


РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
АГРОФИЗИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ



**МАТЕРИАЛЫ**  
**научной сессии по итогам 2013 года**  
**Агрофизического института**

Санкт-Петербург, 20–21 марта 2014 г.

Санкт-Петербург  
2014

**УДК 631.53**

**Материалы научной сессии по итогам 2013 года Агрофизического института.** Санкт-Петербург, 20–21 марта 2014 г. – СПб.: АФИ, 2014. – 172 с.

*Печатается по решению Учёного совета  
Агрофизического НИИ  
(протокол № 2, от 27 февраля 2014 г.)*

Материалы даны в авторской редакции.

диапазона исследования до 20–30 МГц для выявления частот, при которых устраняются аномально высокие значения диэлектрической проницаемости при высокой влажности трав, проявляющиеся на частотах до 6 МГц.

### Список литературы

1. *Секанов Ю. П.* Влагометрия сельскохозяйственных материалов. М.: 1985. 160 с.
2. *Ананьев И. П.* Перспективные средства диэлькометрического контроля в технологиях земледелия и растениеводства // *Земледелие*. 2008. № 7. С. 10–11.
3. *Коряков В. М., Меньшиков А. М., Секанов Ю. П.* Диэлектрические свойства высоковлажных волокнистых растительных материалов // *Науч.-техн. бюл. ВИМ*. 1985. Вып. 62. С. 33–36.
4. Прецизионный измеритель импеданса Agilent 4294A. Web-site: <http://www.home.agilent.com/ru/pd-1000000858%3Aeapsg%3Apro-pn-4294A/precision-impedance-analyzer-40-hz-to-110-mhz?&cc=RU&lc=rus/>
5. *Ананьев И. П.* Автогенераторные измерительные преобразователи двухкомпонентной диэлькометрии сельскохозяйственных материалов. Автореферат диссерт. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. СПб., 2009.
6. *Лосев А. К.* Линейные радиотехнические цепи. М.: Высшая школа 1971. 560 с.

УДК 631.171

## АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДАТЫ СЕВА В ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ AGROTOOL

*Е. Т. Захарова, А. Г. Топаж*

*Агрофизический научно-исследовательский институт*

В формальный набор информации, необходимой для расчета любой динамической модели, входят данные о начальных условиях – величинах внутренних переменных модели в исходной временной точке, с которой начинается процедура расчета. Для моделей продукционного процесса этой точкой традиционно считается дата сева, и все начальные данные привязываются к этому четко заданному моменту времени. При этом, вообще говоря, оказывается невозможным смоделировать динамику продукционного процесса без информации о фактических сроках посева, даже если вся остальная информация (погода, технология, характеристики почвы и культуры) у исследователя имеются в наличии. Так как неизвестно, с какого именно дня следует начать интегрирование численных уравнений, составляющих сущность динамической модели. Кроме того, назначение даты сева исходя из тех или иных прогнозов готовности почвы и комфортности внешних условий, может иметь и явный утилитарный смысл, так как модель в этом случае может выступать в качестве простейшей экспертной системы, подсказывающей агроному оптимальный срок осуществления посевных мероприятий. Поэтому, алгоритм автоматического определения и назначения даты сева обязательно встроен в наиболее продвинутые зарубежные системы имитационного моделирования агроэкосистем (Jones et al, 2003).

На практике можно выделить три группы факторов, определяющих выбор даты весеннего сева яровых культур в реальной земледельческой практике. К

**экологическим** факторам относятся сведения о степени зрелости почвы и агрометеорологических параметрах на глубине заделки семян, обеспечивающих адекватные условия для их прорастания. К **техническим** факторам относятся сведения о характеристиках используемых посевных машин и агрегатов и возможности безопасного осуществления ими в настоящее время всего комплекса необходимых мероприятий (трактор не завязнет в поле и т. д.) Наконец, к **организационным** факторам относятся соображения о финансовой и организационной готовности хозяйства начать весенний сев (наличие топлива, трудовых ресурсов и т. д.). Безусловно, технические и организационные факторы лежат за рамками интересов компьютерной динамической модели продукционного процесса. И непосредственно в алгоритм моделирования можно вставить исключительно процедуры назначения предпочтительной даты сева согласно экологическим критериям. Ниже описывается техническая реализация соответствующего алгоритма, выполненная в рамках модели продукционного процесса Agrotool.

