



УДК 639.2.053.8

Г.И. Цугленок, С.Н. Никулочкина

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА УРОВЕНЬ ЗАПАСА ИНФЕКЦИИ В ПОЧВЕ**

*В статье рассмотрено влияние основных лимитирующих факторов агроэкологической среды на уровень запаса инфекции в почве, определяющий колебания продуктивности сельскохозяйственных культур.*

**Ключевые слова:** солнечная радиация, транспирация, фотосинтез, запас инфекции, тепловой баланс, водный баланс, давление почвенной влаги.

G.I. Tsuglenok, S.N. Nikulochkina

**MODELING THE BIOLOGICAL AND PHYSICAL FACTOR INFLUENCE  
ON THE INFECTION STOCK LEVEL IN SOIL**

*Influence of the major limiting factors in the agro-ecological environment on the infection stock level in soil that determines the agricultural crop productivity fluctuations is considered in the article.*

**Key words:** solar radiation, transpiration, photosynthesis, infection stock, heat balance, water balance, soil water pressure.

**Введение.** В условиях Красноярского края основными лимитирующими факторами роста и развития растений являются влагообеспеченность, тепловой фактор и запасы питательных веществ в почве, определяющие не только уровень урожайности, но и возможность возделывания тех или иных сельскохозяйственных культур, что является объективной необходимостью в современных условиях.

**Актуальность исследований.** Развитие теории и методов прикладного моделирования урожайности зерновых культур, а также научная разработка с их помощью на базе принципиальных положений системного агроэнергетического анализа направлены на создание целостной модели землепользования в растениеводстве для каждого сельскохозяйственного района Красноярского края.

**Цель исследований.** Дать модельное представление лимитирующих биофизических факторов, оказывающих влияние на уровень запаса инфекции в почве.

**Задачи исследований.** Определить закономерности влияния теплового, водного баланса растения, давления почвенной влаги и транспирации растения, а также влияния колебаний солнечной активности [2–4] на прогнозирование потенциального урожая при запасае инфекции в почве.

**Объекты и методы исследований.** Объектами исследований являются сельскохозяйственные культуры, возделываемые при влиянии биофизических факторов агроэкологической среды. Использован аппарат теории рядов Фурье.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Тепло, влага и питательные вещества редко находятся в полном соответствии с потребностями растений; чаще один из этих факторов находится в недостатке и лимитирует рост и урожай. Влажность почвы можно регулировать с помощью орошения, питательные вещества – с помощью внесения минеральных и органических удобрений, а приток тепла относится к неуправляемым факторам. Поэтому в условиях орошения и внесения удобрений получаем, что рост, урожай и энергопродуктивность сельскохозяйственных культур зависят главным образом от теплового режима сельскохозяйственного поля. При фиксированных количествах влаги и питательных веществ имеется возможность установить корреляционную зависимость между приращением биомассы растения и поглощенной растением солнечной радиацией в процессах фотосинтеза и транспирации.

Связи между агрометеорологическими факторами и уровнем запаса инфекции в почве для условий Красноярского края изучены недостаточно.

**Влияние теплового баланса растения и агроэкологической среды на уровень запаса инфекции в почве.** В тепловой баланс растения и физической среды входят следующие компоненты: солнечная радиация, поглощенная поверхностью почвы и растений; отраженная радиация от почвы и от растения; радиация, излучаемая растением и почвой; затраты тепла на испарение почвой и транспирацию; поток тепла в глубокие слои почвы, фотосинтез. В годовом цикле на каком-либо участке земной поверхности величины прихода и расхода равны и тепловой баланс можно выразить уравнением

$$E_R - E_I - E_V - E_P = 0,$$

$$E_I = Q_I \cdot W_I,$$

где  $E_R$  – поступление радиации за период, кал/см<sup>2</sup>;  $E_I$  – затраты энергии на испарение, кал/см<sup>2</sup>;  $E_V$  – отдача тепла в воздух, кал/см<sup>2</sup>;  $E_P$  – теплоотдача в почву, кал/см<sup>2</sup>;  $Q_I$  – скрытая теплота испарения, кал/(10<sup>-1</sup> см<sup>3</sup>) или кал/г воды;  $W_I$  – суммарное испарение влаги, мм.

