



ПОЧВОВЕДЕНИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 639.2.053.8

Н.В. Цугленок, С.Н. Никулочкина

МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСА ИНФЕКЦИИ В ПОЧВЕ

В статье предложен теоретический подход построения схемы морфологического моделирования запаса инфекции в почве и разработаны динамические модели влияния осадков на уровень запаса инфекции в почве, в зависимости от распределения по временной и природно-экологической структурам.

Установлено, что результаты исследований с учетом атмосферной циркуляции, теплового и водного балансов растений, а также применения удобрений необходимы при планировании эффективного производства сельскохозяйственных культур в Красноярском крае.

Ключевые слова: запас инфекции, атмосферные осадки, влага, почва, динамическая модель, морфологическое моделирование, временная структура, природно-экологическая структура.

N.V. Tsuglenok, S.N. Nikulochkina

MODELS FOR INFECTION STOCK DETERMINATION IN SOIL

Theoretical approach to constructing the scheme of morphological modeling of the infection stock in soil is offered and the dynamic models of precipitation influence on the infection stock level in soil, depending on the timing and natural and environmental structures are developed.

It is determined that the research results taking into account atmospheric circulation, plant heat and water balance, as well as fertilizer use are necessary in planning the effective agricultural crop production in Krasnoyarsk region.

Key words: infection stock, precipitation, moisture, soil, dynamic model, morphological modeling, timing structure, natural and environmental structure.

Введение. Земледелие в отличие от других производств характеризуется своеобразием производственного процесса и вместе с тем огромной зависимостью конечного результата от множественного количества факторов жизни. Обязательными условиями жизнедеятельности растений являются свет, тепло, вода, воздух и питательные элементы. Эти факторы жизни растения получают из космоса, атмосферы и почвы. Космические факторы жизни растений практически не регулируются в земледелии и в значительной мере определяют уровень энергопродуктивности растений.

Актуальность исследований. Применение разработанных динамических моделей для учета запаса инфекции в почве, являющейся одним из важнейших лимитирующих факторов, необходимо применять для планировании сельскохозяйственных культур. Мероприятия, включающие в себя защитные меры, снижают инфекционный порог, амплитуду колебаний продуктивности, повышая качество готовой продукции растениеводства

Цель исследований. Разработать схему морфологического моделирования и динамических моделей влияния осадков на уровень запаса инфекции в почве в зависимости от распределения по временной и природно-экологической структурам.

В задачи исследований входило: выявить закономерности двойственного действия биофизических факторов в системе агрофитоценозов в зависимости от запаса инфекции в почве, влияющие на формирование продуктивности культур.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований являются сельскохозяйственные культуры, возделываемые при влиянии осадков [1], атмосферной циркуляции, теплового и водного балансов растений на уровень запаса инфекции в почве, в зависимости от распределения по временной и природно-экологической структурам. Использован аппарат теории рядов Фурье, пакет Maple.

Результаты исследований и их обсуждение. В условиях Красноярского края определяющим фактором является наличие влаги в почве. Исследованиями установлено, что на урожайность культур наиболее существенное влияние оказывают запасы влаги в почве в период посева, кущения. Поэтому для составления модели были взяты запасы влаги в почве в указанные периоды. Экспериментальные данные многочисленных исследований свидетельствуют, что объективным показателем обеспеченности почвы доступными элементами питания является содержание нитратного азота в почве весной перед посевом.

Разработка теоретических основ моделирования методов, изложенных [2], и технологических приемов сохранения и повышения плодородия почв [1,3] является очень сложным процессом.

Разработка схемы морфологического моделирования запасов инфекции в почве обусловлена многообразием агроэкологических факторов, влияющих на фиксацию солнечной энергии и превращение ее в энергию органического вещества. Начинать этот процесс рекомендуется с разработки функциональной схемы исследований. Предварительное изучение взаимосвязи урожайности сельскохозяйственных культур, размещаемых по чистому пару, позволило выделить основные факторы: суммарную солнечную радиацию (x_1), сумму температур (x_2), количество атмосферных осадков за вегетационный период (x_3), запасы доступной влаги в метровом слое почвы в период посева (x_4) и кущения (x_5), содержание нитратного азота весной перед посевом (x_6).

