining-а и автоматической классификации по дескрипторам на принципах гибридизации хемоинформатики/хемометрики и биоинформатики/биометрии). Развитие этого подхода подразумевает внедрение того количества переменных, которое может быть использовано для описания той или иной природной среды, совокупности факторов воздействия на биоту; таким образом, оно не ограничено конкретно водной или атмосферной средой – как это свойственно для известных подходов MSPAS и их аналогов.

**BIOPHYSICAL / BIOCHEMICAL BIOCENOTIC
AND BIOGEOGRAPHIC SYSTEMATICS BASED
ON COMPLEX DESCRIPTORS OF PLANT CELL /
TISSUE RESPONSE TO GEOCHEMICAL AND
GEOPHYSICAL FACTORS IN THE FRAMEWORK
OF PHYSICAL CHEMISTRY**

*Orekhov F.K., Pankratov S.K.,
Adamovic E.D., Lin V., Gradov O.V.*

Brief abstract

We propose a novel technique for complex multidescrptor biophysical-biochemical and biocenotic-biogeographic systematics based on complex descriptors of plant cell / tissue response to geochemical and geophysical factors in the framework of physical chemistry.

*AUTHORITY | УЧАСТНИКИ ДИСКУССИИ
И ФОРМИРОВАНИЯ МЕМОРАНДУМА*

	§ 1.	# 2.1.	# 2.2.	# 2.3.	# 2.4.	# 2.5.	LIT
OFC	✓	✓		✓			
PSK				✓	✓	✓	
AED			✓	✓		✓	
LV	✓					✓	✓
OVG	✓	✓	✓		✓		

**§ 1. ПОТРЕБНОСТЬ В МНОГОФАКТОРНОМ
ХЕМОМЕТРИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ РЕАКТИВНОСТИ В
ОПЕРАТОР-НЕЗАВИСИМОЙ (АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ)
БИОГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМАТИКЕ.**

Общеизвестно, что для каждого из видов растений характерна видоспецифическая реактивность ко многим факторам среды, эволюционно обусловленная географическими условиями их произрастания в природной среде. Следовательно, реактивность или резистентность видов, специфичных для данной гео-/ гидрохимической и географической локации может являться критерием их адаптивности к ней в филогенезе [1-12], а значит – критерием эволюционной систематики с биогеографической привязкой. Зная показатели реактивности или поддиапазоны резистентности различных систематических единиц или таксонов, можно составить базу данных систематики растений на основе объективных физико-химических факторов и критериев филогенеза и систематики, не зависящих от систематика как субъекта классифицирования и его взглядов на данную таксономическую единицу. Человеконезависимый или, как его называют за рубежом – оператор-независимый подход в анализе биологических данных (например биоморфологических, субституирующихся методами математической морфологии [13-16], вне зависимости от характера переменных – оптических, радиографических, магнитографических и иных), их количественном измерении, идентификации и кластеризации (в том числе – в мягком реальном времени) с использованием нечеткой логики [17-19], на данный момент, получает чрезвычайно широкое распространение в технике исследований в области наук о жизни в США и ЕС. Во многих случаях метод и алгоритм анализа заведомо содержат в себе

«корреляционный контекст» (в том смысле, что дескриптором в базе данных является не какой-то параметр, а его корреляция с некоторым фактором): в экологии такими комплексными дескрипторами являются корреляции физиологических, биохимических и морфологических данных, шкалами индикации индексов которых являются природные условия среды – температура, атмосферные параметры и т.д. [20].

В последнее время становится очевидной необходимость учета многих параметров одновременно, следовательно – многомерной корреляции данных в экологических моделях, однако объективные методы корреляции имеются только для объективных аппаратно-регистрируемых массивов данных (чему можно найти много примеров в: оптической спектроскопии [21-24], ядерной магнитно-резонансной спектроскопии [25-29] и ЯМР-релаксометрии [30,31], их формально-алгоритмических эквивалентах рентгеновского диапазона [32], электрофизиологии и биоакустике [33,34]). Из «необъективных» оценочных, в особенности – иррегулярных (или с прореживанием выборки во времени и бутстрепом) данных, чем часто отличаются популяционные / экологические исследования, получить внятную корреляцию практически невозможно либо она будет такова, что её интерпретация не будет иметь эвристической цены. Проблема корреляции индексных данных, полученных человекозависимыми методами, имеет большое деонтологическое значение [35], так как от оценки качества текущего экологического состояния зависит принятия решений или точность прогнозирования о состоянии того же объекта интереса в будущем, а значит – и принимаемых мерах, которые могут быть бесполезными и даже вредными в случае некорректности исходной оценки.

При этом очевидно, что «весовые коэффициенты» воздействия отличных параметров на некоторый биологический / экологический предмет интереса являются различными, так как чувствительность к тем или иным параметрам является в ряде случаев таксономически- и биогеографически- специфичным дескриптором. Селективная чувствительность к параметрам учитывается уже три десятилетия в большинстве таких моделей [36]. Это особенно важно для мультипараметрического отклика – например термо-фото-селективного – при анализе реактивности растений к данным параметрам в различных (аридных и гумидных, например) условиях среды [37]. Для описанного многомерного, по дескрипторам, предмета корреляционного анализа, очевидно, невозможно найти точку абсолютного оптимума или зону абсолютной нормы для любого типа растительности – с учетом взаимовлияния параметров и обратной связи можно найти множественные паллиативные нормы (multiplicative seminorms) с учетом обратной связи параметров [38]. Некоторые устройства, например – термогигрометры или психрометры – сами работают как корреляторы двух и более дескрипторов, а остальные данные нужно нормировать и обрабатывать с использованием математических пакетов, предварительно снимая сигнал с множества устройств. Как правило, нормировка на чувствительность образца представляет большую трудность, так как обычно требует апостериорных данных о кривых чувствительности данного класса объектов в координатах «воздействие-отклик». Канонический корреляционный анализ недостаточно оптимально работает при мультидескрипторной классификации [39]. Модели чувствительности к физическим факторам, как правило, обладают меньшей дифференцированностью, чем модели чувствительности к химическим либо биолого-химическим воздействиям [40], поскольку топология

сетей / графов метаболизма намного сложнее и имеет большую размерность, чем реакции с очевидно вычислимыми кривыми «доза-эффект» в биофизике (особенно, для многих статистических групп; например – видов растений [41]). Аддитивный экологический отклик (например – возраст растений в сообществе, который с 70-х гг. рассматривается как критерий чувствительности сообщества в целом к состоянию среды [42]) без учета механизмов, дифференциации по группам, соответствующим чувствительности видов к каждому измеримому фактору – перестает быть эвристически ценным, оставляя за собой только индикативную («аварийную») роль.

Разделение совокупности воздействий на факторы соответствует уровню структур, на которые имеют воздействие данные факторы, а также критериям доступности этих воздействующих факторов к растениям либо к сообществу в целом. Поэтому для факторов также происходит установление локализации и колокализации (почвенные, водные, атмосферные и т.д.), причем перевод известного фактора (с каким-либо весовым коэффициентом чувствительности к нему для данного объекта воздействия в данной среде) из среды в среду, по определению, влечет перерасчет весовых коэффициентов, соответственно его новой среде. Например: диффузия радиоизотопов в почве и в воде различна, следовательно – весовые коэффициенты для водных и почвенных растений, по определению, не эквиваленты, а кинетика чувствительности кардинально отлична; ультрафиолетовое излучение не проникает на глубину X водоема – далее поверхностной области X весовые коэффициенты воздействия можно приравнять нулю; теплоемкость воздуха, почвы и воды различна – вводим перерасчет теплофизических весовых коэффициентов в содержащие все три среды модели; и т.д. Так как подавляющая часть моделей растительности, по

определению, работает с чувствительными структурами в атмосферной среде с почвенным прикреплением и получением простых химических агентов (из числа участвующих в моделях) из почвы, очевидно, что наиболее полные из данных моделей относятся к схемам SPAS (Soil-Plant-Atmosphere Scheme) и MSPAS¹ (Modified Soil-Plant-Atmosphere Scheme) [43,44], аддитивные версии которых, в том числе – с учетом химизма среды, имеют прототипами модели конца 1970-х годов, развивавшиеся, в частности, Ок-Риджской Национальной Лабораторией (см., напр., широко известный препринт Беговича и Люксмюра «Some sensitivity studies of chemical transport simulated in models of the soil-plant-litter system» из департамента энергетики Ок-Риджской Национальной Лаборатории; от 1979 года). Понятное дело, что данная постановка задачи, с точки зрения экспериментатора, требует многоканальной регистрации весьма больших массивов информации («big data» [45]) и от корреляционного фейка избавляет только неподвижность растений, дающая возможность применения «стационарных» моделей (в отличие от зооэкологии [46]). В годы зарождения трендов, приведших к возникновению MSPAS, из многоканальных устройств и систем записи неспециализированного назначения были доступны только / преимущественно универсальные крейтовые системы сбора данных на шине КАМАК (ориг. САМАС; соответствующие стандарты EUR – 4100 / 4600 / 6100 / 6500 [ESONE]; стандарты IEEE 583 / 596 /

¹ В данной работе под аббревиатурой MSPAS (Modified SPAS), мы понимаем не только зарубежные модели, что публиковались ранее под данной аббревиатурой, но и, более расширенно, всю номенклатуру возможных типов многофакторных моделей с обратными связями, в которых рассматриваются комплекс взаимодействий почвы, растительного покрова и атмосферы, не исключая факторов всех «географических оболочек» Земли.

595 / 575 [IEEE]; стандарты IEC 516 / 552 / 64p / 729 [CEI]) [47]. Сложность обработки данных приводила к тому, что более предпочтительным казалось формирование аддитивных и упрощенных / абстрактных моделей вероятностного (стохастического) плана – например, с использованием методов Монте-Карло [48], в которых отклик при анализе чувствительности даже в динамических режимах считался лишь как аддитивная поверхность отклика, без дифференциации по таксономии и биогеографии, зависимым и независимым дескрипторам, параметрическим и непараметрическим статистикам. В настоящее время развиваются алгоритмы биоинформатики для экологии, оптимально работающие с разноплановыми «большими данными» [49,50], поэтому возникает стимул к внедрению новых подходов, обеспечивающих интерпретируемость мультипараметрических или мульти-таксономических «больших данных» при длительных наблюдениях и «лонгитюдных экспериментах» в области физической экологии растительных сообществ; в том числе – с географической привязкой не только данных, но и их многомерных корреляционных зависимостей в общей колокализации [51]. Этот тренд является лейтмотивом настоящей статьи.