Основная часть радиации, поглощаемая растениями, используется на транспирацию. На фотосинтез расходуется менее 1% солнечной радиации, поглощенной растением. Температура, близкая к 25°C, обычно соответствует максимуму развития.

Температура воздуха колеблется в значительно более широком диапазоне, чем температура почвы, поскольку почва как биоэнергетическая система стремится поддерживать свою температуру близкой к постоянной путем теплообмена с окружающей средой. Транспирация, собственное излучение, альbedo, движение устьиц являются основными средствами регулирования процесса теплообмена между растением и окружающим его воздухом. Поэтому существует точка равновесия, в которой эти два процесса могут взаимно компенсироваться.

**Влияние водного баланса растения и агроэкологической среды на уровень запаса инфекции в почве.** Водный режим любого слоя земельного массива, занятого какой-либо сельскохозяйственной культурой, может быть описан уравнением водного баланса.

В многолетнем цикле водного режима на некотором участке земной поверхности приход и расход равны. Уравнение годового водного баланса имеет вид

$$W_0 + W_{CO} + W_{GR} + W_K = W_I + W_{TR} + W_{INF} + W_S + W_t,$$

где  $W_0$  и  $W_t$  – запасы влаги в почвенной толще соответственно в начале и конце периода  $t$ , мм водного слоя;  $W_{CO}$  – сумма осадков, мм;  $W_I$  – испарение с поверхности почвы, мм;  $W_{TR}$  – транспирация, мм;  $W_{INF}$  – инфильтрация, мм;  $W_S$  – поверхностный сток, мм;  $W_{GR}$  – приток из грунтовых вод, мм;  $W_K$  – конденсация, мм водного слоя. Это уравнение означает, что запас влаги в почве  $W_t$  в каждый данный момент времени  $t$  равен предшествующему запасу влаги  $W_0$  плюс изменения в приходе и расходе влаги за данный период времени.

Водный режим территории определяет уровень запаса инфекции в почве, где каждой биоклиматической зоне соответствует свой индекс запаса инфекции.

**Влияние давления почвенной влаги и транспирации на запас инфекции в почве.** Существенные трудности изучения процесса транспирации и обоснования норм и сроков полива связаны с двойственной природой транспирации: с одной стороны – как биологического явления, а с другой – как физического процесса.

При этом остается неясным вопрос о том, что такое неограниченное увлажнение, какому критическому значению влажности почвы или давлению почвенной влаги оно соответствует. Для разработки теории транспирации, имеющей универсальное значение, необходимо знать зависимость транспирации от влажности или давления во всем диапазоне активной влаги почвы, а также зависимость потенциальной транспирации от погодных условий и запаса инфекции в почве.

Продуктивность всех сельскохозяйственных культур зависит от соотношения величин фактического и потенциального испарения с сельскохозяйственного поля: продуктивность максимальна, если это отношение близко к единице. На потребность растений в воде влияют запасы питательных веществ в почве. Поэтому все выводы, касающиеся связи транспирации с влажностью или давлением почвенной влаги, правомочны для оптимальных величин запасов питательных веществ и допустимого уровня.

**Моделирование влияния колебаний солнечной активности на уровень запаса инфекции в почве.** Поскольку периоды планетарной активности  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$  не имеют наименьшего общего кратного  $T$ , то движение системы  $R$  в каждой географической точке  $M_s$  не является периодическим, а представляется квазипериодической функцией с дискретным спектром

$$R = c + \sum_{k=1}^{\infty} a_{1k} \cos \frac{2\pi kt}{T_1} + b_{1k} \sin \frac{2\pi kt}{T_1} + \\ + \sum_{k=1}^{\infty} a_{2k} \cos \frac{2\pi kt}{T_2} + b_{2k} \sin \frac{2\pi kt}{T_2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_{3k} \cos \frac{2\pi kt}{T_3} + b_{3k} \sin \frac{2\pi kt}{T_3} + \\ + \sum_{k=1}^{\infty} a_{4k} \cos \frac{2\pi kt}{T_4} + b_{4k} \sin \frac{2\pi kt}{T_4} + \sum_{k=1}^{\infty} a_{5k} \cos \frac{2\pi kt}{T_5} + b_{5k} \sin \frac{2\pi kt}{T_5} + S.$$

