

Общие проблемы экологии

УДК 504.064.3

НОВЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И ПОРТАТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СРЕД*

© А.В. Смагин, Н.Б. Садовникова, М.В. Глаголев, А.В. Кириченко

*Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, институт экологического почвоведения МГУ
Москва, smagin@list.ru*

Проанализированы особенности использования электронно-технических средств для экологической оценки состояния окружающей среды, позволяющие оперативно и эффективно анализировать реальную ситуацию условий функционирования отдельных экологических систем. Обсуждаются особенности использования электронных средств для мониторинга температуры атмосферы, воды, почвы и почвенного воздуха с применением различных электронных датчиков. Особый интерес представляет инструментальный анализ газовой фазы объектов окружающей среды, выполненный с использованием портативных газоанализаторов в различных условиях.

Экологическая оценка и мониторинг состояния окружающей среды являются важнейшими направлениями современной науки в связи со все возрастающей опасностью техногенных катастроф, военных конфликтов, террористических актов, глобальных климатических изменений и других негативных воздействий, нарушающих природное равновесие и стабильное функционирование экосистем планеты. От развития этих направлений во многом зависят оперативность и эффективность действий по предотвращению экологических кризисов и катастроф или по их локализации и последующему восстановлению окружающей среды. Не менее важным является осуществление комплексной экологической оценки и мониторинга динамических параметров окружающей среды при освоении и хозяйственном использовании человеком данных территорий (строительстве, сельском хозяйстве, добыче полезных ископаемых, размещении индустриальных объектов и т.д.) во избежание нанесения природе и потомкам непоправимого ущерба.

Современная наука обладает широким арсеналом средств и методов экологических наблю-

дений, охарактеризовать которые в рамках небольшой статьи не представляется возможным. Цель данного сообщения – дать информацию лишь о некоторых, перспективных на наш взгляд, инструментальных методах экологической оценки и мониторинга окружающей среды с использованием новейших достижений отечественной и зарубежной микроэлектроники и приборостроения. При выборе приборного обеспечения мы ориентировались на доступные широкому кругу пользователей недорогие, портативные средства инструментального анализа, пригодные как для лабораторных, так и для полевых экспериментов. Многие из этих средств были созданы для нужд промышленности, медицины, торговли и транспортировки товаров и других отраслей человеческой деятельности, зачастую весьма далеких от охраны окружающей среды. Поэтому для их адаптации к задачам экологии в нашей лаборатории были предприняты специальные методические разработки, учитывающие специфику конкретных изучаемых объектов окружающей среды. Большая часть практиче-

* Доклад, сделанный авторами на научной конференции НИИ экологии Кубанского госагроуниверситета (Биостанция «Криница») 19 июня 2006 г.

ских примеров касается оценки экологического состояния и функционирования почв, что связано, с одной стороны, с профессиональными интересами авторов, а с другой – с той определяющей ролью, которую играет почвенный покров в поддержании Жизни и экологического равновесия на планете. Приборное обеспечение исследований составили электронные программируемые датчики «термохрон» и «гигрохрон» фирм «Dallas Semiconductor» и «Maxim» (США), индуктивный влагомер SH-0453 ЗАО «Научная Электроника» (Россия), кондуктометры международной компании «HANNA Instruments», портативный газоанализатор ПГА-7 ОАО «Электронстандарт» (Россия). Рассмотрим

последовательно их основные технические характеристики и возможности при использовании в количественных исследованиях проблем экологии и почвоведения.

Программируемые электронные датчики «термохрон» и «гигрохрон». Это новейшие электронно-технические средства так называемого скрытого экологического автоматического мониторинга наиболее важных физических параметров окружающей среды – температуры и влажности. Перечень и краткая характеристика наиболее подходящих для экологического мониторинга разновидностей таких датчиков содержатся в таблице.

Таблица. Характеристика программируемых электронных датчиков «термохрон» и «гигрохрон»

Кодировка датчика	Диапазон температур, °C	Точность, °C	Разрешающая способность, °C	Количество запасаемых значений	Миним. периодичность считывания
DS1921G	-40 – +85	1	0,5	2048	1мин
DS1921Z-F5	-5 – +26	1	0,125	2048	1мин
DS1922L	-40 – +85	0,5 (ПК)	0,5 или 0,0625	8192 или 4096	1сек
DS1922T	0 – +125	0,5 (ПК)	0,5 или 0,0625	8192 или 4096	1сек
DS1923* «гигрохрон»	-20 – +85	0,5 (ПК)	0,5 или 0,0625	8192 или 4096	1сек

(ПК) – программная коррекция
 *Измеряет также влажность от 0 до 100% с разрешением 0,6 либо 0,04% и погрешностью не более чем $\pm 3\%$, нормируемая величина температурной погрешности не более $\pm 1^\circ\text{C}$.
 Стоимость датчиков – от 500 руб. (2004 г)

Как видно, с помощью датчиков возможно проведение мониторинга температуры и относительной влажности воздуха объектов окружающей среды с высокой точностью и оперативностью при небольшой стоимости оборудования. При этом в отличие от традиционных технологий контроля, требующих постоянного или периодического присутствия на опытных площадках исследователя, данная разработка позволяет осуществлять мониторинг полностью автоматически без каких-либо коммуникаций со стационарной базой. Датчики программируются посредством поставляемой разработчиком компьютерной программы на определенный интервал (частоту) измерений для заданного периода мониторинга и помещаются в исследуемую среду. По прошествии этого периода их необходимо извлечь, присоединить через COM- или USB-

порт к компьютеру и считать накопленную информацию за весь срок наблюдений. При частоте отбора показаний через каждые 3 часа (8 измерений в сутки) емкости памяти обычных серийных датчиков хватает на год непрерывного мониторинга, а для новых разновидностей (DS1922, DS1923) этот срок вдвое выше. Минимальный интервал отбора проб варьирует от 1 сек до 1 мин, в зависимости от разновидности датчика. Общий энергетический ресурс датчиков рассчитан на 10-летний срок непрерывной эксплуатации. Датчики выполнены в виде цилиндрической таблетки (около 1,5 см в диаметре и 0,6 см высотой) из прочной нержавеющей стали, устойчивой к возможным механическим и химическим воздействиям окружающей среды (фото на рис. 1).