Первичным вопросом, возникающим при внедрении корреляционных и колокализационных подходов является воспроизводимость и статистическая значимость их результатов. Чем проще индуктор эффекта и звено организма / совокупности организмов, взаимодействующих с данным индуктором, тем в большей степени можно надеяться на простую воспроизводимость данных и их элементарную аппроксимацию. Элементарным примером этого являются многие зависимости в радиобиологии и радиоэкологии, где звено реакции на индуктор расположено на субмолекулярном уровне (классическим при-

мером тому является имеющий, в областях контаминации, статистический характер «неинфекционной эпидемии» радиоиндуцированный онкогенез; см. сб. [52]). Сложность метаболических путей и компенсаторных возможностей тех или иных организмов порождает сложность соответствующей токсикокинетики и фармакокинетики в случае химического воздействия (речь в первом примере идёт не о растительных сообществах). Поэтому наиболее рациональный путь к многофакторному корреляционно-дескрипторному мониторингу среды – не путь экотоксиколога, а путь аналитика в области физической экологии (так как выработка методологии анализа данных в этой области намного проще и «нагляднее»).

§ 2. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛЕЙ SPAS, MSPAS И ИХ РАСШИРЕННЫЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ АЛЬТЕРНАТИВЫ.

Перечислим и рассмотрим основные физические дескрипторы, по которым можно строить сложные корреляции при комплексном, но раздельном анализе растительности как дифференцированного пула объектов физической экологии:

2.1. S-ПАРАМЕТРЫ УСЛОЖНЕННЫХ SPAS-ПОДОБНЫХ ПОДХОДОВ.

Анализ качеств субстрата произрастания [53] – его неспецифических и специфических сорбционных свойств к физически-воздействующим на растение частицам металлов [54]; формирования в нём минеральных и органо-минеральных частиц переменного заряда

[55]; коллоидных или дисперсных свойств [56]; собственных кривых чувствительности «доза – эффект» [57]; электрохимии и ионики почв – в том числе почвенной воды [58] и пр.

«Чисто физические», на первый взгляд, факторы (заряд, физическая сорбция, дисперсность) в условиях реальной экосистемы с биогеохимическими концентрациями / кларками отдельных элементов (и при учете обратных связей с растительностью) дают на выходе чисто химические дескрипторы – весовые коэффициенты чувствительности и резистентности растений к тому или иному химизму среды. Это важно для растений, так чисто зарядовыми эффектами селективность эффекта среды в целом не описывается; даже удельная электропроводность или удельное сопротивление среды зависит от ионного состава субстрата, а в почвах как гетерогенных средах зависит от координат и описывается не скаляром, а симметричным тензором второго ранга (скалярный вид используется только в аэропонике и аэрогидропонике, однако в данных случаях S-параметры почвы замещаются A-параметрами {атмосферы}, а сорбцией в отсутствие гетерогенной почвенной среды пренебрегают).

В действительности, можно привести много примеров корреляционных и относительных весовых дескрипторов для подобных феноменов. Так, проводя компаративный анализ дескрипторов чувствительности той или иной флоры к металлам [59], следует учитывать не только факторы функционирования почвы как ионообменника, но и различие отклика к кислотности почв и выпадающих осадков [60] данной флоры, которая, в свою очередь, также является эмиттером ряда агентов закисления и, в то же время, ионообменником с отличными кривыми специфичности в «дескриптометрическом» аспекте [61,62] (с точки зрения металломики и элементомики [63-67] всей уча-

ствующей в обмене биомассы, то есть – с учетом чувствительности не только корневых растений и почвы, но и сопутствующих бактерий [68]).

Например: модель сорбции, потоков переноса и депонирования растениями кадмия учитывает структурные механизмы, определяющие чувствительность к данному элементу [69], но, в то же время, для многих растений (например – сои [70]) является характерным метаболическое сопряжение сенсбилизации к кадмию и потребления железа, которое зависит от редокс-статуса среды [71,72] и газового состава окружения / атмосферы [71,73,74], коррелирующего с активностью растений, прорастающих в почве с большим или меньшим содержанием железа в данной местности, фотосинтез которых зависит в модели от индекса фоточувствительности, а фоточувствительность в моделях Cd-Fe-опосредованных биологических эффектов коррелирует с воздействием кадмия [75], причем лишение агентов усвоения кадмия, таких, как фосфаты – уменьшает поглощение кадмия, повышая уровень чувствительности к нему за счет увеличения поглощения железа, чему соответствует ингибирование синтеза фитохелатинов [76], дисфункция которых приводит к гипераккумуляции металлов в растениях, а затем – почве и микробиоте, в частности – индуцируя «металло-мный стресс» в силу сбоя оптимума чувствительности ризосферы [77], завершающийся сменой трассировки ионного транспорта в микробиоте, определяемого антагонизмом элементов на уровне ионного транспорта (например, для мутантов *E. coli* с повышенной чувствительностью к хрому, требуется отличное от нормальных *E. coli* содержание / потребление железа [78]), что обуславливается каналомными и мембраномными механизмами на уровне кооперативной биогеохимической деятельности микробиоты, от которой коллинеарно зависит ин-

тенсивность переноса микроэлементов и выветривания как элемента педогенеза [79].

Данное экстремальное по продолжительности предложение было внедрено для индикации сложности проблемы и потребности в учете многих факторов в анализе S-параметрики в SPAS-подобных подходах. Надо подчеркнуть, что при этом не затрагивались мембранные механизмы эндоцитоза, симпорта, унипорта и антипорта, а также их зависимости от потенциала в среде и на мембране как поверхности раздела, которые, как доказано, играют в металломике S-параметризуемых подсистем в SPAS-подобных моделях активную роль [80,81].

2.2. А-ПАРАМЕТРЫ УСЛОЖНЕННЫХ SPAS-ПОДОБНЫХ ПОДХОДОВ:

Атмосферные параметры ассоциируются у многих авторов с «газовой биологией» [82-87], формирующейся молодой отраслью наук о жизни и биомедицинских технологий, однако это впечатление не вполне полное и адекватное, так как биохимический уклон данного направления ведёт к сведению анализа А-параметров к химии атмосферы и химизму газов, которыми характеризуются растения в данной атмосфере (пример тому – «этиленовая биология» [88]). Это – неисчерпаемая, сама по себе, как таковая, химическая отрасль, но это не значит, что ею можно исчерпать контексты роли газа (в том числе – не химической) в эроэкологии [89-91] и аэробологии (в частности – аэробологической обусловленности патологий растений [92-94]), мезомасштабной биоклиматологии [95,96] (например – в распространении спор [97]) и биометеорологии (которая также касается распро-

странения пыльцы и спор, а также «эпифитотий» аэрогенно-распространяемых агентов в фитопатологии [97-101]).

Газы, выделяемые растениями, являются в той же мере критериями развития и активности растительных сообществ, как и газы, потребляемые ими – примером тому могут являться критерии корреляционной газовой ГХ-ауксанометрии и ГХ-МС-ауксанометрии [102-105]. Биометеорология является – с точки зрения аналитика обратных связей между растениями и атмосферой – редукционистской дисциплиной, подотраслью физико-химии атмосферы и физической географии [106,107]. Однако, если так – следует учитывать аспекты реактивности данной физико-химической среды на воздействия, которым одновременно подвергаются растения – температуру, инсоляцию, космическое излучение и прочие переменные «уравнения состояния», если бы таковое можно было записать.

Данный подход требует не только физического, но и химического дискурса – в случае излучений: фотохимии, радиохимии, ядерной химии и изотопии (фракционирование изотопов биологическими системами также давно известный факт [108]).

Необходимо сопоставление параметров среды с откликом растений при воздействии на них как на единую систему тех глобальных факторов, которыми являются данные излучения (конечно, с геодезической привязкой к конкретным высотностям и широтностям, в которых наблюдаются исследуемые целевые эффекты). Иначе говоря, нужно дополнить список переменных группы А в MSPAS-моделях или ввести отдельную группу дескрипторов химии высоких энергий для их позиционирования. Воздействия дескрипторов данной группы введены нами далее.

2.3. ГРУППА ИРРАДИАНСНЫХ ДЕСКРИПТОРОВ.

Помимо фотосинтеза, исследованного настолько глубоко и детально, что роль иррадиансных дескрипторов в нём не требует пояснений, требуется учет периодизма, регулирующего стадийное развитие и вызываемого тем же фактором – фотопериодизма [109], отличающегося спектральной селективностью и специфичностью чувствительности к воздействию в фотоморфогенезе [110] и фотопериодичности индукции [111], в зависимости от возраста, размеров и спектроколориметрических характеристик растения [112], с которыми ассоциируется чувствительность, т.е. – весовой коэффициент эффективности воздействия.

Группа «иррадиансных дескрипторов» как активизирует, так и ингибирует рост и развитие растений – селективно по весовым коэффициентам в той или иной области переменных, которые формируют дескриптор (длина волны / частота, энергия, проникающая способность, поляризация) [113], то есть можно говорить об инверсии дескрипторов или «релятивных дескрипторах», весовые коэффициенты которых вычисляются удельно на дескрипторы резистентности данного вида растений или иной специфической группы.

Иррадиансный формат дескрипторов подразумевает не только прямое воздействие излучения, в том числе – с субдиапазонной кластеризацией (напр., учитывается не УФ-излучение в целом, как в исследованиях чувствительности в 1970-х гг. [114], но отдельно УФ-А и УФ-В [115-118], как в поздних работах), но и воздействие иррадиансных агентов (того же УФ из приведенного примера) на химизм атмосферы, порождающий пропорциональные их интенсивности количества свободнорадикальных интермедиатов, ROS. Одним из классических примеров воздействия иррадиансных форматов дескрипторов

на А-параметры MSPAS-подобных моделей (ПО: SpectroChimOzonoScore, v. 4.1 [119] и RadioChimO3Score, v. 5.2 [120]) являются эффекты озона.

В противовес упрощенной систематике MSPAS, предлагается использовать дополнительные символы в данной аббревиации, соответствующие каким-либо дескрипторам (один из примеров, связанных с иррадиансными дескрипторами – диапазоны излучений, точнее их символьные аббревиатуры; например, UV, IR); при появлении новой подсистемы дескрипторов или диапазонов учитываемых спектральных явлений необходимо вносить изменения в аббревиацию MSPAS-подобных моделей.

Кроме атмосферы (чистые А-параметры SPAS) следует учитывать тонкую стратификацию: мезосферу, термосферу, тропосферу, экзосферу, в зависимости от зональности проявления эффекта иррадиансных дескрипторов, атмосферный уровень которых определяет опосредованный биогеосферный эффект.

2.4. ГРУППА АТМОСФЕРНО-ХИМИЧЕСКИХ ДЕСКРИПТОРОВ (ЛИБО, В НОТАЦИИ БД [119], ДЕСКРИПТОРОВ ХИМИИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ОПОСРЕДОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ).