Специальными настройками (выделенный параметр-переключатель в наборе входных данных) устанавливается факт того, что данный прогон модели выполняется в режиме автоматического назначения даты сева. При этом сам динамический расчет начинается всегда с первого января календарного года, соответствующего моделируемому сезону вегетации. Модель начинает выполнять расчет с суточным шагом как бы в обычном режиме, за исключением того, что все биологические блоки пропускаются. Однако расчет абиотических блоков производится обычным образом, то есть в модели отражаются процессы выпадения и возможного таяния снега, промерзания и оттаивания почвы и т. д. При этом особый интерес для целей автоматического назначения даты сева представляет описание процесса снеготаяния. Действительно, точный прогноз момента времени, соответствующего полному сходу снежного покрова, выступает необходимым условием адекватности реализованного алгоритма.

Чисто теоретически, расчет снеготаяния предполагает решение уравнения теплового баланса снежного покрова (Бефани, Калинин, 1983; Кузьмин, 1961). Однако, для проведения этих достаточно нетривиальных расчетов необходимы детальные данные актинометрических наблюдений, и в приложениях, не требующих исключительной точности, зачастую используются приближенные методики. Наиболее известная и простая заключается в использовании эффективного коэффициента стаявания – количества миллиметров стаявшего снега на один градус положительной среднесуточной температуры. Согласно общепринятым данным, этот коэффициент может быть выбран равным 4–5,5 мм/°С для открытых участков, соответствующих профилю сельскохозяйственного поля (Пьянков и др., 2012). Несмотря на то, что такая упрощенная методика успешно применяется во множестве моделей продуктивности (Nendel, 2013), она не учитывает множества факторов, существенно определяющих динамику весеннего снеготаяния, пренебрегать которыми в задаче назначения даты сева кажется недопустимым. Поэтому в рамках модели Agrotool был реализован более сложный алгоритм, основывающийся на формулах Е. Г. Попова (Попов, 1979). Суточное снеготаяние на открытой местности согласно данному подходу вычис-

ляется как сумма миллиметров снега, стаявшего в течение дня ( $h_d$ ) и ночи ( $h_n$ ) соответственно. При этом

$$h_d = 3,1 \cdot \alpha \cdot (T_{\max} - T_{\text{ave}}) + 0,675 \cdot [C_N \cdot (T_{\text{day}} + 45) - 60] +$$

$$+ 0,83 \cdot (1 + 0,54 \cdot w) \cdot (T_{\text{day}} - 0,65)$$

$$h_n = 0,675 \cdot [C_N \cdot (T_{\text{night}} + 45) - 60] + 0,83 \cdot (1 + 0,54 \cdot w) \cdot (T_{\text{night}} - 0,65),$$

где  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$ ,  $T_{\text{ave}}$ ,  $T_{\text{night}}$ ,  $T_{\text{day}}$  – соответственно минимальная, максимальная, среднесуточная, а также средние ночная и дневная температуры,  $w$  – среднесуточная скорость ветра,  $C_N$  – коэффициент, определяемый по формуле  $C_N = 1 + 0,24 \cdot N$  ( $N$  – среднесуточная облачность), а эмпирический коэффициент эффективности снеготаяния за счет радиации  $\alpha$  определяется как:

- 0,4 в первый день снеготаяния или после выпадения свежего снега;
- 0,6 во второй день снеготаяния;
- 0,8 в третий день снеготаяния;
- 1,0 во все последующие дни снеготаяния.