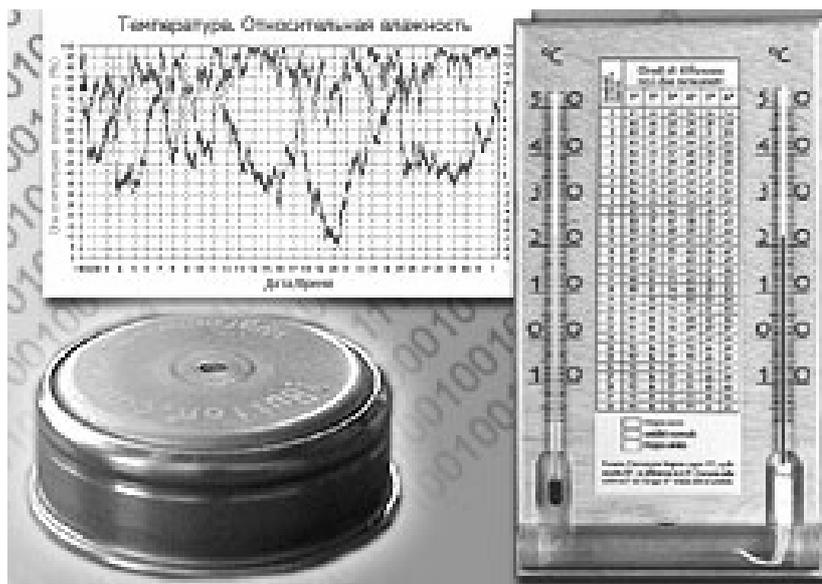


Рис. 1. Электронные датчики «Термохрон» и «Гигрохрон»

Обратимся к результатам исследований. На рисунке 2 представлены фрагменты мониторинга температурного режима атмосферы и воды в долине р. Сетунь (г. Москва, 2003-2004 гг.), выполненного в рамках сотрудничества с НИиПИ Экологии города по программе Правительства Москвы, нацеленной на сохранение и благоустройство малых рек города. Как видно, температура атмосферы в центре города характеризуется существенно меньшей амплитудой варьирования по сравнению с периферийными условиями, где в течение зимнего периода неоднократно возникали экстремально низкие значения температуры воздуха до $-25\dots-30^{\circ}\text{C}$. Это объясняется хорошо известным в урбоэкологии эффектом «теплового острова» в мегаполисах, возникающего за счет техногенных потоков тепла и локального парникового эффекта городской атмосферы. Спорадические более высокие температуры (до $+10\dots+15^{\circ}\text{C}$) в марте, наблюдаемые на границе города относятся, по-видимому, к ясным теплым дням и объясняются повышенным фоном солнечной радиации. В центре города инсоляция в это время могла быть ниже по причине загрязненности атмосферы и локальной облачности.

В целом температурные условия долины р. Сетунь в пределах города в зимний период не

превышали порога толерантности типичных местных растений (-20°C), и следовательно, этот фактор не мог быть лимитирующим для природной и культурной растительности исследуемой территории.

Не менее интересны данные мониторинга температуры русловых вод. На входе в город р. Сетунь промерзала на длительный срок с января до первой декады марта, и ее температура оставалась фактически постоянной и соответствовала точке замерзания воды. В городской черте, напротив, вода в русле реки оставалась незамерзшей даже в сильные морозы. Это связано с активным сбросом сточных и технических вод предприятиями города, находящимися в бассейне р. Сетунь. Более частая расстановка датчиков позволила выявить основной источник сброса в среднем течение реки по anomalно высоким температурам воды, превышающим даже характеристики устья в центре города (рис.2). Естественно, что, наряду с тепловым воздействием, данное предприятие оказывало мощное химическое загрязнение и вызывало негативное экологическое состояние как самой малой реки, так и ее прибрежных участков ниже по течению.