В связи со сказанным, модель запаса инфекции в почве предлагается отыскивать в виде следующей регрессионной функции:

$$u(x_1; x_2; x_3; x_4; x_5; x_6) = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_1^2 + a_5 x_2^2 + a_6 x_3^2 + a_7 x_1 x_2 + a_8 x_2 x_3 + a_9 x_1 x_3 + a_{10} x_1 x_2 x_3 + \frac{a_{11}}{x_1} + \frac{a_{12}}{x_2} + \frac{a_{13}}{x_3} + a_{14} x_4 + a_{15} x_5 + a_{16} x_6 + a_{17} x_4^2 + a_{18} x_5^2 + a_{19} x_6^2 + a_{20} x_4 x_5 + a_{21} x_5 x_6 + a_{22} x_4 x_6 + a_{23} x_4 x_5 x_6 + \frac{a_{24}}{x_4} + \frac{a_{25}}{x_5} + \frac{a_{26}}{x_6} + a_{27},$$

где u – уровень инфекции %; x_1 – солнечная радиация за вегетационный период, ккал/см² с; x_2 – осадки, мм; x_3 – температура, °С; x_4 – запасы доступной влаги в метровом слое в период посева, мм; x_5 – запасы доступной влаги в метровом слое в период кущения, мм; x_6 – содержание нитратного азота в слое 0...40 см, мг/кг. Морфологическое моделирование влияния основных экологических факторов на запас инфекции в почве (рис. 1) базируется на прямом и обратном действии каждого из управляющих факторов.