Поскольку в общем случае коэффициенты модели  $c = c(x, y)$ ,  $a_{rk} = a_{rk}(x, y)$ ,  $b_{rk} = b_{rk}(x, y)$  являются функциональными, то есть зависят от географических координат рассматриваемой точки  $M_s$  на поверхности Земли, то движение системы  $R(x, y)$  по временной и географической координатам представляется в виде

$$R(x, y) = c(x, y) + \sum_{k=1}^{\infty} a_{1k}(x, y) \cos \frac{2\pi kt}{T_1} + b_{1k}(x, y) \sin \frac{2\pi kt}{T_1} + \\ + \sum_{k=1}^{\infty} a_{2k}(x, y) \cos \frac{2\pi kt}{T_2} + b_{2k}(x, y) \sin \frac{2\pi kt}{T_2} + \\ + \sum_{k=1}^{\infty} a_{3k}(x, y) \cos \frac{2\pi kt}{T_3} + b_{3k}(x, y) \sin \frac{2\pi kt}{T_3} + \\ + \sum_{k=1}^{\infty} a_{4k}(x, y) \cos \frac{2\pi kt}{T_4} + b_{4k}(x, y) \sin \frac{2\pi kt}{T_4} + \\ + \sum_{k=1}^{\infty} a_{5k}(x, y) \cos \frac{2\pi kt}{T_5} + b_{5k}(x, y) \sin \frac{2\pi kt}{T_5} + S(t, x, y).$$

Однако по географическим координатам движение системы  $R(x, y)$  является периодическим с периодами  $T_x$  и  $T_y$ . Поэтому каждый функциональный коэффициент представим в виде двойного ряда Фурье

$$\varepsilon + \sum_{k=1}^{\infty} \alpha_k \cos \frac{2\pi kx}{T_x} + \beta_k \sin \frac{2\pi kx}{T_x} + \sum_{k=1}^{\infty} \gamma_k \cos \frac{2\pi ky}{T_y} + \delta_k \sin \frac{2\pi ky}{T_y} + \\ + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \cos \frac{2\pi mx}{T_x} \cos \frac{2\pi ny}{T_y} + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} b_{mn} \sin \frac{2\pi mx}{T_x} \cos \frac{2\pi ny}{T_y} + \\ + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} c_{mn} \cos \frac{2\pi mx}{T_x} \sin \frac{2\pi ny}{T_y} + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} d_{mn} \sin \frac{2\pi mx}{T_x} \sin \frac{2\pi ny}{T_y}$$

с обычными числовыми коэффициентами  $\alpha_k, \beta_k, \gamma_k, \delta_k, a_{pq}, b_{pq}, c_{pq}$  и  $d_{pq}$ .

Представление радиации в виде ряда Фурье для периодической функции приводит к невязкам порядка 30%, связанным с остаточным фактором. Поэтому, как было сказано выше, движение системы необходимо представить в виде квазипериодической функции с периодами планетарной активности  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$ , а не обычной периодической с периодом  $T_1$ .

Косвенным образом это подтверждают расстояния между ломаными экспериментальных данных, которые по разным географическим координатам достигают порядка 30% от максимального уровня радиации (рис. 1).

Циклические колебания температуры и осадков имеют такую же структуру, что и динамика солнечной радиации, поскольку эти показатели напрямую зависят от нагревания вод Мирового океана солнечным излу-

чением. Этот вывод подтверждается при детальном анализе данных по осадкам на территории Красноярского края.

При моделировании экологической урожайности сельскохозяйственной культуры логично исходить из имеющегося в наличии агроэкологического ресурса, включающего колебания запаса инфекции в почве.