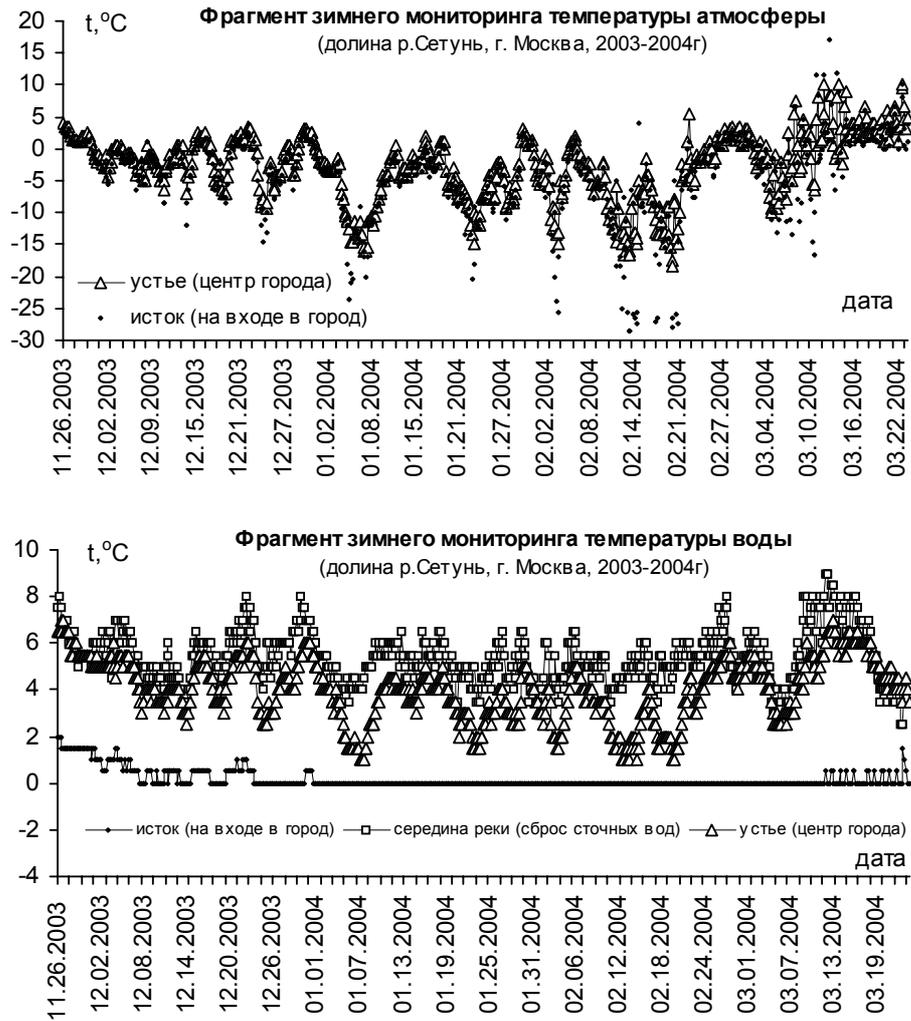


Рис.2. Автоматизированный контроль температурного режима атмосферы и воды различных участков долины р. Сетунь (г. Москва)

На следующей иллюстрации (рис.3) приведены данные сравнительного мониторинга, направленного на выявление воздействия городских подземных коммуникаций (трубопроводов) на температурный режим городских почв (г. Москва, р-н Крылатское). Как видно из графиков, температура почвы над трубопроводом стабильно выше фоновых величин для почв ненарушенных территорий, причем с глубиной различия усиливаются и могут достигать $5-10^\circ\text{C}$. Фоновая почва промерзает и остается практически всю зиму при температурах $0\dots+1^\circ\text{C}$, соответствующих фазовому переходу для почвенного раствора. Над теплотрассой температура почвы практически все время положительна и лишь в сильные морозы снижается за нулевую отметку. Это приводит к пролонгации биологической

активности таких почв и их потенциальной деградации из-за разрушения органического вещества (гумуса) в холодные сезоны, когда отсутствует фотосинтез и соответствующий приток органики из растительного блока. Данные мониторинга позволяют рассчитать суммарные потери тепла на нагрев окружающей среды при транспортировке горячей воды по подземной теплотрассе, а также оценить прогрев почвенной толщи вблизи трубопровода. Это, в свою очередь, важно знать при оценке потенциальной коррозии трубопровода. Оказывается, именно в холодное время года создаются благоприятные условия для данного процесса – избыток незамерзшей влаги и достаточная для развития микроорганизмов теплообеспеченность.

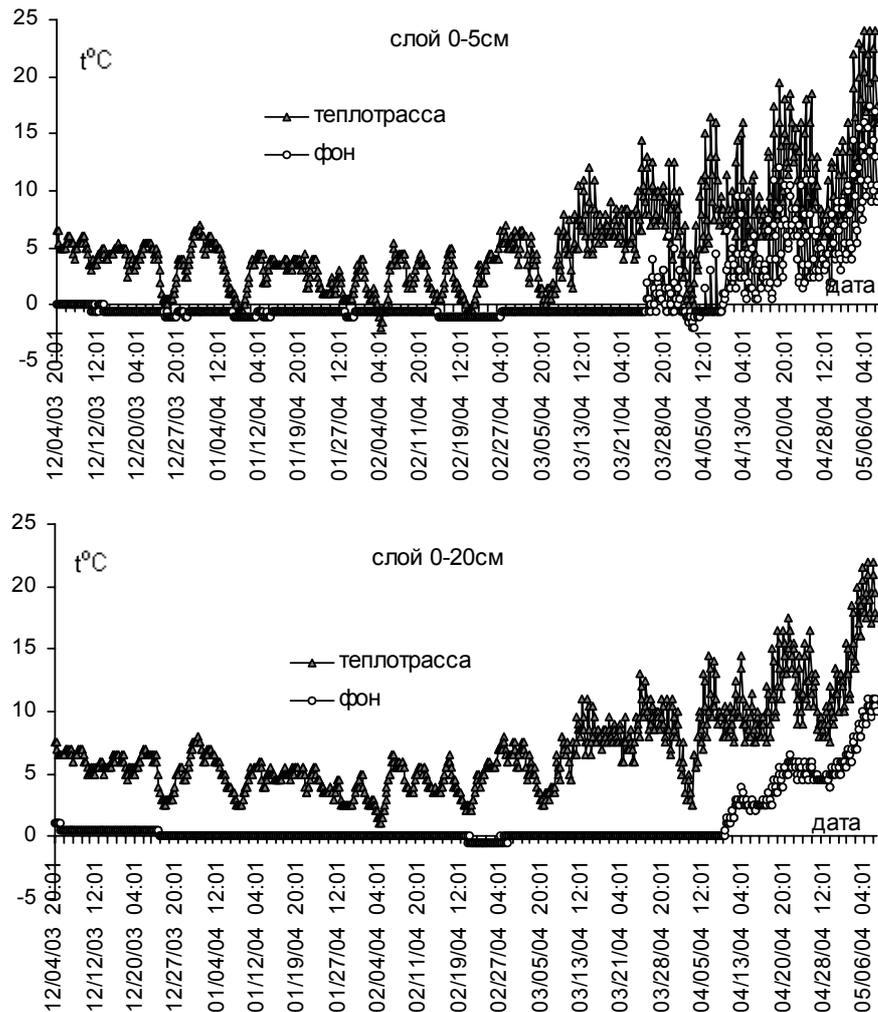


Рис. 3 Влияние теплотрассы на температуру почвы (г.Москва, Крылатское 2003-2004 гг)

Еще один пример относится к аридным условиям (королевство Бахрейн, Персидский залив, 2005 г.), где с помощью программируемых электронных датчиков «гигрохрон» DS-1923 осуществлялся скрытый контроль за гидротермическим режимом орошаемых почв под древесными культурами на особо ответственном, закрытом для посещения объекте (королевская резиденция «Сахир»). Целью мониторинга, выполняемого по заданию фирмы «Natural Organic Product», было выяснить причину угнетения роста отдельных деревьев на фоне в целом хорошего состояния посаженных по российской технологии древесных культур с использованием оригинального почвоулучшителя «Arid Grow». Как видно из иллюстрации (рис.4), причиной угнетения роста дерева «неет», является недостаток поливной влаги и, соответственно, перегрев поверхности почвы. По сравнению с соседним, хорошо чувствующим себя эвкалиптом это