Атмосферно-химические стратификации дескриптометрического анализа, в соответствии с БД, по данным комплекса современных работ, могут быть сведены не только к многоуровневым кинетическим схемам, но и к графам, описывающим данные реакции N-го порядка. Значительно затруднен переход от форм дескрипторов атмосферного («косного») реакционного процесса, к тем дескрипторам, которые характеризуют взаимодействие атмосферных (в первую очередь – на

уровне планетарного пограничного слоя) реакций, их продуктов с биологическими системами («живым веществом»).

Так, пользуясь уже указанным примером озона, можно привести ряд задач, с которыми сталкивается специалист в области MSPAS-моделирования на границе «живое вещество» / «атмосферная химия».

Общеизвестно и неоднократно продемонстрировано, что различные растения обладают различной чувствительностью к озону [121], обусловленной различием в их механизмах на уровне эпидермиса, кутикулы и т.д. или, глубже – на уровне их редокс-активных и транспирационных механизмов, а также – ионных каналов. Соответственно, следует учитывать взаимодействие целевых для них факторов среды и эффективности воздействия озона с привязкой к экспозиции в данной среде. Показана корреляция водного статуса растений с их чувствительностью к озону [122], специфичной, в частности, к уровню потока / экспозиции [123,124], соответствующей последней продолжительности жизни растения [125]. Однако, так как уровни освещенности и выживаемость растений в биоценозах разного типа различны, создаются карты учета (видовые и биогеографические) для констатации или прогнозирования чувствительности тех или иных растительных популяций к озону [126-128].

Аналогичные (по критерию чувствительности) карты можно составлять по биофизической таксономии / биогеографии / биогеоценологии в корреляции с термогигрометрией и, в роли дескриптора – преципитацией [129-131] (помимо констатации [132,133], с потенциалом прогнозирования распределений данных дескрипторов чувствительности в пространстве-времени [134] – в частности для классификации фенологических изменений флоры по реактивности к этим факторам [135]). Таким образом, как показано в данном отступлении, пе-

реучет параметрики химии высоких энергий требует перерасчета с использованием факторов, которые, как таковые, к атмосферной химии не относятся, но обеспечивают (точнее – опосредуют) её действие на живые организмы. Можно разделить их на скалярные (ненаправленные изотропные) и векторные факторы.

2.5. СКАЛЯРНЫЕ И ВЕКТОРНЫЕ ПРЕДИКТОРЫ

Излучения в водной и воздушной среде распространяются в известном (и моделируемом, в частности – методами Монте-Карло, с учетом эффектов рассеяния, ряда квазиоптических эффектов, любых форм взаимодействия с веществом) направлении с поправкой на погрешность, обусловливаемую имманентными свойствами среды. Однако в ряде случаев, когда излучение вызывает только тепловой (неселективный по λ или ω) эффект, некоторыми особенностями распространения излучения можно пренебречь при построении MSPAS-подобных моделей.

Температурная реактивность является одним из важнейших составляющих специфического отклика экосистем и региональных растительных сообществ на совокупность факторов среды [135-137]. Термочувствительность опосредована атмосферой и влияет на метеоклиматические дескрипторы. Модели SPA (soil-plant-atmosphere) чувствительны к температуре, но её действие локализовано с действием солнечной радиации (не только в оптическом диапазоне), в связи с чем очевидна связь скалярных и векторных предикторов в данном случае [138]. Различные дескрипторы и предикторы позиционируются как универсальные по направлениям распространения соответствующих агентов (то есть – скалярные, в рамках используемой систематической терминологической схемы) [139-142], что, зачастую, связано с

методологической элементарностью измерений данных свойств в прежние времена (см., напр.: [142]). В то же время, наличие точек или четко выявленных надмолекулярных компартментов воздействия говорит, как правило, о векторной природе агента (статистически – хотя по данному пункту можно привести немало примеров контраргументации); например, обеспечение металлоорганическими и неорганическими структурами локального перегрева на облучаемой поверхности формирует корреляционно-трактуемый дескриптор на базе взаимозависимости локального цитофизиологического накопления агента (напр. – ртути [143], что наиболее хорошо вписывается в SPA, SPAS и MSPAS схемы, так как депонируется из паров ртути из газовой фазы), температуры и облученности. Гелиотропизм является векторным явлением, а температурные / термодинамические его эффекты – скалярным «фоном».

Геоэлектромагнитное поле является скалярным (фоновым) фактором, тогда как биоэлектромагнитные поля и техногенные источники с сосредоточенными параметрами являются векторными агентами. Моделирование локализованных биоэлектромагнитных воздействий посредством локализованных электродов с разной плотностью размещения и разным пространственным распределением в различных зонах растения [144] показывает специфическую чувствительность к воздействию для разных участков поверхности разных видов растений.

Гравитропизм, геотропизм, по определению, является векторным, согласно теории Вента-Холодного. Чувствительность к внешним силам – основа функции и механики установок клиностатирования [145]. Однако распределение газов и атмосферных фитогормонов – скалярный стохастический дескриптор [146], так как его агент не распро-

страняется целенаправленно к конкретному растению из атмосферы и к его конкретному органу, а может быть охарактеризован только в смысле общего интегрального / аддитивного содержания в заданной области, не ограничиваемой объективными критериями.

Параметр рН-чувствительности аддитивен и скалярен [147], но в конкретно взятой субклеточной локализации [148] управляется ионными каналами, то есть - ионными потоками внутрь и вне компартиментализованной мембранной среды, которые определены – векторны (к примеру – основатель хемиосмотической гипотезы / теории Митчелл говорил о векторной химии и векторной биологии в аспекте проницаемости мембран, градиентов на них). Анализ чувствительности к конкретным ионам, обычно производящийся аддитивно «по массе» [149,150], должен производиться в данном контексте в динамическом колокализационном варианте (как кальциевый имэджинг в современной флуоресцентной клеточной микроскопии), выдавая одновременно информацию о смещении скалярного рН / Eh показателя (как векторные методики нашей разработки для FRAP). Многие ионы могут принимать участие в формировании вторичных векторных агентов, дескрипторов, предикторов, факторов. Пример: чувствительность к ионам Fe и связанная с ней чувствительность к магнитным полям, обусловленным Fe, либо к редокс-эффектам Fe; воздействие поля в большинстве случаев целесообразно рассматривать как векторный дескриптор, изменение редокс-потенциала в той или иной гомогенизированной фракции – как скалярный (по чувствительности к железу в указанных контекстах – см., напр.: [151-157]).

Радиация как аддитивный дозиметрируемый биофизический фактор может рассматриваться как скалярный дескриптор (гамма-лучи, рентген как таковые в отсутствии диаграмм направленности [158-

160]), но при наличии направления распространения (как синхротронное магнитотормозное излучение) необходим анализ его как векторного агента [161]. Космические лучи рассматриваются как векторный агент, но на больших масштабах анизотропии (картируемой обычно в режиме реального времени – по мере изменения – на десятках нейтронных и мюонных телескопов, мониторов, детекторов по всему миру), следовательно их воздействие через чувствительность нужно картировать на тех же масштабах, но учет в таком случае не выливается в проблему систематики, но является только проблемой биогеографического районирования.

Если целевым компартментом воздействия излучения (при общем фоне воздействия на организм в целом, что может, при калибровке к нулю, считаться интактным по отношению к целевому компартменту) является более локальный – в том числе молекулярный уровень организации (например – конкретные уязвимые в аспекте фатального эффекта на экспрессию цистроны вирусов [162], либо пигменты, особо чувствительные к воздействию излучений в силу принципов химии высоких энергий [163-165]), то рассматривать нужно векторные эффекты воздействия на нём. При этом, что немаловажно, проблема спускается на уровень ультраструктуры, становясь, как и в случае макромасштаба, не соответствующей задачам систематики таксонов. Можно ввести понятие «разрешения» или «разрешающей способности» типов и форм исследования векторных эффектов по отношению к конкретным формам и масштабам организации биологического предмета исследования. Можно, для ряда случаев, говорить о биогеохимической приуроченности действия полевого векторного фактора как сущности – например, делающий чувствительным для магнитного поля ион может делать чувствительным и для радиации

[166]. В то же время векторность или скалярность реакции зависит от характеристики фаз развития растения (низшая векторная – от семени и проростков; наивысшая скалярная – плод) [167]. На компартментном уровне тоже самое: хромосомы на разных стадиях клеточного цикла с разной компактизацией или спирализацией по разному (при соответствующе разном объёме) реагируют на радиацию [168]. То же самое для симбионтов / консументов и паразитов. Эффективность ввода в систему радиации для борьбы с паразитами зависит от стадии их развития [169] и соотносимости стадий их развития с развитием растения-хозяина. От этого же зависит чувствительность в больших экосистемах с разнообразными циклами и феноспектральным периодизмом отдельных видов [170].

Газобиологические дескрипторы являются аддитивными и скалярными по распределению в атмосфере либо неглубоком почвенном слое [171-173] (здесь речь не идёт о медицинских локаломиксных газобиологических дескрипторах и их картируемых производных по пространству [174,175]). Но связь с векторно трактуемыми дескрипторами облученности скалярных дескрипторов дыхания и газовой эмиссии [176] (фотосинтез в этом смысле – газохимический дескриптор по CO_2 [177-179]) говорит о невозможности ограничения газохимических форм анализа скалярными величинами. Чувствительность к серосодержащим агентам также является, отчасти, векторным агентом – в силу чувствительности к розе ветров и направлению кислотных дождей [180-183]. Исторические изменения в розе ветров и климата приводят к фенологическим изменениям, а последние, в свою очередь, приводят к адаптивным изменениям чувствительности [184-192], как по скалярным, так и по векторным, тензорным критериям чувствительности и, следовательно, реактивности и адаптивности к данным

факторам. При этом, для разных морфофизиологических типов и систематических групп растений в разных случаях будет характерна различная реакция на изменения среды [193], что и требовалось доказать. Более того, будут наблюдаться видо-специфичные, тканеспецифичные (гистоспецифичные), цитоспецифичные, биогеографически специфичные, возрастносспецифичные, реактивноспецифичные [194-201] и др. дескрипторно-специфичные различия в реактивности к различным факторам, в контексте которых формируются климат и природная биоклиматическая среда.

Действия химических факторов следует рассматривать как скалярные либо векторные по-отдельности (ср. качественно разные: [202-205]), что является, на данный момент, актуальной задачей среднесрочной перспективы. Очевидно, но не тривиально, что вода может являться не только скалярным (по доступности и тургору) [206-211], но и вектор-сопряженным (по фототропизму растений в процессах фотосинтеза и дегидратационно обусловленной деструкцией клеток и тканей [212,213]) эффектором, не говоря уже о направленном транспорте её в архитектуре стебля (и растворенных веществ, что визуализируется изотопными методами [214]), а также участии в растягивании тканей при росте, что является векторно направленным фактором (shearing [215, 216]).

