

Лекция 20: Описание времени и климата в экологических моделях.

1. Модель роста живой системы, учитывающая влияние окружающей среды.
2. Описание времени в моделях.
3. Преобразование календаря в моделях.
4. Уравнение времени.
5. Изменение долготы дня.
6. Изменение потока фотосинтетически активной радиации.
7. Описание температуры в моделях.
8. Описание осадков в моделях.
9. Ветер как возможная составляющая моделей.

1. Модель роста живой системы, учитывающая влияние окружающей среды.

Продуктивность сельскохозяйственных экосистем является результатом комбинации генетических характеристик биологических объектов и условий окружающей среды, среди которых важнейшая роль принадлежит погоде. Климат определяет типы культур, выращиваемых в данном регионе, а фактическая погода в течение сезона – урожайность этих культур. Важно количественно определить зависимость между погодой и продуктивностью. Это необходимо для прогнозирования и управления производством.

Многие модели роста живых систем или отдельных аспектов продуктивности животных и растений можно представить в виде:

$$\frac{dW}{dt} = g(W, P, E_m, E_w),$$

где W – масса,

t – время,

P – множество параметров или постоянных, характеризующих организм,

E_m – величины, характеризующие условия окружающей среды, которые поддаются управлению (от «management» - управление),

E_w – показатели, описывающие погоду и не зависящие от экспериментатора (от «weather» - погода),

Функция g – это некоторое аналитическое выражение, связывающее между собой все характеристики.

Адекватность модели может быть оценена путем сопоставления прогнозируемых и фактических данных. Иногда работа с фактическими данными о температуре и осадках в силу их труднодоступности или нетипичности может оказаться нецелесообразной. Тогда в уравнениях лучше использовать параметры, которые дают приблизительное описание среднесезонных данных о погоде в исследуемом районе.

2. Описание времени в моделях.

Наиболее удобной единицей измерения времени при описании роста и развития растений и животных являются сутки или их десятичные доли.

Пусть t – переменная времени, тогда можно выразить целую часть через t_i , а дробную часть через t_d .

Можно выразить доли суток в часах, минутах, секундах, например, $t = 16,243$ суток, тогда $t_i = 16$, а $t_d = 0,243$. Перейти от дробной части суток к часам, минутам и секундам можно по следующим формулам:

Часы = целая часть от $24 * t_d$ (от $24 * 0,243 = 5,832$) = 5

Минуты = целая часть от $60 * 24 * t_d - 60 * \text{часы}$ (от $60 * 24 * 0,243 - 60 * 5 = 349,92 - 300 = 49,92$) = 49

Секунды = целая часть от $60 * 60 * 24 * t_d - 60 * 60 * \text{часы} - 60 * \text{минуты}$ (от $60 * 60 * 24 * 0,243 - 60 * 60 * 5 - 60 * 49 = 20995,2 - 18000 - 2940 = 55,2$) = 55

Обратный перевод времени (5 часов 49 минут 55 секунд) в доли суток:

$t_d = 1/24 * (\text{часы} + \text{мин}/60 + \text{сек}/3600) = 1/24 * (5 + 49/60 + 55/3600) = 0,208 + 0,034 + 0,00064 = 0,243$

3. Преобразование календаря в моделях.

Определенную сложность при учете времени в процессе моделирования представляет високосный год. Поэтому для удобства принимают начало года 1 марта, а конец – всегда 28 февраля.

Пусть N – порядковый номер климатологических суток $1 \leq N \leq 365$

D – сутки месяца от 1 до 31

M – порядковый номер месяца по обычному календарю от 1 до 12

Переход от даты к порядковому номеру суток по юлианскому календарю:

Если M меньше 1, то $M := M + 12$

Если M больше 13, то $M := M - 12$

Знак « $:=$ » читается «назначаем величину».

Порядковый номер суток N определяется как целая часть выражения $(30,6 * M + D - 91,3)$

Пример: Найдём порядковый номер суток 15 мая, считая от 1 марта

$N = 30,6 * 5 + 15 - 91,3 = 153 + (-76,3) = 76,7$

Получается 76 суток от 1 марта

Для выполнения обратного перехода от порядкового номера суток к дате используют следующие формулы:

M – целая часть от $(N + 91,3) / 30,6$

D – целая часть от $N - 30,6 * M + 91,3$

Пример: Найдём число и месяц, которым соответствуют 100-ые сутки

M – целая часть от $(100 + 91,3) / 30,6 = 6,25$

D – целая часть от $100 - 30,6 * 6 + 91,3 = 7,7$

Получается 7 июня.