растение явно усыхало. Датчик показал, что относительная влажность почвенного воздуха под этим деревом изменялась только за счет конденсационных процессов и была стабильно ниже 70-80% то есть почвенная влага была совершенно недоступной растению, тогда как под эвкалиптом ежедневно почва увлажнялась во время полива, о чем свидетельствовали периодические всплески относительной влажности за 100%. Проведенная по нашим рекомендациям проверка ирригационной системы показала, что под угнетенным деревом «неет» капельная насадка засорилась и поливная вода просто перестала поступать в корневую зону. Таким образом, использование датчиков «гигрохрон» позволило оперативно выявить и в дальнейшем устранить причину угнетения роста дорогостоящих древесных посадок на особо ответственном объекте без присутствия непосредственных наблюдателей.

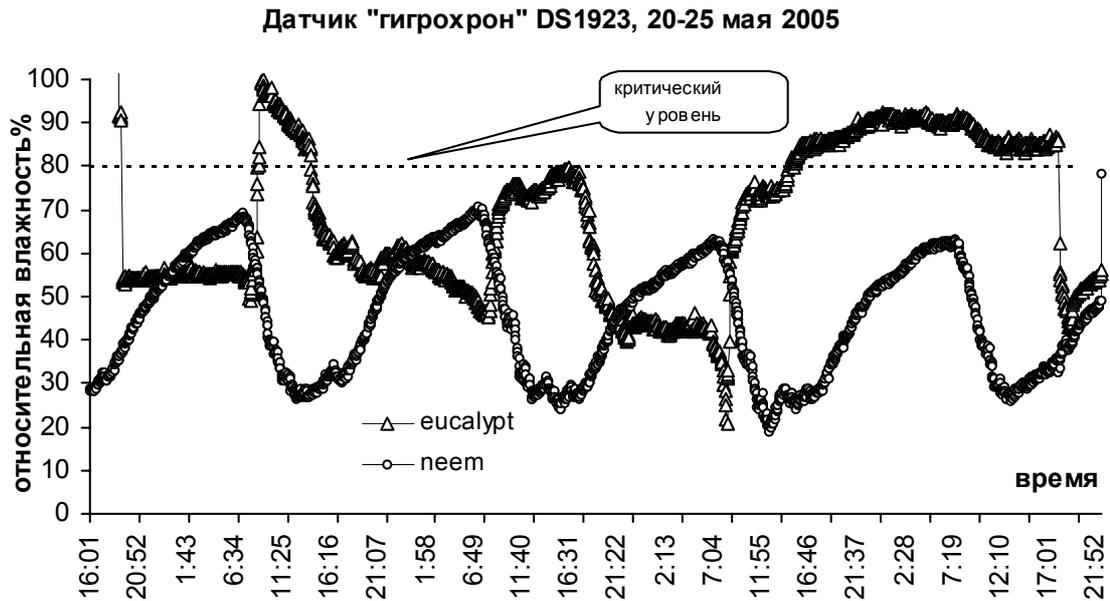


Рис.4. Мониторинг относительной влажности почвенного воздуха (резиденция «Сахир», королевство Бахрейн, 2005 г.)

Помимо основной цели – мониторинга температуры и относительной влажности воздуха в почве и сопредельных средах, оказалось возможным использовать датчики «термохрон» и «гигрохрон» для лабораторного анализа *потенциала почвенной влаги* и *температуропроводности*, а также *дисперсности (удельной поверхности) почв* (Смагин, 2005). Определение потенциала влаги и температуропроводности осуществляется синхронно и не требует никаких специальных приборов и материалов, кроме самих датчиков, почвы и обычного бытового холодильника. Весь анализ занимает 20–30 мин – время, необходимое для замораживания небольшого образца почвы определенной влажности. Техника эксперимента чрезвычайно проста. Предварительно запрограммированный на фиксацию температур с максимальной частотой (интервал не более 1 мин) датчик устанавливается в почву в небольших боксах емкостью 50-100 см³. Далее образец помещается в морозильную камеру на 20-30 мин, по прошествии которых можно либо сразу считать информацию о ходе температур, либо переставить датчик в другой образец и повторить эксперимент, поскольку вся информация сохраняется в накопительном режиме. Меняя содержание влаги в образцах,

удается получить зависимости соответствующих показателей от влажности.

Расчеты искомых характеристик по кривым промерзания (оттаивания) почвы не представляют никакой сложности. Для оценки температуропроводности используются тренды динамики температуры образца при охлаждении или нагревании. Их представление в полулогарифмических координатах и несложная математическая обработка в виде линейной аппроксимации позволяют получить показатель температуропроводности согласно хорошо известной в физике почв формуле Кондратьева [Смагин, 2005].

Для определения полного потенциала почвенной влаги (в почве) или осмотического давления почвенного раствора (в экспериментах с жидкой фазой) с кривых промерзания образца необходимо снять температуру точки замерзания, которая отчетливо проявляется в виде участка плато после тренда падения температуры в ходе охлаждения образца. Расчет потенциала влаги по температуре точки замерзания осуществляется согласно известной в криоскопии линейной зависимости с коэффициентом пропорциональности в виде отношения скрытой теплоты фазового перехода и молярной массы воды [Смагин, 2005].