Приведенные выше соотношения применимы для расчетов снеготаяния на равнине в весенние месяцы и при условии положительности действующих температур. Следует отметить, что маргинальные значения суточной температуры ( $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$ ) входят в стандартный набор входных метеорологических параметров модели Agrotool, а оставшиеся температурные характеристики могут быть приближенно оценены по формулам:

$$T_{\text{ave}} = (T_{\min} + T_{\max}) / 2 \quad T_{\text{day}} = (T_{\text{ave}} + T_{\max}) / 2 \quad T_{\text{night}} = (T_{\min} + T_{\text{ave}}) / 2.$$

Алгоритмическая реализация приведенных соотношений замыкает задачу описания динамики высоты снежного покрова в течение зимне-весеннего периода (прирост снега моделируется естественным образом – путем прибавления соответствующего количества миллиметров выпавших осадков в дни с отрицательной температурой). Наряду с этим, на каждом шаге модели осуществляется расчет водного и теплового режима почвы в соответствующих блоках комплексной модели агроэкосистемы (Полуэктов, 1991). Совокупность получаемых показателей микроклимата почвенной толщи и поверхности оказывается достаточной для оценки степени «зрелости» почвы, то есть возможности осуществления процедуры весеннего сева яровых культур. Конкретно, алгоритм проверки этого условия состоит из нескольких этапов и выглядит следующим образом. Текущая дата считается подходящей для осуществления операции сева если:

- Она равна некой, заранее определенной для данной культуры и местности, конечной дате, до которой посев должен быть произведен в обязательном порядке (чтобы не получилось случая, когда из-за складывающихся условий в экстремально неблагоприятные сезоны мы вообще не получили возможности посеять нашу культуру «честным образом») **ИЛИ**.
- Снеговой покров на поле отсутствует **И**.

- Сочетание характеристик температурного и влажностного режима на глубине заделки семян находится в «комфортной зоне» на фазовой плоскости соответствующих характеристик.

Определение «комфортной зоны» производится так. Считается (и этот факт вполне подтверждается анализом литературных источников и утвержденных методических рекомендаций), что для каждой культуры существуют диапазоны температуры и влажности почвы (точнее, ее гидравлического потенциала), которые определяют наиболее благоприятные условия возможного прорастания семян. Наряду с назначением диапазона благоприятности вводятся также диапазоны допустимости величин этих характеристик (интервалы ниже нижней и выше верхней границ диапазона благоприятности), для которых считается, что условия прорастания семян по выбранной характеристике не идеальны, но удовлетворительны. Наконец, за границами диапазонов допустимости условия для прорастания семян считаются однозначно плохими. Для введенных терминов «комфортная зона» прорастания на фазовой плоскости температуры и потенциала почвы на глубине заделки семян определяется как совокупность всех точек, для которых значение хотя бы одной из определяющих характеристик лежит в диапазоне благоприятности, а для другой – не выходит за границы диапазона допустимости. Из подобного определения вытекает, что топологически «зона комфортности» представляет собой на фазовой плоскости температуры-потенциала фигуру в форме креста (рис.).