Согласно мнению некоторых участников дискуссии, необходимо ввести также термины «кватернионные» и «тензорные» (дескрипторы, предикторы, факторы, агенты ...), однако данное предложение не было принято большинством голосов, обладая веской контраргументацией как формального и физического свойства, так и биологического плана. Было принято решение продолжить дискуссию при получении новых данных уже из собственной экспериментально-технической работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Glor R. E. Phylogenetic insights on adaptive radiation //Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. - 2010. - V. 41. - P. 251-270.

2. Butler M. A., King A. A. Phylogenetic comparative analysis: a modeling approach for adaptive evolution //The American Naturalist. - 2004. - V. 164. - №. 6. - P. 683-695.

3. Agrawal A. A., Fishbein M., Halitschke R., Hastings A. P., Rabosky D. L., Rasman, S. Evidence for adaptive radiation from a phylogenetic study of plant defenses // PNAS. - 2009. - V. 106. - №. 43. - P. 18067-18072.

4. Sanderson M. J., Donoghue M. J. Reconstructing shifts in diversification rates on phylogenetic trees //Trends in Ecology & Evolution. - 1996. - V. 11. - №. 1. - P. 15-20.

5. Rundell R. J., Price T. D. Adaptive radiation, nonadaptive radiation, ecological speciation and nonecological speciation // Trends in Ecology & Evolution. - 2009. - V. 24. - №. 7. - P. 394-399.

6. Baum D. A., Larson A. Adaptation reviewed: a phylogenetic methodology for studying character macroevolution // Systematic Biology. - 1991. - V. 40. - №. 1. - P. 1-18.

7. Losos J. B., Glor R. E. Phylogenetic comparative methods and the geography of speciation //Trends in Ecology & Evolution. - 2003. - V. 18. - №. 5. - P. 220-227.

8. Losos J. B. Adaptive radiation, ecological opportunity, and evolutionary determinism //The American Naturalist. - 2010. - V. 175. - №. 6. - P. 623-639.

9. Bock W. J. Functional-adaptive analysis in evolutionary classification // American Zoologist. - 1981. - V. 21. - №. 1. - P. 5-20.

10. Blomberg S. P., Garland T. Tempo and mode in evolution: phylogenetic inertia, adaptation and comparative methods // Journal of Evolutionary Biology. - 2002. - V. 15. - P. 6. - С. 899-910.

11. Wink M. Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective //Phytochemistry. - 2003. - V. 64. - №. 1. - P. 3-19.

12. Агаджанян Н. А., Макарова И. И. Среда обитания и реактивность организма // Тверь, 2001. - 186 стр.

13. Belghitia H., Brette S., Lafitte S., Reant P., Picard F., Serri K., Lafitte M., Courregelongue M., Dos Santos P., Douard H., Roudaut R., DeMaria A. Automated function imaging: a new operator-independent strain method for assess-

ing left ventricular function // Arch. Cardiovasc. Dis. - 2008. - V. 101. - № 3. - P. 163-169.

14. Sørensen T.S., Körperich H., Greil G.F., Eichhorn J., Barth P., Meyer H., Pedersen E.M., Beerbaum P. Operator-independent isotropic three-dimensional magnetic resonance imaging for morphology in congenital heart disease: a validation study // Circulation. - 2004. - V. 110. - № 2. - P. 163-169.

15. Kahraman D., Eggert C., Holstein A., Schneider C., Pedrosa D.J., Dietlein M., Kobe C., Timmermann L., Schmidt M. 123I-FP-CIT SPECT imaging of the dopaminergic state. Visual assessment of dopaminergic degeneration patterns reflects quantitative 2D operator-dependent and 3D operator-independent techniques // Nuklearmedizin. - 2012. - V. 51. - № 6. - P. 244-251.

16. Ariani A., Silva M., Bravi E., Saracco M., Parisi S., De Gennaro F., Lumetti F., Idolazzi L., Seletti V., Caramaschi P., Benini C., Bodini F.C., Scirè C.A., Lucchini G., Santilli D., Mozzani F., Imberti D., Arrigoni E., Delsante G., Pellerito R., Fusaro E., Sverzellati N. Operator-independent quantitative chest computed tomography versus standard assessment of interstitial lung disease related to systemic sclerosis: A multi-

centric study // Mod. Rheumatol. - 2015. - V. 25.
- № 5. - P. 724-730.

17. Suckling J., Sigmundsson T., Greenwood K., Bullmore E.T. A modified fuzzy clustering algorithm for operator independent brain tissue classification of dual echo MR images // Mag. Res. Imagi. - 1999. - V. 17. - № 7. - P. 1065-1076.

18/ Wallace W.E., Kearsley A.J., Guttman C.M. An operator-independent approach to mass spectral peak identification and integration // Anal. Chem. - 2004. - V. 76. - № 9. - P. 2446-2452.

19. Di Stefano D.A., Arosio P., Piattelli A., Perrotti V., Iezzi G. A torque-measuring micromotor provides operator independent measurements marking four different density areas in maxillae // Journ. Adv. Prosthodont. - 2015. - V. 7. - № 1. - P. 51-55

20. Stillman J., Somero G. Adaptation to temperature stress and aerial exposure in congeneric species of intertidal porcelain crabs (genus *Petrolisthes*): correlation of physiology, biochemistry and morphology with vertical distribution // Journ. Exp. Biol. - 1996. - V. 199. - Pt. 8. - P. 1845-1855.

21. Karadimitriou M.E., Kavousanaki E.G., Dani K.M., Fromer N.A., Perakis I.E. Strong electronic correlation effects in coherent multidimensional nonlinear optical spectros-

copy // Journ. Phys. Chem. B. - 2011. - V. 115. - № 18. - P. 5634-5647.

22. Becker W., Bergmann A., Haustein E., Petrasek Z., Schwille P., Biskup C., Kelbauskas L., Benndorf K., Klöcker N., Anhut T., Riemann I., König K. Fluorescence lifetime images and correlation spectra obtained by multidimensional time-correlated single photon counting // Micr. Res. Tech. - 2006. - V. 69. - № 3. - P. 186-195.

23. Mukamel S. Multidimensional femtosecond correlation spectroscopies of electronic and vibrational excitations // Ann. Rev. Phys. Chem. - 2000. - V. 51. - P. 691-729.

24. Wada A., Tachibana H., Hayashi H., Saito Y. Multidimensional spectroscopic data correlation in the conformation transition of biological macromolecules // Journ. Biochem. Biophys. Meth. - 1980. - V. 2. - № 5. - P. 257-269

25. Gopinath T., Traaseth N.J., Mote K., Veglia G. Sensitivity enhanced heteronuclear correlation spectroscopy in multidimensional solid-state NMR of oriented systems via chemical shift coherences // Journ. Amer. Chem. Soc. - 2010. - V. 132. - № 15. - P. 5357-5363.

26. Caldarelli S, Emsley L. Intrinsic asymmetry in multidimensional solid-state NMR correlation

spectra // Journ. Magn. Reson. - 1998. - V. 130. - № 2. - P. 233-237.

27. Ramamoorthy A., Wu C.H., Opella S.J. Experimental aspects of multidimensional solid-state NMR correlation spectroscopy // Journ. Magn. Reson. - 1999. - V. 140. - № 1. - P. 131-140.

28. Schmidt-Rohr K., Spiess H.W. Nature of non-exponential loss of correlation above the glass transition investigated by multidimensional NMR // Phys. Rev. Lett. - 1991. - V. 66. - № 23. - P. 3020-3023.

29. Giraud N., Pitoux D., Ouvrard J.M., Merlet D. Combining J-edited and correlation spectroscopies within a multi-dimensional spatial frequency encoding: toward fully resolved ¹H NMR spectra // Chemistry. - 2013. - V. 19. - № 37. - P. 12221-12224.

30. Marigheto N., Venturi L., Hibberd D., Wright K.M., Ferrante G., Hills B.P. Methods for peak assignment in low-resolution multidimensional NMR cross-correlation relaxometry // Journ. Magn. Reson. - 2007. - V. 187. - № 2. - P. 327-342.

31. Venturi L., Hills B. Spatially resolved multidimensional cross-correlation relaxometry // Magn. Reson. Imaging. - 2010. - V. 28. - № 2. - P. 171-177.

32. Schweigert I.V., Mukamel S. Coherent ultrafast core-hole correlation spectroscopy: X-ray analogues of multidimensional NMR // Phys. Rev. Lett. - 2007. - V. 99. - № 16. - P. 163001-1 - 163001-4.

33. Stuart L., Walter M., Borisyuk R. The correlation grid: analysis of synchronous spiking in multi-dimensional spike train data and identification of feasible connection architectures // Biosystems. - 2005. - V. 79. - № 1-3. - P. 223-233.

34. Uloza V., Vegienė A., Saferis V. Correlation between the basic video laryngostroboscopic parameters and multidimensional voice measurements // Journ. Voice. - 2013. - V. 27. - № 6. - P. 744-752.

35. Wang W.C., Yao G., Tsai Y.J., Wang J.D., Hsieh C.L. Validating, improving reliability, and estimating correlation of the four subscales in the WHOQOL-BREF using multidimensional Rasch analysis // Qual. Life. Res. - 2006. - V. 15. - № 4. - P. 607-620.

36. Baker F.D. Parameter sensitivity in plant process models //Am. Soc. Agric. Eng., Winter meeting, Chicago. - 1982. - V. 1417. - P. 824570.

37. Venkataraman R. Studies on thermo-photo-sensitivity of the paddy plant under field condi-

tions //Proceedings: Plant Sciences. - 1964. - V. 59. - №. 3. - P. 117-136.

38. Zames G. Feedback, optimal sensitivity, and plant uncertainty via multiplicative seminorms //Control science and technology for the progress of society. - 1982. - P. 1171-1175.

39. Sun L, Ji S, Ye J. Canonical correlation analysis for multilabel classification: a least-squares formulation, extensions, and analysis // IEEE Trans. Pattern. Anal. Mach. Intell. - 2011. - V. 33. - № 1. - P. 194-200.

40. Hsu F. C., Kleier D. A. Phloem mobility of xenobiotics. III. Sensitivity of unified model to plant parameters and application to patented chemical hybridizing agents //Weed Science. - 1990. - C. 315-323.