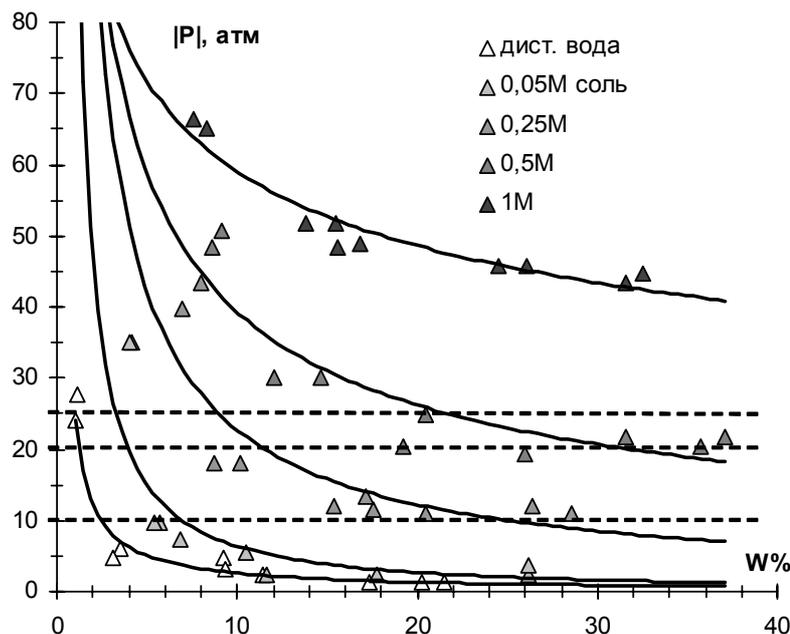


Рис. 5. Зависимость полного потенциала (давления) от содержания влаги и засоленности порового раствора. Пунктир – критические значения корневого потенциала для пшеницы (10 атм), картофеля (20 атм) и кукурузы (25 атм).

На рисунке 5 приведены кривые зависимости полного потенциала почвенной влаги от ее содержания в почве (влажности), полученные предлагаемым методом с помощью датчиков «термохрон». Кривые позволяют дать объективную экологическую характеристику доступности почвенной влаги растениям в том или ином диапазоне влажности и учесть влияние не только твердой фазы, но и состава порового раствора (засоления) на эту величину. В частности, исходная (незасоленная) супесчаная почва пригодна для выращивания растительных культур в широком диапазоне влажностей от 2-4% (влага завядания) до 38-40% (полная влагоемкость). Внесение в почву легкорастворимых солей значительно снижает доступность влаги растениям. Так, при концентрации соли 0,25M, влага становится недоступной уже при влажностях ниже 20% для пшеницы и порядка 10% для более толерантных культур – картофеля и кукурузы, корневой потенциал которых способен достигать величин 20-25атм. При большей концентрации 0,5M почвенная влага в диапазоне 20-40% будет доступна лишь для толерантных культур. Если же концентрация солей достигает 1M, такая влага становится полностью недоступной для растений, а почва, соответственно, абсолютно бесплодной.

Оценка удельной поверхности и изотерм сорбции водяного пара почвами осуществляются при помощи датчиков «гигрохрон» так называемым динамическим методом. Преимущество динамических методов перед традиционно используемыми в почвоведении и грунтоведении адсорбционно-статическими заключается в экспрессности и нетрудоемкости анализа, высокой чувствительности и воспроизводимости, а главное – в возможности получения непрерывной кривой изотермы сорбции пара (ИС), а не отдельных точек на этой кривой. Основное технологическое отличие данной группы методов состоит в том, что образец почвы помещается не в статическую атмосферу адсорбирующегося газообразного вещества, а в его поток. При этом необходимо регистрировать концентрацию газа (пара) на выходе из термостатируемого образца и по соответствующей выходной кривой легко рассчитать всю ИС, а по ней – удельную поверхность согласно теории БЭТ (Смагин, 2005). Первоначально с целью контроля за концентрацией адсорбата в потоке инертного газа-носителя использовались дорогостоящие, громоздкие стационарные приборы – газовые хроматографы (Смагин, 2005). Разработанная нами модификация предполагает существенное удешевление этого вида анализа и отказ от

обязательных стационарных условий, поскольку для регистрации выходной кривой применяются недорогие, миниатюрные датчики «гигрохрон» с автономным энергопитанием, по чувствительности несколько не уступающие хроматографам. Наличие в них ПЗУ со счетчиком реального времени и оперативной связи с компьютером позволяет получать выходные кривые непосредственно в координатах «концентрация-время» (рис.6).

На базе теории равновесной хроматографии (Смагин, 2005) численным интегрированием выходных кривых с помощью макроса Excel легко определяются показатели ИС – концентрация поглощенного пара (влажность почвы, $W\%$) в зависимости от его содержания (относительного давления) в газовой фазе (P/P_0). Рядом приведен пример такой изотермы для подмосковной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Сравнение модификации с базовым методом газовой хроматографии показывает вполне удовлетворительную сходимость данных (рис.6). Вычисляя по изотерме функцию БЭТ: $(P/P_0)/(W(1-P/P_0))$ и аппроксимируя ее уравнением прямой, легко рассчитать удельную поверхность образца почвы по следующей формуле [Смагин, 2005]: $S=36,16/(a+b)$, где a , b – параметры линейного

уравнения (угловой коэффициент и остаточный член). Так в нашем примере (рис.6) $a=0,8949$, $b=0,0291$, а величина S , соответственно, $36,16/(0,8949 + 0,0291) = 39,1 \text{ м}^2/\text{г}$.

Несмотря на уникальные технические характеристики, датчики «гигрохрон», к сожалению, нельзя использовать для контроля полевой влажности почв и грунтов в обычных гумидных условиях. Как хорошо видно из графика изотермы сорбции водяных паров (рис.6), равновесная влажность почвы ($W\%$), соответствующая рабочему диапазону измеряемых датчиком величин относительной влажности воздуха (давления паров воды $0 < P/P_0 \leq 0,99$), не превышает 3-4% от массы почвы. Это так называемая максимальная гигроскопичность почвы (МГ), по которой можно оценить влажность завядания растений ($BЗ$) согласно известной зависимости $BЗ \approx 1,5МГ$. Остальная часть влаги от МГ до полной влагоемкости (ПВ), то есть собственно подвижная, доступная для растений влага, будет соответствовать равновесному давлению паров воды в очень узком диапазоне $0,99 < P/P_0 \leq 1$ и достоверно измерять различия в таком диапазоне не может ни один гигрометр, в том числе и «гигрохрон».