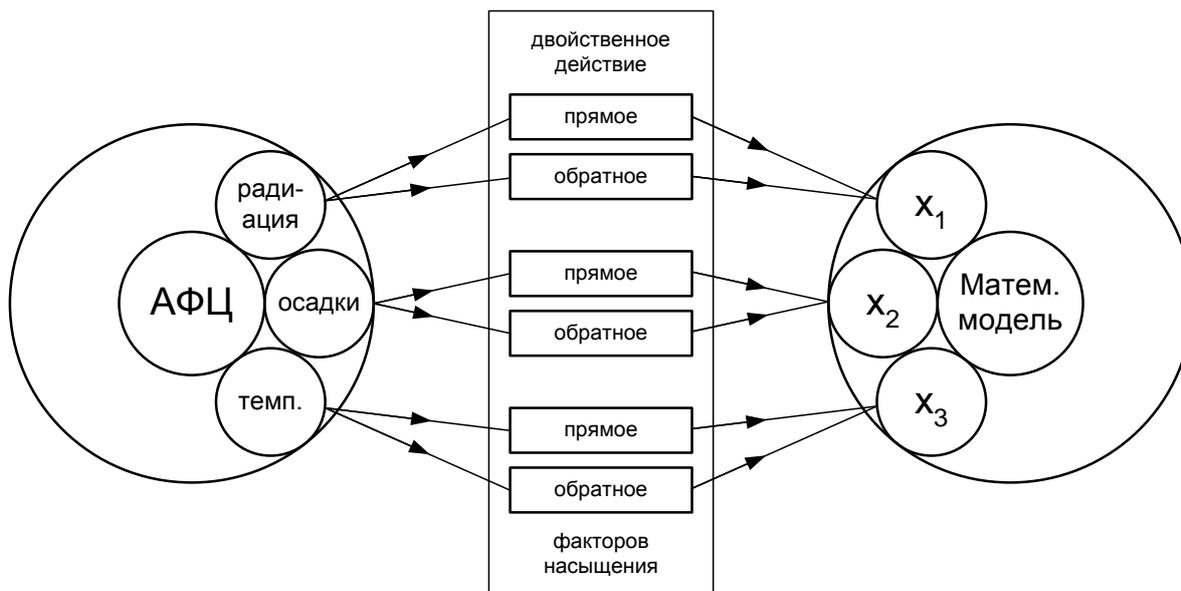


Рис. 1. Схема морфологического моделирования запаса инфекции в почве

Прямое действие связано с насыщением агроэкологическими ресурсами природной среды до некоторой предельной точки, приводящими к росту биомассы. Перенасыщение ресурсами соответствует обратному действию факторов. В результате расчетов на языке Maple по экспериментальным данным найдены следующие зависимости уровня инфекции.

Эффективность использования солнечной энергии растениями изменяется во времени. При наличии других факторов жизни с ростом освещенности интенсивность фотосинтеза вначале повышается пропорционально облученности. Но так происходит до определенного предела, который характеризуется так называемым световым насыщением.

При суммарной положительной температуре в промежутке от 1000 до 2000 °С, происходит рост биомассы растения. При запасах влаги в почве в период посева от 50 до 200 мм наблюдается прирост биомассы, а свыше 200 мм этот процесс замедляется.

В исследованиях продуктивности сельскохозяйственных культур в структуре звеньев полевых севооборотов наряду с экспериментальным подходом возникает необходимость разработки теоретических моделей для прогнозирования и системного описания энергетических потоков в системе агрофитоценоза.

Результаты предварительного поиска вида регрессии показали, что в качестве регрессионной функции нельзя брать многочлены, тригонометрические полиномы, комбинации логарифмических и показательных, дробно-рациональных функций, поскольку при таком выборе теоретической поверхности отклика погрешности превышают допустимые пределы в агрономии. Не удастся выразить регрессию через комбинацию элементарных функций. Результаты расчетов показывают, что средние показатели урожайности, энергетической и экономической (при фиксированной цене) продуктивности сельскохозяйственных культур в структуре звеньев севооборотов имеют меньшую амплитуду колебаний по сравнению с аналогичными функциями состояний отдельных звеньев.

Они имеют более устойчивую квазипериодическую динамику, менее зависящую от биоциклов инфекции в почве и более пригодную для решения задачи планирования отрасли растениеводства.

Динамическая модель запаса инфекции в почве в зависимости от распределения осадков по природно-экологической структуре. Многолетние наблюдения за изменениями осадков и запаса инфекции в почве вместе со статистическим анализом этих данных показывают нерегулярный характер циклических колебаний этих процессов, распределенность их по территории и как следствие непредставимость в линейном или полиномиальном виде.

Следовательно, разрабатываемая модель должна учитывать дифференцируемость агроэкологических зон, цикличность процесса по географическим координатам и времени.

Для решения подобных задач наиболее приспособленным является аппарат рядов Фурье, отрезок которого является тригонометрическим многочленом φ , приближающим неизвестную функцию f в замкнутой области Σ с любой наперед заданной точностью ε :

$$\|f - \varphi\|_{\Sigma} < \varepsilon.$$

Пусть x – восточная долгота; y – северная широта; T_t , и T_x , T_y – временные и, соответственно, пространственные факторные периоды, мес.; $U(x, y, t)$ – запас инфекции на 1 мм осадков в момент времени t в точке с географическими координатами (x, y) , соответствующими центру агроэкологической зоны.

Тогда в силу периодичности процесса по географическим координатам коэффициенты $G(x, y)$ функции U в точке с географическими координатами (x, y) имеют вид

$$G = C + \left(\sum_{k_x=1}^{n_x} \left(A_{x,k_x} \cos\left(\frac{2k_x \pi x}{T_x}\right) + B_{x,k_x} \sin\left(\frac{2k_x \pi x}{T_x}\right) \right) \right) + \\ + \left(\sum_{k_y=1}^{n_y} \left(A_{y,k_y} \cos\left(\frac{2k_y \pi y}{T_y}\right) + B_{y,k_y} \sin\left(\frac{2k_y \pi y}{T_y}\right) \right) \right) + \\ + \left(\sum_{k_y=1}^{n_y} \left(\sum_{k_x=1}^{n_x} a_{k_x,k_y} \cos\left(\frac{2k_x \pi x}{T_x}\right) \cos\left(\frac{2k_y \pi y}{T_y}\right) \right) \right) +$$