4. Уравнение времени.

Истинное местное солнечное время – это время, которое показывают солнечные часы в данной местности. Оно отличается от среднего солнечного времени на величину, которая колеблется на протяжении года. Численно эта разница определяется уравнением времени. В нем учитывается, что орбита Земли не круговая, в эллиптическая, а также наклон эклиптики (угол между плоскостью экватора и плоскостью земной орбиты).

Поправка, задаваемая уравнением времени, определяется по следующей эмпирической формуле:

$$-0,00198 - 7,12965 \cdot \cos y - 1,84002 \cdot \sin y - 0,68841 \cdot \cos 2y + 9,92209 \cdot \sin 2y + 0,30260 \cdot \cos 3y + 0,10635 \cdot \sin 3y + 0,03508 \cdot \cos 4y - 0,21211 \cdot \sin 4y - 0,00895 \cdot \cos 5y - 0,00773 \cdot \sin 5y + 0,00061 \cdot \cos 6y,$$

где y – годовой угол, определяемый из соотношения $y = (N-21)/365 \cdot 360^\circ$
 Размерность результата – минуты или доли минуты.

Поправка достигает наибольших значений в феврале (- 14 минут) и в ноябре (+ 16 минут), а 15 апреля, 14 июня, 1 сентября и 25 декабря = 0. Чаще в сельскохозяйственных моделях нет смысла так точно учитывать время. Исключением будут исследования, где значительную роль играет долгота светового дня.

5. Изменение долготы дня.

Для определения долготы дня с порядковым номером N (g_N) можно использовать следующую формулу:

$$g_N = \frac{2 \cos^{-1}(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta)}{360},$$

где φ – широта местности,

δ – солнечное склонение, то есть угол, задаваемый в градусах, между линией, соединяющей солнце и землю, и плоскостью экватора. Угол δ зависит только от времени года и соответственно принимает значения $\delta = 0^\circ$ в дни равноденствий ($y=0^\circ$, $y=180^\circ$), $\delta = +23,45^\circ$ 21 июня ($y=90^\circ$), $\delta = -23,45^\circ$ 21 декабря ($y=270^\circ$).

В данном случае долгота дня вычисляется исходя из предположения, что угол зенита (угловое расстояние между направлением на солнце и местной вертикалью) составляет 90° , когда центр солнечного диска расположен на линии горизонта. Более точно моменты восхода и захода определяются по касанию верхней частью солнечного диска линии горизонта, причем это должен фиксировать наблюдатель, находящийся на уровне моря.

Для точного определения начала и конца сумерек обычно используют угол 6 градусов, на который опускается за горизонт центр солнечного диска. «Морские сумерки» определяются углом 12 градусов, а астрономические – углом 18 градусов.

В биологии часто на продолжительность конкретного светового дня гораздо сильнее влияют конкретные погодные условия.

6. Изменение потока фотосинтетически активной радиации.

Количество фотосинтетически активной радиации (ФАР) в сутки (МДж/м²) в течение года изменяется и зависит от долготы дня и угла зенита (угловое расстояние между направлением на солнце и местной вертикалью).

Пусть I_N – среднее многолетнее значение ФАР, падающей на горизонтальную поверхность за сутки с порядковым номером N. Для описания сезонных изменений I_N надо знать количество ФАР в данной местности 21 июня (I_{113}) и 21 декабря (I_{296}).

$$\bar{I}_N = (\bar{I}_{113} + \bar{I}_{296}) + (\bar{I}_{113} - \bar{I}_{296}) \times \sin\left(\frac{(N-21)}{365}/360\right)$$

В разные фазы развития растениям требуется разное количество ФАР. Сначала можно рассчитать, какое количество ФАР поступило до заданного момента времени и какое усвоилось растением (% усвоения ФАР). Затем пересчитать на 1 га в зависимости от густоты стояния растений. Таким образом, зная количество ФАР, необходимое для прохождения определенной фазы развития, мы можем предсказать время наступления следующей фазы.

При моделировании распространения солнечной радиации важно учитывать облачность. В зависимости от интенсивности облачности можно вводить коэффициент-поправку.