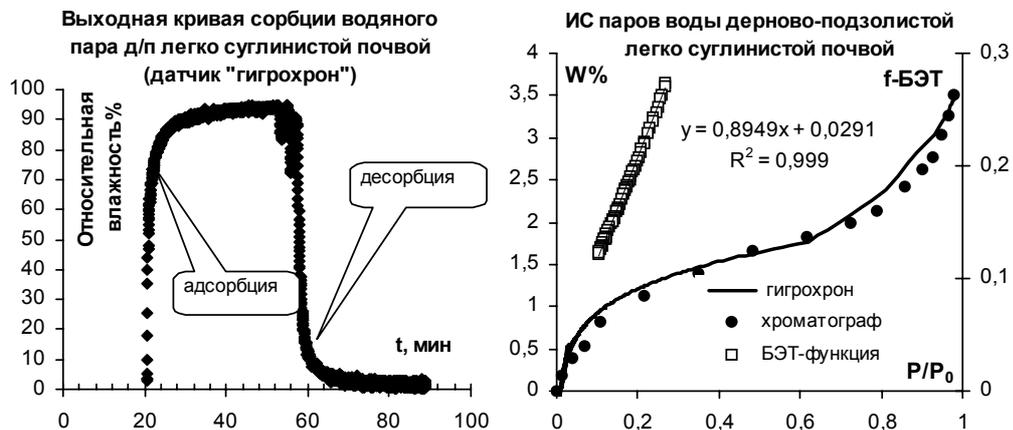


Рис.6 Выходная кривая и рассчитанная по ней изотерма сорбции водяного пара (динамический метод)

Для оценки полевой *влажности* капиллярно-пористых сред и материалов а также ее пространственной вариабельности удобно использовать *индуктивный влагомер* SH-0453. Прибор изначально разработан для анализа влажности древесины (пиломатериалов), однако, как показали наши тестовые испытания, он с успехом может применяться и для

оценки объемной влажности почв и грунтов в широком диапазоне содержания влаги от гигроскопии до состояния насыщения с точностью порядка 1-2% , при условии предварительной калибровки по стандартному термовесовому методу. Стоимость прибора на отечественном рынке варьирует от 2000 до 4000 руб. Он чрезвычайно прост в применении,

имеет небольшие габариты 140x80x80мм, работает от сменных аккумуляторов (4,5В). Для измерения влажности необходимо лишь приложить прибор к стенке разреза или поверхности исследуемого материала и нажать на кнопку отсчета показаний. При этом на электронном табло высвечивается значение влажности. Для калибровки прибора служат два переменных сопротивления, одно из которых регулирует сдвиг нуля, а другое – коэффициент усиления сигнала. На рисунке 7 показан фрагмент оценки пространственной динамики влажности в дерново-подзолистой почве и породе легкого гранулометрического состава.

Отчетливо выделяются зоны повышенного увлажнения ($W > 14\%$), по которым, согласно законам гидрофизики, происходит локальный (преимущественный) транспорт влаги и растворенных веществ в глубь почвы. Преимущественный массоперенос имеет чрезвычайно важное значение в проблеме загрязнения объектов окружающей среды и, в частности, грунтовых вод, поскольку загрязняющие вещества с поверхности почвы могут быстро попадать в вадозную зону даже при небольших осадках, недостаточных для сплошного промачивания почвенной толщи.

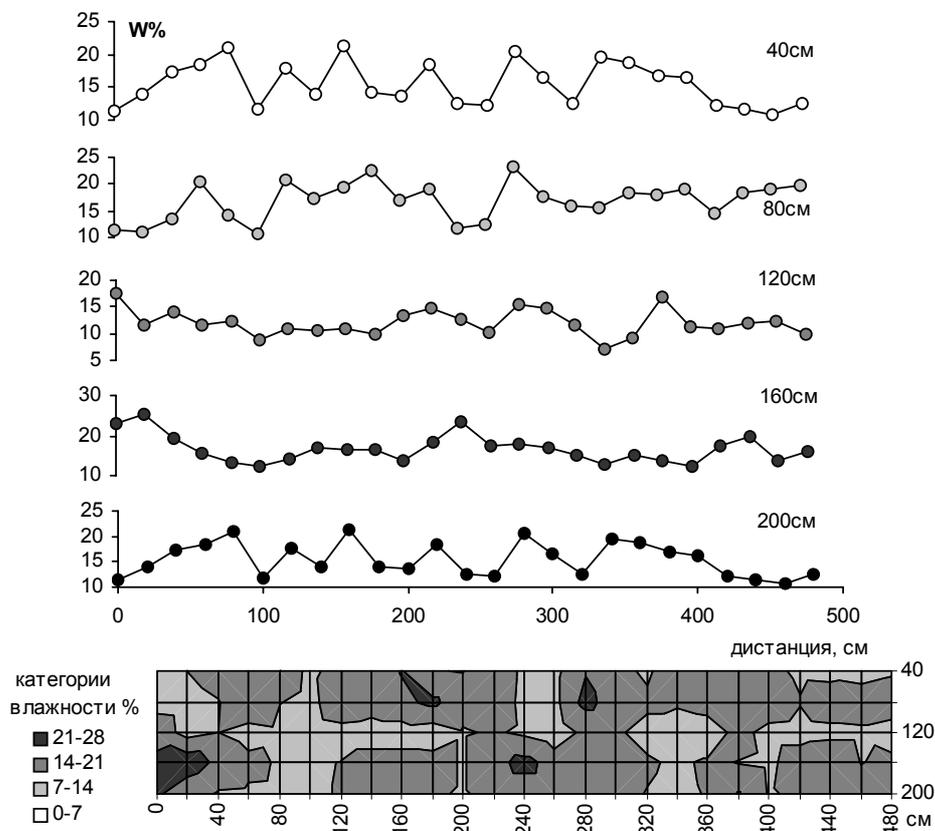


Рис. 7. Исследование пространственного варьирования влажности и выявление зон преимущественных потоков в дерново-подзолистой супесчаной почве (Москва, строительный карьер в Крылатском)