$$\begin{aligned}
 & + \left(\sum_{k_y=1}^{n_y} \left(\sum_{k_x=1}^{n_x} b_{k_x, k_y} \sin\left(\frac{2k_x \pi x}{T_x}\right) \cos\left(\frac{2k_y \pi y}{T_y}\right) \right) \right) + \\
 & \left(\sum_{k_y=1}^{n_y} \left(\sum_{k_x=1}^{n_x} c_{k_x, k_y} \cos\left(\frac{2k_x \pi x}{T_x}\right) \sin\left(\frac{2k_y \pi y}{T_y}\right) \right) \right) + \\
 & + \left(\sum_{k_y=1}^{n_y} \left(\sum_{k_x=1}^{n_x} d_{k_x, k_y} \sin\left(\frac{2k_x \pi x}{T_x}\right) \sin\left(\frac{2k_y \pi y}{T_y}\right) \right) \right),
 \end{aligned}$$

где A, B, a, b, c, d – коэффициенты разложения процесса $G(x, y)$ в тройной ряд Фурье по переменным t, x, y . Регрессионную функцию поля осадков также представим в виде ряда Фурье с указанными выше коэффициентами:

$$\begin{aligned}
 U = c(x, y) & \left(\sum_{k=1}^{n_1} \left(a_{1,k}(x, y) \cos\left(\frac{2\pi k t}{T_1}\right) + b_{1,k}(x, y) \sin\left(\frac{2\pi k t}{T_1}\right) \right) \right) + \\
 & + \left(\sum_{k=1}^{n_2} \left(a_{2,k}(x, y) \cos\left(\frac{2\pi k t}{T_2}\right) + b_{2,k}(x, y) \sin\left(\frac{2\pi k t}{T_2}\right) \right) \right) + \\
 & + \left(\sum_{k=1}^{n_3} \left(a_{3,k}(x, y) \cos\left(\frac{2\pi k t}{T_3}\right) + b_{3,k}(x, y) \sin\left(\frac{2\pi k t}{T_3}\right) \right) \right) + \\
 & + \left(\sum_{k=1}^{n_4} \left(a_{4,k}(x, y) \cos\left(\frac{2\pi k t}{T_4}\right) + b_{4,k}(x, y) \sin\left(\frac{2\pi k t}{T_4}\right) \right) \right) + \\
 & + \left(\sum_{k=1}^{n_5} \left(a_{5,k}(x, y) \cos\left(\frac{2\pi k t}{T_5}\right) + b_{5,k}(x, y) \sin\left(\frac{2\pi k t}{T_5}\right) \right) \right),
 \end{aligned}$$

где a, b – коэффициенты разложения в ряд Фурье.

В результате подстановки данных в модель распределения инфекции в почве на 1 мм осадков на территории края будет выражаться через три независимых переменных – времени и двух географических координат (рис. 2).

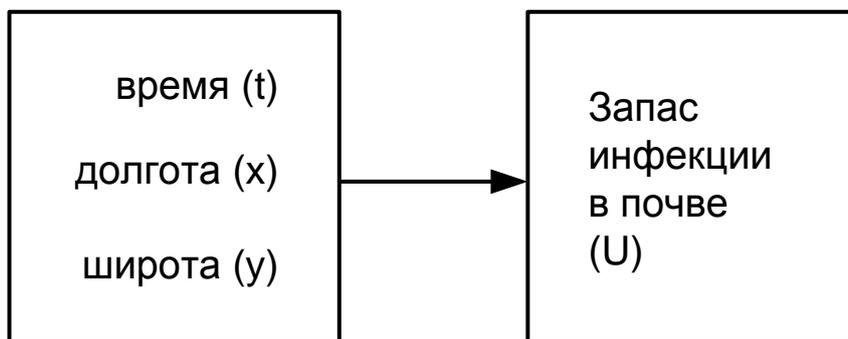


Рис. 2. Распределение запаса инфекции в почве

Динамика запасов инфекции зависит от динамики осадков и изменения температурного режима и поэтому может быть описана моделью с регрессионной функцией вида.