41. Deng S., Gou S., Sun B., Lv W., Li Y., Peng H., Xiao H., Yang G., Wang Y. Modeled dosage-response relationship on the net photosynthetic rate for the sensitivity to acid rain of 21 plant species //Bulletin of environmental contamination and toxicology. - 2012. - V. 89. - №. 2. - P. 251-256.

42. Suffling R., Smith D.W., Stevens D., Dai T.S. Plant community age as an index of sensitivity to environmental damage // Amer. Journ. Bot. - 1974. - V. 61. - № 5. - P. 65-65

43. Shuhua L.I.U., Xu Y.U.E., Huizhi L.I.U., Fei H.U. Using a Modified Soil-Plant-Atmosphere Scheme (MSPAS) to study the sensitivity of land surface and boundary layer processes to soil and vegetation conditions //Advances in Atmospheric Sciences. - 2004. - V. 21. - №. 5. - P. 717-729.

44. Zeppel M., Macinnis-Ng C., Palmer A., Taylor D., Whitley R., Fuentes S., Yunusa I., Williams M., Eamus D. An analysis of the sensitivity of sap flux to soil and plant variables assessed for an Australian woodland using a soil-plant-atmosphere model //Functional Plant Biology. - 2008. - T. 35. - №. 6. - C. 509-520.

45. Violle C., Choler P., Borgy B., Garnier E., Amiaud B., Debarros G., Diquelou S., Gachet S., Jolivet C., Kattge J., Lavorel S., Lemauviel-Lavenant S., Loranger J., Mikolajczak A., Munoz F., Olivier J., Viovy N. Vegetation ecology meets ecosystem science: Permanent grasslands as a functional biogeography case study // Sci. Tot. Environ. - 2015. - V. 534. - P. 43-51.

46. Benson E.S. Trackable life: Data, sequence, and organism in movement ecology // Stud. Hist. Phil. Biol. Biom. Sci. - 2016. - V. 57. - P. 137-147.

47. Zalud P, Krekule I. Universal preprocessing CAMAC modules // Physiol. Bohem. - 1980. - V. 29. - № 2. - P. 181-184.

48. Lim, J. T., Gold, H. J., Wilkerson, G. G., & Raper, C. D. A Monte Carlo / response surface strategy for sensitivity analysis: application to a dynamic model of vegetative plant growth // Applied mathematical modelling. - 1989. - Т. 13. - №. 8. - С. 479-484.

49. Samecka-Cymerman A., Stankiewicz A., Kolon K., Kempers A.J., Leuven R.S. Market Basket Analysis: a new tool in ecology to describe chemical relations in the environment--a case study of the fern *Athyrium distentifolium* in the Tatra National Park in Poland // Journ. Chem. Ecol. - 2010. - V. 36. - № 9. - P. 1029-1034.

50. Li C., Riethoven J.J., Naylor G.J. Evol-Markers: a database for mining exon and intron markers for evolution, ecology and conservation studies // Mol. Ecol. Resour. - 2012. - V. 12. - № 5. - P. 967-971

51. Heinrich M.P., Papiez B.W., Schnabel J.A, Handels H. Multispectral image registration based on local canonical correlation analysis // Med. Imag. Comp. Comput. Assist. Interv. - 2014. - V. 17. - Pt. 1. - P. 202-209.

52. Submolecular biology and cancer. Ciba Foundation Symposium 67 (new series) in honour of Albert Szent-Györgyi on the occasion of his 85th birthday // Ciba Found. Symp. - 1978. - No. 67. - P. 1-349.

53. Trewavas A. J. Growth substance sensitivity: the limiting factor in plant development //Physiologia Plantarum. - 1982. - V. 55. - №. 1. - P. 60-72.

54. Piccolo A. Reactivity of added humic substances towards plant available heavy metals in soils //Science of the total environment. - 1989. - V. 81. - P. 607-614.

55. Violante A., Gianfreda L. Role of biomolecules in the formation of variable-charge minerals and organo-mineral complexes and their reactivity with plant nutrients and organics in soil //Soil biochemistry. - 2000. - V. 10. - P. 207-270.

56. Wojtasik M. Sensitivity of three cultivated plant species to the density of soils //Zeszyty Problemowe Postepow Nauk Rolniczych. - 2005. - №. 507. - P. 575-580.

57. Nissen P. Dose responses of plant growth substances: Sensitivity and kinetics // Plant Physiol. - 1983. - V. 72. - P. 117.

58. Hyder S. Z., Greenway H. Effects of Ca on plant sensitivity to high NaCl concentrations // Plant and Soil. - 1965. - C. 258-260.

59. Gorlach E., Gambus F. A comparison of sensitivity to the toxic action of heavy metals in various plant species // Polish Journal of Soil Science. - 1992. - V. 25. - №. 2. - P. 207-213.

60. Ganev S., Kalichkova T. About the problem of cation exchange mechanisms of plant acidic sensitivity and tolerance // Plant Physiol. (Sofia). - 1992. - V. 18. - №. 4. - P. 21-30.

61. Orehov T. C., Gradov O. V. Hybridization of COBAC, QSPR / QSAR and SBGN technologies: The unity of theory and practice for biomedical technique design and biochemical diagnostic information analysis // Journ. Med. Bioeng. - 2016. - Vol. 5. - № 2. - P. 128-132.

62. Орехов Ф. К., Градов О. В. Гибридизация COBAC, QSPR/QSAR и SBGN: единство теории и практики в анализе данных и проектировании спектрально-биохимического лабораторно - диагностического и биомедицинского оборудования // Биотехносфера. - 2014. - Т. 33, № 3. - С. 29-31.

63. Li Y. F., Chen C., Qu Y., Gao Y., Li B., Zhao Y., Chai Z. Metallomics, elementomics and analytical techniques // Pure and Applied Chemistry. - 2008. - V. 80. - № 12. - P. 2577-2594.

64. Haferburg G., Kothe E. Metallomics: lessons for metalliferous soil remediation // Appl. Microbiol. Biotechnol. - 2010. - V. 87. - № 4. - P. 1271-1280.

65. Gall N.R., Fomina N.S., Bazhenov A.N., Masyukevich S.V., Kretinina A.V., Gall L.N. ERIAD mass spectrometry (electrospray with controlled fragmentation) is the common method for metallom-

ics and biochemistry of elementoorganic molecules // Biophysics. - 2011. - V. 56. - № 5. - P. 883-891

66. Salt D.E. Plant metallomics // Metallomics. - 2013. - V. 5. - № 9. - P. 1088-1089.

67. Basu P. Microbial metallomics // Metallomics. - 2013. - V. 5. - № 4. - P. 274-275.

68. Mondal R., Mukherjee N. Sensitivity of two Plant Pathogenic Bacteria to some Inorganic and Organic Compounds //Journal of Phytopathology. - 1975. - V. 83. - №. 1. - P. 87-90.

69. Palm V. A model for sorption, flux and plant uptake of cadmium in a soil profile: Model structure and sensitivity analysis //Water, Air, and Soil Pollution. - 1994. - T. 77. - №. 1-2. - C. 169-190.

70. Smith G., Brennan E. Cadmium sensitivity related to ability of soybean plant to utilize iron efficiently // Phytopathology. - 1982. - T. 72. - №. 2. - C. 266-266.

71. Han J. S. et al. Effect of the pH value of the precipitation solution on the CO sensitivity of α -Fe₂O₃ //Sensors and Actuators B: Chemical. - 1999. - T. 61. - №. 1. - C. 83-91.

72. Bruska M. K., Stiebritz M. T., Reiher M. Analysis of differences in oxygen sensitivity of Fe-S clusters //Dalton Transactions. - 2013. - T. 42. - №. 24. - C. 8729-8735.

73. Sun H.T., Cantalini C., Faccio M., Pelino M. NO₂ gas sensitivity of sol-gel-derived α -Fe₂O₃ thin films //Thin Solid Films. - 1995. - Т. 269. - №. 1. - С. 97-101.

74. Han J.S., Yu A.B., He F.J., Yao T. A study of the gas sensitivity of α -Fe₂O₃ sensors to CO and CH₄ //Journal of materials science letters. - 1996. - Т. 15. - №. 5. - С. 434-436.

75. Solti Á., Gáspár L., Vági P., Záray G., Fodor F., Sárvári E. Cd, Fe, and light sensitivity: interrelationships in Cd-treated Populus // Omics: a journal of integrative biology. - 2011. - V. 15. - № 11. - P. 811-818.

76. Yang Y., Chen R., Fu G., Xiong J., Tao L. Phosphate deprivation decreases cadmium (Cd) uptake but enhances sensitivity to Cd by increasing iron (Fe) uptake and inhibiting phytochelatin synthesis in rice (Oryza sativa) // Acta Physiologiae Plantarum. - 2016. - V. 38. - №. 1. - (in press) .

77. Robin A., Vansuyt G., Corberand T., Briat J.F., Lemanceau P. The soil type affects both the differential accumulation of iron between wild-type and ferritin over-expressor tobacco plants and the sensitivity of their rhizosphere bacterioflora to iron stress //Plant and soil. - 2006. - Т. 283. - №. 1-2. - С. 73-81.

78. Wang CC, Newton A. Iron transport in Escherichia coli: relationship between chromium sensitivity and high iron requirement in mutants of Escherichia coli // Journ. Bacteriol. - 1969. - V. 98. - № 3. - P. 1135-1141.

79. Градов О.В. Изотопная каналомика хемоавтотрофов как предиктор-регулятор формирования месторождений металлов и фактор выветривания // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле - 2016 - XVII.

80. Becker D. et al. Changes in voltage activation, Cs⁺ sensitivity, and ion permeability in H5 mutants of the plant K⁺ channel KAT1 //Proceedings of the National Academy of Sciences. - 1996. - Т. 93. - №. 15. - С. 8123-8128.

81. Blackford S., Rea P. A., Sanders D. Voltage sensitivity of H⁺/Ca²⁺ antiport in higher plant tonoplast suggests a role in vacuolar calcium accumulation //Journal of Biological Chemistry. - 1990. - Т. 265. - №. 17. - С. 9617-9620.

82. Kashiba M., Kajimura M., Goda N., Suematsu M. From O₂ to H₂S: a landscape view of gas biology //The Keio journal of medicine. - 2002. - V. 51. - №. 1. - P. 1-10.

83. Suematsu M. [Gas biology: how do the gases conduct protein function in vivo?] //Seikagaku. The Journal of Japanese Biochemical Society. -

2002. - V. 74. - №. 11. - P. 1317-1328 [Art. in Jap.).

84. Suematsu M. Quartet signal transducers in gas biology //Antioxidants and Redox Signaling. - 2003. - V. 5. - №. 4. - P. 435-437.