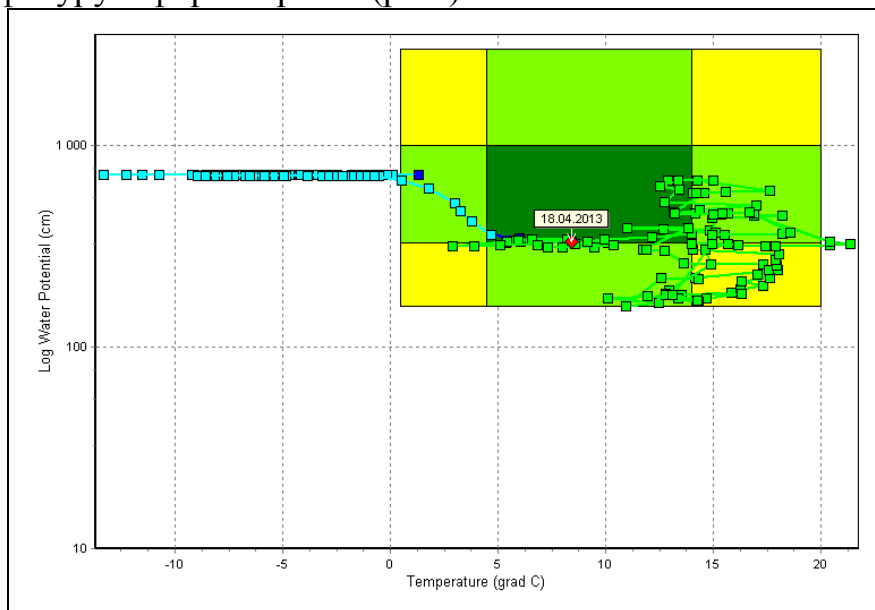


Рис. К алгоритму назначения даты сева

При первом же выполнении сформулированных выше условий в модели срабатывает триггер операции посева, и осуществляется виртуальная закладка посевного материала. Проверка условий необходимости высева на последующих шагах более не выполняется, но начинают «работать» биологические блоки модели. В частности – блок фенологического развития, в котором происходит накопление информации с целью определения даты первой фенологической фазы (всходов) новорожденного виртуального растения. Иными словами, модель переходит на традиционную схему расчета.

Описанный алгоритм был программно реализован и встроен в комплексную динамическую модель производственного процесса сельскохозяйственных культур AGROTOOL. Более того, в рамках подсистемы графического анализа результатов модельных расчетов реализован специальный графический модуль, позволяющий наглядно проследить динамику траектории моделируемой системы на фазовой плоскости «температура-потенциал». Продемонстрировать работу алгоритма назначения оптимальной даты сева возможно, в том числе, и в режиме анимации (рис. 1). Была проведена верификация алгоритма на исторических данных и данных весны 2013 года. К сожалению, техническая неисправность автоматической метеостанции не позволила провести данную процедуру в полностью оперативном режиме (с ежедневным отслеживанием результатов и сравнением данных наблюдений и модельных расчетов). Поэтому в качестве входной метеорологической информации использовались данные стационарного неавтоматизированного метеопоста Меньково, поступавшие с естественным технологическим опозданием. При этом спрогнозированная дата возможного сева пришлась на 18 апреля, в то время как реально соответствующие технологические операции были осуществлены в Меньково почти на три недели позже – 8 мая. Вообще, замеченная тенденция проявилась и в ходе исторического анализа данных – дата фактического сева практически всегда превышает на две, две с половиной недели дату, получаемую в модели согласно предложенному алгоритму. Более того, при условии осуществления сева в сроки, рекомендованные моделью, величина конечного прогнозируемого урожая, как правило, возрастает по сравнению с той, которая получается для реальных дат. Для отдельных сезонов вегетации и технологий это увеличение довольно значительно и может достигать до 10–12 ц/га. Согласно мнению разработчиков, подтвержденному консультациями со специалистами, полученные расхождения в датах сева не являются аргументом против используемой методики; в реальности действительно всегда имеет место факт затягивания сроков сева по сравнению с наиболее «биологически обусловленными» датами. Это свидетельствует лишь о влиянии неучтенных и принципиально неучитываемых в модели типов факторов (экономических и организационных) на реальную практику земледелия.

### Список литературы

1. Jones, J.W., G. Hoogenboom, C.H. Porter, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, P.W. Wilkens, U. Singh, A.J. Gijssman, and J.T. Ritchie. DSSAT Cropping System Model // *European Journal of Agronomy*, 2003, v. 18, P. 235–265.
2. Nendel, C. MONICA – A simulation model for nitrogen and carbon dynamics in agroecosystems. In: *Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia*. Chapter: 23, 2013, Springer International Publishing, pp. 389–405.
3. Бэфани Н. Ф., Калинин Г. П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 390 с.
4. Кузьмин П. П. Процесс таяния снежного покрова. Л.: Гидрометеоиздат, 1961. 346 с.
5. Попов Е. Г. Гидрологические прогнозы. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 256 с.
6. Полуэктов Р. А. Динамические модели агроэкосистемы. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 312 с.
7. Пьянков С. В., Шавнина Ю. Н., Шихов А. Н. Комплексный подход в исследовании динамики процессов снеготаяния на водосборах рек // *Вестник Удмуртского Университета*, сер. 6. Биология, Науки о Земле. 2012. № 4. С. 136–145.