Динамическая модель запаса инфекции в почве в зависимости от распределения осадков по временной структуре. В качестве математического аппарата для моделирования динамики запаса инфекции в почве в зависимости от динамики осадков целесообразно использовать гармонический анализ Фурье от трех переменных, который может учесть нерегулярный характер колебаний двух связываемых процессов.

Пусть u – уровень инфекции в почве за год, %; v – за вегетационный период, %; x – восточная долгота; y – северная широта; T_t , и T_x , T_y – временные и, соответственно, пространственные факторные периоды, мес. Обозначим через Ω – поле средней инфицированности в момент времени t в агроэкологической зоне с центром в точке с координатами $\langle u, v \rangle$. Исходя из априорной цикличности процесса выпадения осадков по времени, периодичности по географическим координатам представим функцию $\Omega \langle u, v, x, y \rangle$ в виде

$$\begin{aligned} \Omega = & C + \left(\sum_{k_t=1}^{n_t} \left(A_{t,k_t} \cos\left(\frac{2k_t \pi t}{T_t}\right) + B_{t,k_t} \sin\left(\frac{2k_t \pi t}{T_t}\right) \right) \right) + \\ & + \left(\sum_{k_u=1}^{n_u} \left(A_{x,k_t} \cos\left(\frac{2k_t \pi u}{T_u}\right) + B_{x,k_t} \sin\left(\frac{2k_t \pi u}{T_u}\right) \right) \right) + \\ & \left(\sum_{k_v=1}^{n_v} \left(A_{y,k_t} \cos\left(\frac{2k_v \pi v}{T_v}\right) + B_{y,k_t} \sin\left(\frac{2k_v \pi v}{T_v}\right) \right) \right) + \\ & + \left(\sum_{k_v=1}^{n_v} \left(\sum_{k_u=1}^{n_u} \left(\sum_{k_t=1}^{n_t} a_{kt, ku, kv} \cos\left(\frac{2k_t \pi t}{T_t}\right) \cos\left(\frac{2k_u \pi u}{T_u}\right) \cos\left(\frac{2k_v \pi v}{T_v}\right) \right) \right) \right) + \\ & + \left(\sum_{k_v=1}^{n_v} \left(\sum_{k_u=1}^{n_u} \left(\sum_{k_t=1}^{n_t} b_{kt, ku, kv} \cos\left(\frac{2k_t \pi t}{T_t}\right) \cos\left(\frac{2k_u \pi u}{T_u}\right) \sin\left(\frac{2k_v \pi v}{T_v}\right) \right) \right) \right) + \\ & + \left(\sum_{k_v=1}^{n_v} \left(\sum_{k_u=1}^{n_u} \left(\sum_{k_t=1}^{n_t} c_{kt, ku, kv} \cos\left(\frac{2k_t \pi t}{T_t}\right) \sin\left(\frac{2k_u \pi u}{T_u}\right) \cos\left(\frac{2k_v \pi v}{T_v}\right) \right) \right) \right) + \\ & + \left(\sum_{k_v=1}^{n_v} \left(\sum_{k_u=1}^{n_u} \left(\sum_{k_t=1}^{n_t} d_{kt, ku, kv} \cos\left(\frac{2k_t \pi t}{T_t}\right) \sin\left(\frac{2k_u \pi u}{T_u}\right) \sin\left(\frac{2k_v \pi v}{T_v}\right) \right) \right) \right) + \\ & + \left(\sum_{k_v=1}^{n_v} \left(\sum_{k_u=1}^{n_u} \left(\sum_{k_t=1}^{n_t} e_{kt, ku, kv} \sin\left(\frac{2k_t \pi t}{T_t}\right) \cos\left(\frac{2k_u \pi u}{T_u}\right) \cos\left(\frac{2k_v \pi v}{T_v}\right) \right) \right) \right) + \\ & + \left(\sum_{k_v=1}^{n_v} \left(\sum_{k_u=1}^{n_u} \left(\sum_{k_t=1}^{n_t} f_{kt, ku, kv} \sin\left(\frac{2k_t \pi t}{T_t}\right) \cos\left(\frac{2k_u \pi u}{T_u}\right) \sin\left(\frac{2k_v \pi v}{T_v}\right) \right) \right) \right) + \\ & + \left(\sum_{k_v=1}^{n_v} \left(\sum_{k_u=1}^{n_u} \left(\sum_{k_t=1}^{n_t} g_{kt, ku, kv} \sin\left(\frac{2k_t \pi t}{T_t}\right) \sin\left(\frac{2k_u \pi u}{T_u}\right) \cos\left(\frac{2k_v \pi v}{T_v}\right) \right) \right) \right) + \\ & + \left(\sum_{k_v=1}^{n_v} \left(\sum_{k_u=1}^{n_u} \left(\sum_{k_t=1}^{n_t} h_{kt, ku, kv} \sin\left(\frac{2k_t \pi t}{T_t}\right) \sin\left(\frac{2k_u \pi u}{T_u}\right) \sin\left(\frac{2k_v \pi v}{T_v}\right) \right) \right) \right), \end{aligned}$$