85. Kajimura M., Fukuda R., Bateman R.M., Yamamoto T., Suematsu M. Interactions of multiple gas-transducing systems: hallmarks and uncertainties of CO, NO, and H₂S gas biology // Antioxidants & redox signaling. - 2010. - V. 13. - № 2. - P. 157-192.

86. Nakao A., Toyoda Y. Book Review: Gas Biology Research in Clinical Practice, edited by Toshikazu Yoshikawa and Yuji Naito //Medical gas research. - 2011. - №. 1. - P. 1.

87. Kajimura M., Nakanishi T., Takenouchi T., Morikawa T., Hishiki T., Yukutake Y., Suematsu M. Gas biology: tiny molecules controlling metabolic systems // Respiratory physiology & neurobiology. - 2012. - V. 184. - №. 2. - P. 139-148.

88. Chang C., Bleecker A. B. Ethylene biology. More than a gas //Plant Physiology. - 2004. - V. 136. - №. 2. - P. 2895-2899.

89. Kunz T.H., Gauthreaux S.A., Hristov N.I., Horn J.W., Jones G., Kalko E.K., Larkin R.P., McCracken G.F., Swartz S.M., Srygley R.B., Dudley R., Westbrook J.K., Wikelski M. Aeroecology: probing and modeling the aerosphere //

Integr. & Comp. Biol. - 2008. - V. 48. - №. 1. - P. 1-11.

90. Hristov N.I., Betke M., Kunz T.H. Applications of thermal infrared imaging for research in aeroecology // Integr. & Comp. Biol. - 2008. - V. 48. - №1. - P. 50-59.

91. Swartz S.M., Breuer K.S., Willis D.J. Aeromechanics in aeroecology: flight biology in the aerosphere // Integr. & Comp. Biol. - 2008. - V. 48. - №. 1. - P. 85-98.

92. Stakman E. C., Christensen C. M. Aerobiology in relation to plant disease // The Botanical Review. - 1946. - V. 12. - №. 4. - P. 205-253.

93. Ponti I., Cavanni P. Aerobiology in plant protection // Aerobiologia. - 1992. - V. 8. - P. 1. - C. 94-101.

94. Fitt B. D. L. Aerobiology and plant pathology // Gewasbescherming. - 1997. - V. 28. - P. 48-48.

95. Rundquist B. C., Harrington Jr J. A., Goodin D. G. Mesoscale satellite bioclimatology //The Professional Geographer. - 2000. - V. 52. - №. 2. - P. 331-344.

96. Biel E. R. Microclimate, bioclimatology, and notes on comparative dynamic climatology //American Scientist. - 1961. - V. 49. - №. 3. - P. 326-357.

97. Valencia-Barrera R. M., Comtois P., Fernández-González D. Biogeography and bioclimatology in pollen forecasting // Grana. - 2001. - V. 40. - №. 4-5. - P. 223-229.

98. Mandrioli P. Biometeorology and its relation to pollen count // Advances in Aerobiology. - Birkhäuser Basel, 1987. - С. 37-41.

99. Wellington W. G. Biometeorology of dispersal // Bulletin of the Entomological Society of America. - 1983. - V. 29. - №. 3. - P. 24-30.

100. Schein R. D. Biometeorology and Plant Disease // AIBS Bulletin. - 1963. - С. 34-37.

101. Schein R.D. Biometeorology in plant disease forecasting // Bull. Amer. Meteorol. Society. - 1962. - V. 43. - №. 11. - P. 628.

102. Градов О. В. Хромато-ауксанометрия и хромато-масс-ауксанометрия в фенологическом стадийном мониторинге лесных пород на основе флейво- и газохимических принципов с автоматической динамической идентификацией паттернов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. - 2015. - № 347. - С. 34-66.

103. Градов О. В. Хромато-ауксанометрія і хромато-мас-ауксанометрія у фенологічному стадійному моніторингу лісових порід на основі флейво- та газохімічних принципів з автоматичною динамічною ідентифікацією патернів (таксономічних, метеоролого-кліматичних і феноспектральних // Экосистемы, их

оптимизация и охрана. – 2014. – Т. 10. – № 29. – С. 30–45.

104. Gradow O. Novel "phenospectral auxanometry" using complexation of optical spectroscopy and chromatographic auxanometry or GC-MS-auxanometry in forest plant species vegetation phenological monitoring based on gas & flavor chemistry principles // Int. Journ. Green Herb. Chem., Section A: Green Chem. – 2014. – V. 3. – № 2. – P. 555–579.

105. Градов О. В. Многофакторная патч-кламп-спектроскопия как метод характеристики сигнальных систем растений и источник комплементарных систематических дескрипторов для биохимической таксономии с привязкой к биогеографическим картам и данным корреляционной феноспектральной ауксанометрии // Сигнальные системы растений: от рецептора до ответной реакции организма. – Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета СПб, 2016. – С. 79–81.

106. Tout D.G. Biometeorology //Progress in Physical Geography. – 1987. – V. 11. – №. 4. – P. 473–486.

107. Gosling S.N., Bryce E.K., Dixon P.G., Gabriel K.M.A., Gosling E.Y., Hanes A J.M., Hondula D.M., Liang L., Mac-Lean P.A.B., Muthers S., Nascimento S.T., Petralli M., Vanos J.K., Wanka E.R. A glossary for biometeorology //International

journal of biometeorology. - 2014. - V. 58. - №. 2. - P. 277-308.

108. The Biological Fractionation of Isotopes, edited by Eric M. Galimov, Academic Press, 1985, ISBN 9780122739705/

109. Liu H., Tian Z. Analysis of plant development stage based on the photoperiod-sensitivity of rice and ramie //Life science research/Hunan Normal University. - 2004. - T. 9. - №. 1. - С. 60-62.

110. Mancinelli A.L. Spectral sensitivity of the high irradiance responses of plant photomorphogenesis // Plant Physiology. - 1979. - V. 63. - №. 5. - P. 155-155.

111. Borchert R., Renner S.S., Calle Z., Navarrete D., Tye A., Gautier L., Spichiger R., von Hildebrand, P. Photoperiodic induction of synchronous flowering near the Equator //Nature. - 2005. - T. 433. - №. 7026. - С. 627-629.

112. Evans L.T. Inflorescence initiation in *Lolium temulentum* L. I. Effect of plant age and leaf area on sensitivity to photoperiodic induction //Australian Journal of Biological Sciences. - 1960. - T. 13. - №. 2. - С. 123-131.

113. QUASTLER H., BAER M. Inhibition of plant growth by irradiation. II. Development and sensitivity //J. Cell, and Comp. Physiol. - 1949. - T. 33. - С. 349-364.

114. Robberecht R., Caldwell M. M. Leaf epidermal transmittance of ultraviolet radiation and its implications for plant sensitivity to ultraviolet-radiation induced injury //Oecologia. - 1978. - Т. 32. - №. 3. - С. 277-287.

115. Mirecki R. M., Teramura A. H. Effects of ultraviolet-B irradiance on soybean V. The dependence of plant sensitivity on the photosynthetic photon flux density during and after leaf expansion //Plant physiology. - 1984. - Т. 74. - №. 3. - С. 475-480.

116. Deckmyn G., Martens C., Impens I. The importance of the ratio UV-B/PAR during leaf development as determining factor of plant sensitivity to increased UV-B irradiance: effects on growth, gas-exchange and pigmentation of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L) //Plant Cell Environ. - 1994. - Т. 17. - С. 295-301.

117. Hofmann R. W., Campbell B. D., Fountain D. F. Sensitivity of white clover to UV-B radiation depends on water availability, plant productivity and duration of stress //Global Change Biology. - 2003. - Т. 9. - №. 3. - С. 473-477.

118. Krizek D. T. Influence of PAR and UV-A in determining plant sensitivity and photomorphogenic responses to UV-B radiation //Photochemistry and Photobiology. - 2004. - Т. 79. - №. 4. - С. 307-315.

119. Orekhov F.K. SpectroChimOzonoScope v. 4.1 (FAQ) // Moscow, ICP: 2014, 19 p.

120. Pankratov S.K. RadioChimO3Scope v. 5.2 (FAQ) // Moscow, ICP: 2014, 13 p.

121. Van Goethem, T. M. W. J., Azevedo, L. B., Van Zelm, R., Hayes, F., Ashmore, M. R., & Huijbregts, M. A. J. Plant species sensitivity distributions for ozone exposure // Environmental pollution. - 2013. - T. 178. - С. 1-6.

122. Tingey D.T., Thutt G.L., Gumpertz M.L., Hogsett W.E. Plant water status influences ozone sensitivity of bean plants //Agriculture and Environment. - 1982. - T. 7. - №. 3-4. - С. 243-254.

123. Grantz D. A. Diel trend in plant sensitivity to ozone: implications for exposure-and flux-based ozone metrics //Atmospheric Environment. - 2014. - T. 98. - С. 571-580.

124. Grantz, D. A., Vu, H., Heath, R. L., & Burkey, K. Diel trends in plant sensitivity to ozone: Toward parameterization of the defense component of effective flux //AGU Fall Meeting Abstracts. - 2011. - T. 1. - С. 0393.

125. Davis D. D., Wood F. A. Influence of plant age on the sensitivity of Virginia pine to ozone //Phytopathology;(United States). - 1973. - T. 63. - №. 3.

126. Timonen U., Huttunen S., Manninen S. Ozone sensitivity of wild field layer plant spe-

cies of northern Europe. A review // Plant Ecology. - 2004. - Т. 172. - №. 1. - С. 27-39.

127. Kline, L. J., Davis, D. D., Skelly, J. M., Savage, J. E., & Ferdinand, J. Ozone sensitivity of 28 plant selections exposed to ozone under controlled conditions //Northeastern Naturalist. - 2008. - Т. 15. - №. 1. - С. 57-66.

128. Städtler S., Ziegler H. Illustration of the genetic differences in ozone sensitivity between the varieties *Nicotiana tabacum* Bel W3 and Bel B using various plant systems // Botanica acta. - 1993. - Т. 106. - №. 3. - С. 265-276.

129. Fletcher J. S., Johnson F. L., McFarlane J. C. Influence of greenhouse versus field testing and taxonomic differences on plant sensitivity to chemical treatment //Environmental Toxicology and Chemistry. - 1990. - Т. 9. - №. 6. - С. 769-776.

130. Suseela, V., Tharayil, N., Xing, B., & Dukes, J. S. Labile compounds in plant litter reduce the sensitivity of decomposition to warming and altered precipitation //New Phytologist. - 2013. - Т. 200. - №. 1. - С. 122-133.

131. Cleland E.E., Collins S.L., Dickson T.L., Farrer E.C., Gross K.L., Gherardi L.A., Hallett L.M., Hobbs R.J., Hsu J.S., Turnbull L., Suding K.N. Sensitivity of grassland plant community composition to spatial vs. temporal varia-

tion in precipitation //Ecology. - 2013. - Т. 94. - №. 8. - С. 1687-1696.