Экспрессную оценку *засоленности почв*, качества и доступности влаги растениям удобно проводить по *электропроводности* ирригационных вод, почвенных растворов и паст на базе *портативных кондуктометров HANNA*. В частности, можно порекомендовать приборы марки DIST WP4 и HI 98130 Combo (стоимость порядка 3000-6000 руб.), измеряющие электропроводность (EC) в диа-

пазоне 0-20 дСм/м с разрешением 0,01 дСм/м, поскольку незасоленным почвам и водам соответствует электропроводность менее 2-4 дСм/м, а сильной степени засоления – 16-20 дСм/м. Приборы характеризуются небольшими размерами (160x40x26мм для HI 98130) и работают от 4-х сменных часовых батареек по 1,5В. Более дорогой вариант Combo измеряет также температуру и pH растворов и суспен-

зий (паст). Техника измерений предельно проста и сводится к двум последовательным процедурам – помещению встроенных в корпус электродов в раствор и снятию отсчета значений электропроводности (или других измеряемых параметров) с электронного дисплея прибора после нажатия кнопки энергоснабжения. На следующей иллюстрации приведены примеры экологической оценки засоления почв аридных и гумидных ландшафтов с помощью кондуктометров HANNA (рис. 8). Интересно отметить, что техногенное засоление,

вызванное применением противогололедных реагенов-электролитов в условиях мегаполиса Москвы (гумидный климат) достигает в отдельных случаях уровня, свойственного приморским аридным территориям (более 4 и до 20-30 дСм/м), где засоление почв и вод является природным бедствием. Именно этот фактор и лишь потом техногенное загрязнение атмосферы и почв вызвали массовую гибель и низкую приживаемость растений в г. Москве, отмечаемые за последнее десятилетие.

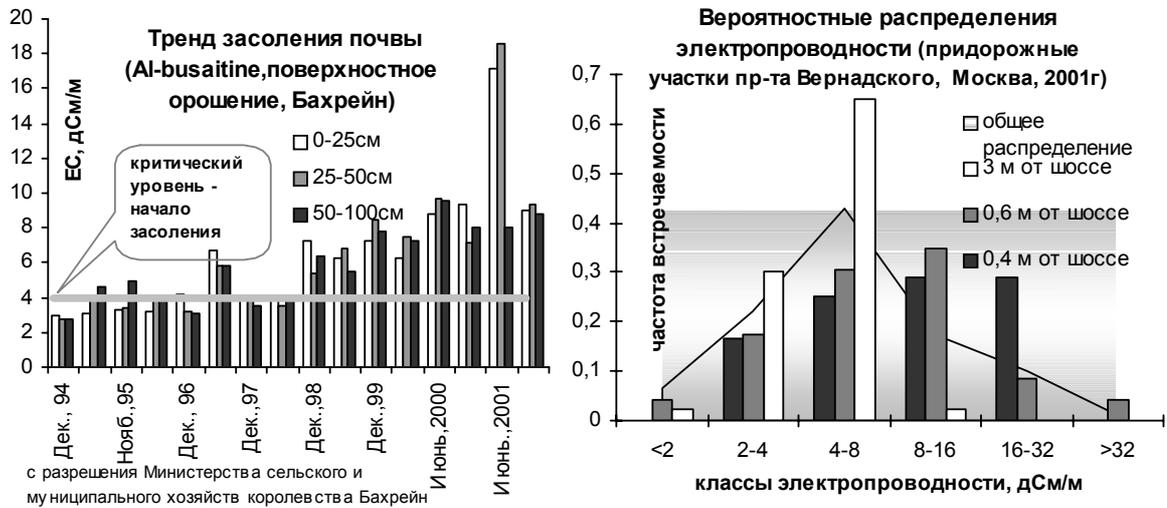


Рис.8. Экологическая оценка засоления почв кондуктометрическим методом

Помимо непосредственной оценки и мониторинга засоления почв и природных вод кондуктометрический метод используется в наших исследованиях для получения зависимости электропроводности порового раствора от влажности синхронно с определением основной гидрофизической характеристики методом равновесного центрифугирования [Смагин, 2003]. Экстремум на такой зависимости соответствует максимальной молекулярной влагоемкости почвы или влажности начала завядания растений, а выход кривой электропроводности на ноль – так называемому «нерастворяющему объему» или прочносвязанной влаге в почве. Таким образом, кондуктометрия совместно с равновесным центрифугированием позволяет оценить важнейшие почвенно-гидрологические константы, используемые в инженерно-мелиоративных расчетах и моделях энерго-массопереноса в почвах и грунтах.

Заключительная серия примеров касается инструментального анализа газовой фазы объектов окружающей среды. С этой целью в практику почвенно-экологических исследований стали активно внедряться портативные газоанализаторы с ИФК-спектроскопическими и электрохимическими датчиками концентрации газообразных веществ. В нашей лаборатории используется комбинированный газоанализатор ПГА-7 (стоимость порядка 30000 руб.), предназначенный для определения содержания CO₂, CH₄, O₂ в газовых пробах в диапазоне концентраций 0–2% CO₂, 0–5% CH₄ и 0–30% O₂ с точностью 0,01% CO₂, 0,1% CH₄ и O₂ (Смагин, 2005). Электропитание прибора осуществляется от встроенных аккумуляторов с максимальным ресурсом работы 16 часов. Зарядка аккумуляторов производится от обычной сети переменного тока. Габариты прибора 83x33x270 мм при массе не более 0,8 кг. В комплект поставки помимо прибора входят устройства для зарядки аккумуляторов, а

также для ручного ввода газовой пробы в прибор и его продувки с помощью резиновой груши. Для установки нуля датчиков используется чистый атмосферный воздух или нулевой поверочный газ (например, N_2). При использовании атмосферного воздуха прибор выдает показания: 20,9% O_2 , 0,03% CO_2 и 0,0% CH_4 . Порядок работы на приборе состоит из последовательности несложных операций – включения и прогрева в течение 1-2 мин, выбора с помощью соответствующей клавиши одного из трех измеряемых газов, ввода газовой пробы медицинским шприцем на 20-30 мл и отсчета показаний с дисплея прибора.