где $A, B, a, b, c, d, e, f, g, h$ – коэффициенты разложения $\Omega \langle u, v \rangle$ в пятикратный ряд Фурье по переменным – времени, осадкам за год и вегетационный период, двух географических координат (рис. 3).

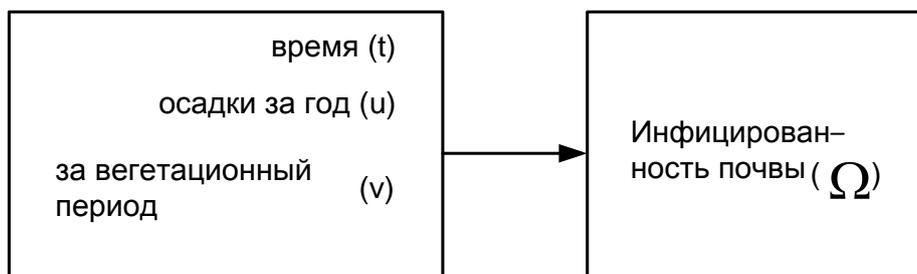


Рис. 3. Изменение запаса инфекции в почве

Выводы

1. Наиболее перспективен метод математического моделирования определения тенденций развития продуктивного процесса. Поэтому разработка моделей дает возможность, используя статистические данные, проследить закономерности выпадения осадков, тепловой режим, координировать сроки сева, изменять структуру севооборотов и на основе этого получать высокие и устойчивые урожаи, при этом существенно сократить экономические затраты.

2. Модельная оценка запаса инфекции в почве является важнейшей составляющей для планирования мероприятий по защите растений с учетом временной и природно-экологической структур.

3. Разработанные модели рекомендуется использовать для обоснования и планирования эффективного производства зерновых культур в агроэкологических зонах Красноярского края в зависимости от запаса инфекции в почве.

Литература

1. Дружинин И.П., Хамьянова Н.В. Возможность прогноза продолжительности и сумм атмосферных осадков естественного синоптического сезона // Закономерности и прогнозирование природных явлений. – М.: Наука, 1980. – С. 39–47.
2. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа: учеб. пособие для вузов. – М.: Наука, 1981. – 487 с.
3. Пересыпкин В.Ф. Сельскохозяйственная фитопатология. – М.: Агропромиздат, 1989. – 479 с.