132. Potts, D. L., Huxman, T. E., Scott, R. L., Williams, D. G., & Goodrich, D. C. The sensitivity of ecosystem carbon exchange to seasonal precipitation and woody plant encroachment // Oecologia. - 2006. - Т. 150. - №. 3. - С. 453-463.

133. Milly P. C. D. Sensitivity of greenhouse summer dryness to changes in plant rooting characteristics // Geophysical Research Letters. - 1997. - Т. 24. - №. 3. - С. 269-271.

134. Feeley, K. J., Malhi, Y., Zelazowski, P., & Silman, M. R. The relative importance of deforestation, precipitation change, and temperature sensitivity in determining the future distributions and diversity of Amazonian plant species // Global Change Biology. - 2012. - Т. 18. - №. 8. - С. 2636-2647.

135. Rutishauser T., Schleip C., Sparks T.H., Nordli Ø., Menzel A., Wanner H., Jeanneret F., Luterbacher J. Temperature sensitivity of Swiss and British plant phenology from 1753 to 1958 // Climate Research. - 2009. - Т. 39. - №. 3. - С. 179-190.

136. Springate D.A., Kover P.X. Plant responses to elevated temperatures: a field study on phenological sensitivity and fitness responses to

simulated climate warming // Global Change Biology. - 2014. - Т. 20. - №. 2. - С. 456-465.

137. Schleip C., Rais A., Menzel A. Bayesian analysis of temperature sensitivity of plant phenology in Germany // Agricultural and Forest Meteorology. - 2009. - Т. 149. - №. 10. - С. 1699-1708.

138. Luxmoore R. J., Stolzy J. L., Holdeman J. T. Sensitivity of a soil-plant-atmosphere model to changes in air temperature, dew point temperature, and solar radiation //Agricultural Meteorology. - 1981. - Т. 23. - С. 115-129.

139. Janssens, I. A., Carrara, A., & Ceulemans, R. Annual Q10 of soil respiration reflects plant phenological patterns as well as temperature sensitivity //Global Change Biology. - 2004. - Т. 10. - №. 2. - С. 161-169.

140. McMurchie E. J. 1979 Temperature sensitivity of ion stimulated ATPases associated with some plant membranes //Low Temperature Stress in Crop Plants: The Role of the Membrane. Academic Press, New York. - С. 163-177.

141. Boyd F.T., Dickson D. W. (1971). Plant-parasitic nematodes: occurrence in Florida, sensitivity to temperatures, and effect on tropical forage yields. InProceedings of the Soil and Crop Science Society of Florida (Vol. 31, pp. 267-268).

142. Jeanneret F., Luterbacher J. Temperature sensitivity of Swiss and British plant phenology from 1753 to 1958 //Clim Res. - 2009. - Т. 39. - С. 179190.

143. Rutter A. P. et al. Climate sensitivity of gaseous elemental mercury dry deposition to plants: impacts of temperature, light intensity, and plant species // Environmental science & technology. - 2010. - Т. 45. - №. 2. - С. 569-575.

144. Woodcock A. E. R., WILKINS M. B. The Geoelectric Effect in Plant Shoots: II. Sensitivity of concentration chain electrodes to reorientation //Journal of Experimental Botany. - 1969. - Т. 20. - №. 4. - С. 687-697.

145. Laurinavicius R., Švegždienė D., Gaina V. Force sensitivity of plant gravisensing //Advances in Space Research. - 2001. - Т. 27. - №. 5. - С. 899-906.

146. Salisbury F. B., Gillespie L., Rorabaugh P. Gravitropism in higher plant shoots V. Changing sensitivity to auxin //Plant Physiology. - 1988. - Т. 88. - №. 4. - С. 1186-1194.

147. Hunter, D. M., McFarlane, W., Sykes, A. G., & Dennison, C. Effect of pH on the self-exchange reactivity of the plant plastocyanin from parsley //Inorganic chemistry. - 2001. - Т. 40. - №. 2. - С. 354-360.

148. Pantoja O., Smith J. A. C. Sensitivity of the plant vacuolar malate channel to pH, Ca²⁺ and anion-channel blockers //Journal of Membrane Biology. - 2002. - Т. 186. - №. 1. - С. 31-42.

149. Rutkowska A. Sensitivity of Plant and Soil Indices in Evaluating the Long-Term Consequences of Soil Mining from Reserves of Phosphorus, Potassium, and Magnesium // Communications in soil science and plant analysis. - 2013. - Т. 44. - №. 1-4. - С. 377-389.

150. Silva S.G., Nóbrega J.A., Jones B.T., Donati G.L. Magnesium nitrate as a chemical modifier to improve sensitivity in manganese determination in plant materials by tungsten coil atomic emission spectrometry // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. - 2014. - Т. 29. - №. 8. - С. 1499-1503.

151. Poot M, Gross O, Epe B, Pflaum M, Hoehn H. Cell cycle defect in connection with oxygen and iron sensitivity in Fanconi anemia lymphoblastoid cells. Exp Cell Res. 1996 Feb 1;222(2):262-8.

152. Horvath I, Magyar K, Gado I. The effect of methylene blue on the iron sensitivity of Streptomyces rimosus fermentations. Acta Microbiol Acad Sci Hung. 1959;6:47-50.

153. Cassin, G., Mari, S., Curie, C., Briat, J. F., & Czernic, P. (2009). Increased sensitivity to iron deficiency in Arabidopsis thaliana overac-

cumulating nicotianamine. Journal of experimental botany, 60(4), 1249-1259.

154. Flint D. H., Emptage M. H. Dihydroxyacid dehydratase: isolation, characterization as Fe-S proteins, and sensitivity to inactivation by oxygen radicals //Biosynthesis of branched chain amino acids. - VCH Publishers, New York New York, 1990. - С. 285-314.

155. Blight A. Sensitivity of iron uptake, plant growth and nodulation of narrow-leaved lupin genotypes to bicarbonate //BSc (Agric.) thesis, The University of Western Australia, Perth, Australia. - 1989.

156. Park, M. J., Jung, H. S., Kim, Y. J., Kwon, Y. J., Lee, J. K., & Park, C. M. (2014). High-sensitivity fluorescence imaging of iron in plant tissues. Chemical Communications, 50(62), 8547-8549.

157. Park M. J. et al. High-sensitivity fluorescence imaging of iron in plant tissues //Chemical Communications. - 2014. - Т. 50. - №. 62. - С. 8547-8549.

158. Katayama T., Nagamatsu T. Radiosensitivity in Plants: I. Relation between the water content of some crop seeds and their sensitivity to different doses of X-rays and γ -rays //Japanese Journal of Breeding. - 1966. - Т. 16. - №. 2. - С. 77-82.

159. Francis C. M., Gladstones J. S. Studies on the use of mutagenic agents in plant breeding. I. The effect of seed moisture content on sensitivity to X-ray in *Lupinus angustifolius* //Crop and Pasture Science. - 1963. - Т. 14. - №. 1. - С. 12-19.

160. Shaikh M. A. Q. Radiation sensitivity studies of *Lathyrus* species and *Vicia ervilia* (L.) Willd. III. Dose-effects on yield components and seed yields per plant //Bangladesh J. Agril. Sci. - 1976. - Т. 3. - №. 2. - С. 130-138.

161. LebaiJuri M., Omar M., Yusof N. Sensitivity of the conidia of plant pathogenic fungi to Gamma-rays, electron particles and X-ray (Bremsstrahlung) irradiation //World Journal of Microbiology and Biotechnology. - 1995. - Т. 11. - №. 6. - С. 610-614.

162. Gyoergyne Czeck B. Plant virus sensitivity to gamma irradiation. - 1979. - №. INIS-MF--6050.

163. Kumta U. S., Sawant P. L., Ramakrishnan T. V. Radiation sensitivity studies of plant pigments I. In Vitro lability of β -carotene in lipid solvents //Radiation Botany. - 1970. - Т. 10. - №. 2. - С. 161-167.

164. Sawant P. L., Ramakrishnan T. V., Kumta U. S. Radiation sensitivity studies of plant pigments II. Effects of radiation on carotenoid fractions of orange juice and mango pulp //Radiation Botany. - 1970. - Т. 10. - №. 2. - С. 169-174.

165. Ramakrishnan T. V., Sawant P. L., Kumta U. S. Radiation sensitivity studies of plant pigments. III. In vitro stability of β -carotene in aqueous dispersions //Radiation Botany. - 1970. - Т. 10. - №. 5. - С. 395-399.

166. Hazama Y., Hazama K., Ehrenberg L. The influence of paramagnetic ions on the radiation sensitivity of plant seeds //Radiation Botany. - 1963. - Т. 3. - №. 1. - С. 7-18.

167. Mewissen D. J., Damblon J., Bacq Z. M. Comparative sensitivity to radiation of seeds from a wild plant grown on uraniferous and non-uraniferous soils //Nature. - 1959. - Т. 183.

168. Sparrow A. H. Relationship between chromosome volume and radiation sensitivity in plant cells. - Brookhaven National Lab., Upton, NY, 1963. - №. BNL-7866; CONF-456-1.

169. Myers R. F. The sensitivity of some plant-parasitic and free-living nematodes to gamma and X-irradiation // Nematologica. - 1960. - Т. 5. - №. 1. - С. 56-63.

170. Woodwell G. M. Sensitivity to ionizing radiation: Major ecosystems and dominant plant species //Environmental Biology. - Fed. Amer. Soc. Expt. Cell Biol. Stockholm, 1966. - С. 181-182.

171. Stolte K. W. Sensitivity of plant ecosystems in desert areas to gaseous pollutants //Acid rain and air pollution in desert park areas. Na-

tional Park Service, United States Department of the Interior. - 1991. - С. 42-51.

172. Fang, J., Zhang, H., Yang, N., Shao, L., & He, P. Gaseous pollutants emitted from a mechanical biological treatment plant for municipal solid waste: Odor assessment and photochemical reactivity //Journal of the Air & Waste Management Association. - 2013. - Т. 63. - №. 11. - С. 1287-1297.

173. Bushnell J. Sensitivity of the potato plant to soil aeration //Agronomy Journal. - 1935. - Т. 27. - №. 4. - С. 251-253.

174. Yoshikawa T., Naito Y. (ed.). Gas biology research in clinical practice. - Karger Medical and Scientific Publishers, 2011.

175. Lanza R. C. Imaging gas detectors for medicine and biology //Medical progress through technology. - 1988. - Т. 15. - №. 3-4. - С. 185-198.