7. Описание температуры в моделях.

Годовые изменения температуры воздуха и почвы в районах с умеренным климатом можно описать синусоидой. Среднюю температуру в сутки N можно определить по формуле:

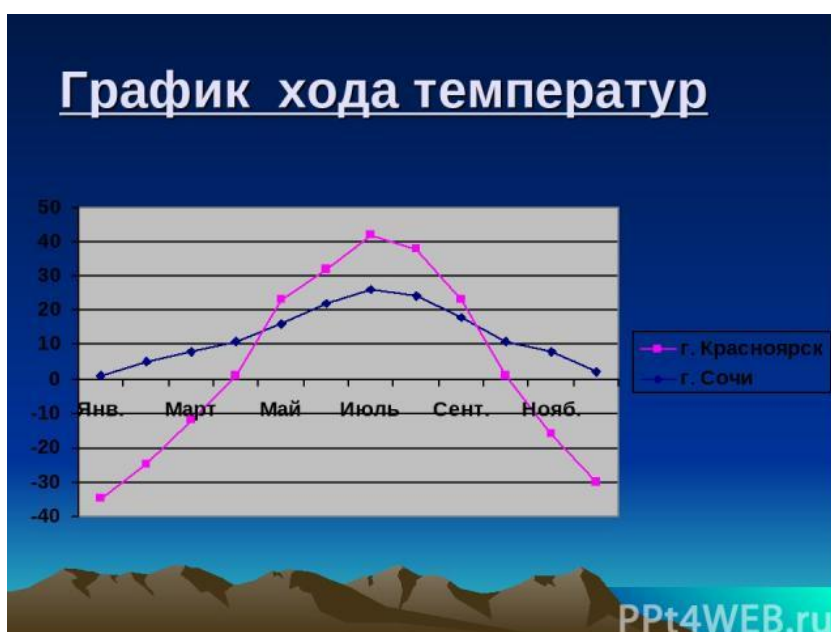
$$T_N = a + b \cdot \sin((N - N_0)/365)/360),$$

где a – среднегодовая температура

b – амплитуда изменения температуры

N_0 – фаза аппроксимирующей синусоиды (смещение максимума синусоиды от начала координат)

N – порядковый номер суток от 1 марта.



8. Описание осадков в моделях.

Осадки - это один из главных факторов, определяющих урожайность. Лишь для немногих сельскохозяйственных культур (плодовые или растения в защищенном грунте) влияние количества осадков может быть незначительно.

При моделировании количества осадков, чтобы исключить влияние неодинаковой продолжительности календарных месяцев, отсчет времени ведется в сутках.

Среднее количество осадков, выпадающих в сутки N можно определить:

$$R_N = a + b \cdot \sin((N - N_0)/365)/360),$$

где a – среднегодовое количество осадков

b – амплитуда изменения осадков

N_0 – фаза аппроксимирующей синусоиды (смещение максимума синусоиды от начала координат)

N – порядковый номер суток от 1 марта.

Изменчивость количества осадков – важная характеристика при изучении проблем ирригации и водопотребления. Коэффициент вариации осадков в течение месяца составляет $= 0,6$ и сохраняет относительное постоянство в течение всего календарного года. Согласно метеорологическим данным приблизительно $1/3$ всех дней каждого месяца можно считать дождливыми. Для более точного моделирования применяется вероятностная оценка (p = вероятность отсутствия осадков, q = вероятность выпадения определенного количества осадков).

9. Ветер как возможная составляющая моделей.

Ветер учитывают в моделях в редких случаях, например, при оценке потерь тепла в сельскохозяйственных помещениях, при анализе теплообмена у животных с окружающей средой, влияние ветра на фотосинтез и рост полевых культур незначительно и проявляется в форме различных заболеваний, распространению которых способствует ветер, сильный ветер иногда причиняет прямой ущерб урожаю, нанося механические повреждения, при использовании обогреваемых теплиц, энергозатраты находятся в прямой зависимости от скорости ветра: они пропорциональны квадрату этого параметра.

При построении моделей учитывают климатические условия конкретного района. Например, в Беларуси наиболее ветреные месяцы – май и июнь, но в целом колебания скорости ветра в течение года незначительны.

Литература:

1. Франс, Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Торнли. М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.