Перед вводом следующей пробы каналы измерительной системы продуваются атмосферным воздухом с помощью резиновой груши или каким-либо инертным газом-носителем из баллона при специальных исследованиях в лабораторных условиях.

В нашей лаборатории сконструированы специальные устройства (стационарные пробоотборники, дыхательные камеры, диффузиметры...) для проведения анализа эмиссии, генерирования, поглощения, транспорта газообразных веществ в почвах и экосистемах с использованием портативных газоанализаторов. Среди новых методических разработок – полевые методы исследования эмиссии CO_2 и CH_4 с поверхности, экранированной дыхательными камерами, оценки профильного

распределения CO_2 , O_2 и CH_4 в почвах и грунтах, определения диффузионной проницаемости почвенной толщи для газов, а также лабораторный анализ изотерм сорбции и растворения газов, функции биогенного генерирования CO_2 и CH_4 в процессе инкубации почв в зависимости от влажности и температуры, эффективных коэффициентов диффузии и ряда других показателей (Смагин, 2005). В качестве примера на рисунке 9 приведены результаты исследования сезонной динамики соотношения запасов газов в почвенном профиле и их эмиссии в атмосферу с поверхности верховых торфяников Бакчарского болота (Западная Сибирь, 2000 г.). Для этих объектов впервые выявлен пульсационный режим функционирования с неоднократной за сезон сменой фаз аккумуляции и разгрузки (рис.9).

При этом разгрузка происходит посредством локальных конвективных потоков (выбросов) газа по местам наибольшей воздухопроницаемости по мере достижения критических величин пневматического давления, необходимых для прорыва вышележащего водного слоя. Заранее определить места такой разгрузки практически невозможно, а залповые выбросы газа, накопленного в почве, во много раз превышают фоновые величины эмиссии, определенные обычным методом камер (рис.9).

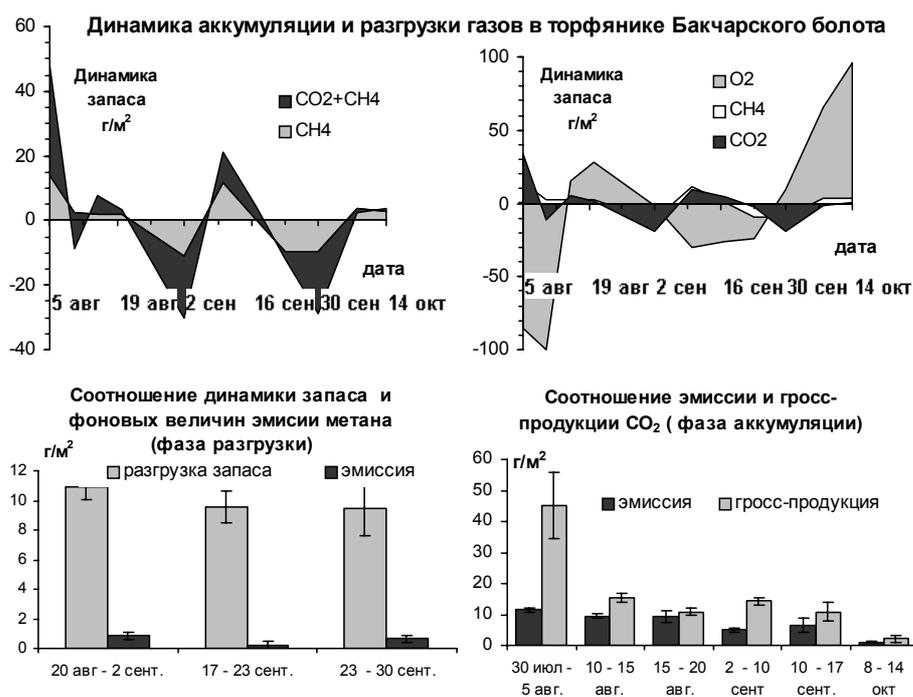


Рис.9. Исследование газовой функции Бакчарского болота (Томская обл.) с помощью ПГА-7

Вероятность попадания таких локальных выбросов в камеру ничтожно мала, если только газ не выдавливают сами исследователи, неосторожно перемещаясь по поверхности болота, поэтому оценка реального поступления парниковых газов из таких почв в атмосферу обычными камерными методами изучения почвенного дыхания будет существенно занижаться. Отсюда возможные заблуждения о значительном превышении биопродуктивности над деструкцией органических веществ и мощной функцией стока углерода в таких ландшафтах. Сходные закономерности динамики газов и выхода их в атмосферу наблюдаются и на искусственных гидроморфных объектах (полигоны захоронения твердых бытовых отходов, станции аэрации, рисовни-

ки...) с экранированием границы раздела «почва-атмосфера» слоями воды и (или) плотного грунта, резко ограничивающими диффузионный газообмен и приводящими к аккумуляции газа в почвенной толще и его периодической локальной разгрузке посредством конвекции.

ЛИТЕРАТУРА

Смагин А.В. Газовая фаза почв М.: МГУ. 2005. 300с.

Смагин А.В. Теория и методы оценки физического состояния почв // Почвоведение. 2003. №3. С.328-341.

NEW INSTRUMENTAL METHODS AND PORTABLE ELECTRONIC MEANS OF ECOLOGICAL STATE CONTROL OF SOILS AND CONNECTED ENVIRONMENTS

A.V. Smagin, N.B. Sadovnikova, M.V. Glagolev, A.V. Kirichenko

The peculiarities have been analyzed of using the electronic-technical means for giving the ecological evaluation of the environmental state, which allow quickly and effectively analyzing the real situation of functioning conditions of separate ecological systems. The peculiarities are discussed of using the electronic means for the purposes of monitoring temperature of atmosphere, water, soil and soil's air by using different electronic sensors. A special interest represents the instrumental analysis of gaseous phase of environmental objects, which is made with the help of portable gas-analyzers in different conditions.