176. Farkas G. L., Konrad E., Kiraly Z. The Effect of Light on the Malonate□Sensitivity of Plant Respiration //Physiologia Plantarum. - 1957. - Т. 10. - №. 2. - С. 346-355.

177. Beerling, D. J., Terry, A. C., Hopwood, C., & Osborne, C. P. Feeling the cold: atmospheric CO₂ enrichment and the frost sensitivity of terrestrial plant foliage //Palaeogeography, Palaeo-

climatology, Palaeoecology. - 2002. - Т. 182. - №. 1. - С. 3-13.

178. Zhan X., Wilks D. S. CO₂ sensitivity of plant leaf transpiration //Proceedings of the 21st Conference on Agricultural and Forest Meteorology. San Diego, CA. - 1994. - С. 7-11.

179. Letendre J., Poulin M., Rochefort L. Sensitivity of spectral indices to CO₂ fluxes for several plant communities in a Sphagnum-dominated peatland //Canadian Journal of Remote Sensing. - 2008. - Т. 34. - №. sup2. - С. S414-S425.

180. Darrall N. M. The sensitivity of net photosynthesis in several plant species to short-term fumigation with sulphur dioxide //Journal of Experimental Botany. - 1986. - Т. 37. - №. 9. - С. 1313-1322.

181. Steubing L., Fangmeier A. SO₂-sensitivity of plant communities in a beech forest //Environmental Pollution. - 1987. - Т. 44. - №. 4. - С. 297-306.

182. Seliskar, D. M., Smart, K. E., Higashikubo, B. T., & Gallagher, J. L. Seedling sulfide sensitivity among plant species colonizing Phragmites-infested wetlands //Wetlands. - 2004. - Т. 24. - №. 2. - С. 426-433.

183. Cox R. M. Sensitivity of forest plant reproduction to acid rain //Proc. Int. Conf. Acid

rain and forest resources. (Rennie, PJ and Robitaille, G. eds.) Quebec City. - 1983.

184. Rutishauser T. Historical phenology: plant phenological reconstructions and climate sensitivity in Northern Switzerland : дис. - 2007.

185. Lapenis, A., Henry, H., Vuille, M., & Mower, J. Climatic factors controlling plant sensitivity to warming //Climatic change. - 2014. - Т. 122. - №. 4. - С. 723-734.

186. Jonsdottir, I. S., Magnusson, B., Gudmundsson, J., & Elmarsdottir, A. and Hjartarson, H. (2005): Variable sensitivity of plant communities in Iceland to experimental warming. Global Change Biol, 11, 553563.

187. Goswami, A., Main, D. J., Noto, C. R., Moore, T. L., & Scotese, C. (2009, December). Cretaceous Climate Sensitivity Study Using Dinosaur & Plant Paleobiogeography. In AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 1, p. 1358).

188. Wei-Ai, S. U., Rong-Oin, M. I., Wen-Ying, W. A. N. G., & Hong-Chun, W. A. N. G. (1990). The Influence of Cold Hardening on Plant Stress Sensitivity. **植物生理学报**, 3, 011.

189. Kouressy, M., Dingkuhn, M., Vaksman, M., & Heinemann, A. B. Adaptation to diverse semi-arid environments of sorghum genotypes having different plant type and sensitivity to photoperiod // Agri-

cultural and Forest Meteorology. - 2008. - Т. 148.
- №. 3. - С. 357-371.

190. Beckerson, D. W., Cain, N., Hofstra, G.,
Ormrod, D. P., & Campbell, P. A. A guide to-
plant-sensitivity to environmental-stress
//Landscape Architecture. - 1980. - Т. 70. - №. 3.
- С. 299-303.

191. Milne J. A., Hartley S. E. Upland plant
communities-sensitivity to change //Catena. -
2001. - Т. 42. - №. 2. - С. 333-343.

192. Joyce C. The sensitivity of a species-
rich flood-meadow plant community to fertilizer
nitrogen: the Lužnice river floodplain, Czech Re-
public //Plant Ecology. - 2001. - Т. 155. - №. 1.
- С. 47-60.

193. Esther A. et al. Sensitivity of plant
functional types to climate change: classification
tree analysis of a simulation model // Journal of
Vegetation Science. - 2010. - Т. 21. - №. 3. - С.
447-461.

194. **김동헌.** SYMPOSIUM 4-Biochemistry and Mo-
lecular Biology of Plant-: biochemical basis for
tissue-specific difference in auxin sensitivity
between rice shoots and roots //생화학분자생물학회
춘계학술발표논문집. - 1997. - Т. 1999. - №. 단일호. -
С. 56-56.

195. Otani H., Nishimura S., Kohmoto K. Nature of Specific Susceptibility to *Alternaria kikuchiana* in Nijisseiki Cultivar among Japanese Pears: VI. Effect of Known Plant Hormones on Sensitivity of Pear Leaves to Host-Specific Toxin // 鳥取大學農學部紀要. - 1976. - Т. 11. - С. 1-6.

196. Tingey D. T., Andersen C. P. The physiological basis of differential plant sensitivity to changes in atmospheric quality // Ecological genetics and air pollution. - Springer New York, 1991. - С. 209-235.

197. Krüger, T. P., Illoaia, C., Valkunas, L., & van Grondelle, R. Fluorescence intermittency from the main plant light-harvesting complex: sensitivity to the local environment // The Journal of Physical Chemistry B. - 2011. - Т. 115. - №. 18. - С. 5083-5095.

198. Stone, J. M., Liang, X., Nekl, E. R., & Stiers, J. J. Arabidopsis AtSPL14, a plant-specific SBP-domain transcription factor, participates in plant development and sensitivity to fumonisin B1 // The Plant Journal. - 2005. - Т. 41. - №. 5. - С. 744-754.

199. Li, L., Lin, L., Li, X., & Lu, Y. Sensitivity of photosystem II activity in immature and mature leaves of desert sun plant *Alhagi sparsiflo-*

lia Shap. to light stress //Acta Physiologiae Plantarum. - 2015. - Т. 37. - №. 8. - С. 1-10.

200. Evans L. T. Inflorescence initiation in *Lolium temulentum* L. 1. Effect of plant age and leaf area on sensitivity to photoperiodic induction. Aust //J. biol. Sci. - 1960. - Т. 13. - С. 123-131.

201. Feldman N. L. The influence of wound injury on sensitivity of plant cells //Problems of cytology and protistology. - 1960. - С. 216-223.

202. Mehlhorn H., Wellburn A. R. Stress ethylene formation determines plant sensitivity to ozone // Nature. - 1987. - Т. 327. - №. 6121. - С. 417-418.

203. Перельгин В. М., Шнирт М. Б., Арипов О. А. Действие некоторых пестицидов на иммунологическую реактивность //Гигиена и санитария. - 1971. - №. 12. - С. 29-33.

204. Фильчаков И. В., Зарицкий А. М. Персистенция бактерий: механизмы и иммунная реактивность организма //Сучасні інфекції. - 2003. - №. 3. - С. 71-82.

205. Tingey, D. T., Thutt, G. L., Gumpertz, M. L., & Hogsett, W. E. Plant water status influences ozone sensitivity of bean plants //Agriculture and Environment. - 1982. - Т. 7. - №. 3-4. - С. 243-254

206. Goldhamer, D. A., Fereres, E., Mata, M., Girona, J., & Cohen, M. Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation // Journal of the American Society for Horticultural Science. - 1999. - Т. 124. - №. 4. - С. 437-444.

207. Hansen G. K. A Dynamic Continuous Simulation Model of Water State and Transportation in the Soil-Plant-Atmosphere system: I. The Model and its Sensitivity //Acta Agriculturae Scandinavica. - 1975. - Т. 25. - №. 2. - С. 129-149.

208. Burló-Carbonell, F., Carbonell-Barrachina, A., Vidal-Roig, A., & Mataix-Beneyto, J. Effects of irrigation water quality on loquat plant nutrition: Sensitivity of loquat plant to salinity //Journal of plant nutrition. - 1997. - Т. 20. - №. 1. - С. 119-130.

209. Aggarwal P. K., Koundal K. R. Relative sensitivity of some physiological characteristics to plant water deficits in wheat //Plant physiology & biochemistry. - 1988.

210. Granier C. et al. SimonneauT., Tardieu F., 2006, PHENOPSIS, an automated platform for reproducible phenotyping of plant responses to soil water deficit in Arabidopsis thaliana permitted the identification of an accession with low sensi-

tivity to soil water deficit //New Phytol. - Т. 169. - №. 3. - С. 623-35.

211. Till M. R. The sensitivity of fruit growth rate to the water balance of the plant //Animal Production Science. - 1965. - Т. 5. - №. 16. - С. 85-86.

212. Xu H. L., Yamagishi T., Kumura A. Effects of water deficit on photosynthesis in wheat plants, 2: The physiological basis for the difference in photosynthetic sensitivity to water stress among plant parts //Japanese Journal of Crop Science (Japan). - 1987.

213. Hofmann R. W., Campbell B. D., Fountain D. F. Sensitivity of white clover to UV-B radiation depends on water availability, plant productivity and duration of stress //Global Change Biology. - 2003. - Т. 9. - №. 3. - С. 473-477.

214. Hafner, C., Erdmenger, E., Jung, K., Gehre, M., & Schürmann, G. Stable isotope tracer technique as a tool to increase the sensitivity of plant growth bioassays-investigations with Pentachlorophenol and Trichloroacetic acid // Fresenius Environmental Bulletin. - 2000. - Т. 9. - №. 3/4. - С. 225-231.

215. Markx G. H. et al. Dielectric spectroscopy as a novel and convenient tool for the study of the shear sensitivity of plant cells in suspen-

sion culture //Journal of biotechnology. - 1991. -
Т. 19. - №. 2. - С. 145-157.

216. Rosenberg M. Z. 1987, The hydrodynamic
shear sensitivity of suspension cultured plant
cells : дис. - Ph. D. dissertation, Washington
University, St. Louis, USA.

**BIOPHYSICAL / BIOCHEMICAL BIOCECENOTIC
AND BIOGEOGRAPHIC SYSTEMATICS BASED
ON COMPLEX DESCRIPTORS OF PLANT CELL /
TISSUE RESPONSE TO GEOCHEMICAL AND
GEOPHYSICAL FACTORS IN THE FRAMEWORK
OF PHYSICAL CHEMISTRY**

*Orekhov F.K., Pankratov S.K.,
Adamovic E.D., Lin V., Gradov O.V.*

Brief abstract

We propose a novel technique for complex multidescrptor biophysical-
biochemical and biocenotic-biogeographic systematics based on complex
descriptors of plant cell / tissue response to geochemical and geophysical
factors in the framework of physical chemistry.