Использование той части ресурса, которая поглощается культурой, возможно смоделировать непосредственно исходя из имеющихся данных по управляющим факторам развития культуры: радиации, осадкам, температуре, влажности и питанию растений нитратами.

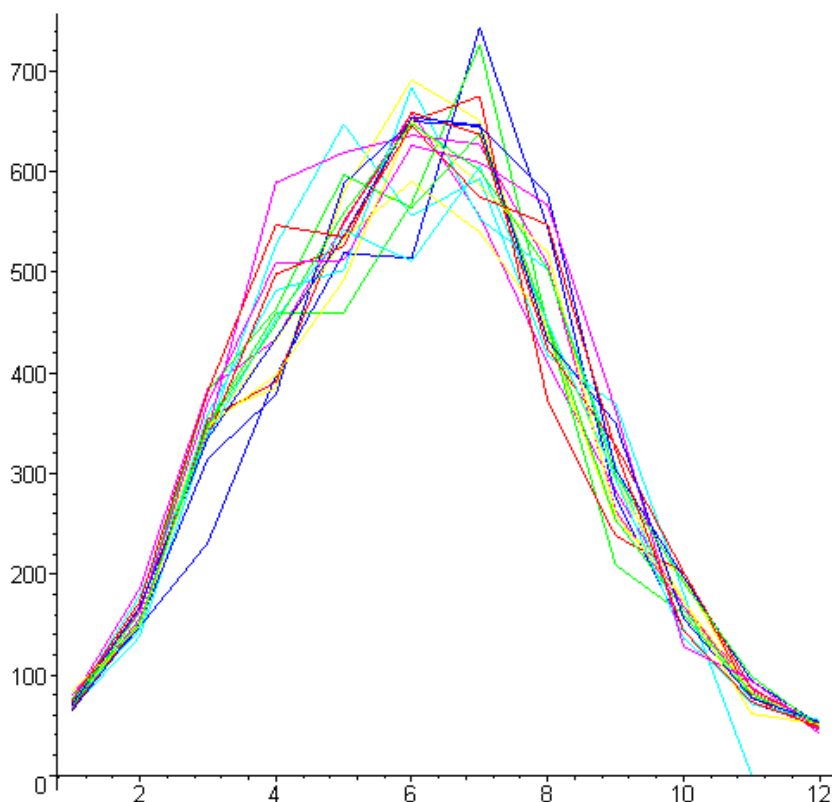


Рис. 1. Движение системы суммарной солнечной радиации

Суммарная эффективность этих потоков, выраженная в энергопродуктивности агрофитоценоза, является объективной характеристикой состояния среды. И если основная доля энергии отчуждается с хозяйственно полезной частью урожая, то, безусловно, среда будет обедняться и реагировать на эти изменения.

Солнечная активность программирует деятельность всех зеленых растений посредством воздействий энергетического потока на фотосинтез и окружающую среду. Полупериод солнечной активности, теоретически оцениваемый в 11,55 лет, определяет циклические колебания энергии биосферы Земли. Биосфера является системой более высокого уровня по отношению к агрофитоценозу, а затем по иерархии к системе звеньев севооборотов, имеющих период ротации 3 года.

На практике подсистема агрофитоценоза ввиду инерционности имеет период  $T_1$ , меньший, чем период охватывающей системы ( $T_1 < 11,55$ ), а из-за расхождения астрономического и календарного времени календарный цикл ротации звеньев 3 не совпадает с астрономическим периодом системы севооборотов ( $T_2 \approx 3$ ). Поскольку периоды  $T_1$  и  $T_2$  не имеют наименьшего общего кратного, то процесс, формируемый под воздействием факторов с периодами  $T_1$  и  $T_2$ , является квазипериодическим.

Описание динамики энергопродуктивности с помощью квазипериодической функции, отражающей иерархию подсистем, позволяет планировать сельскохозяйственное производство с учетом прогноза будущего урожая при заданной структуре звеньев севооборота (рис. 2).

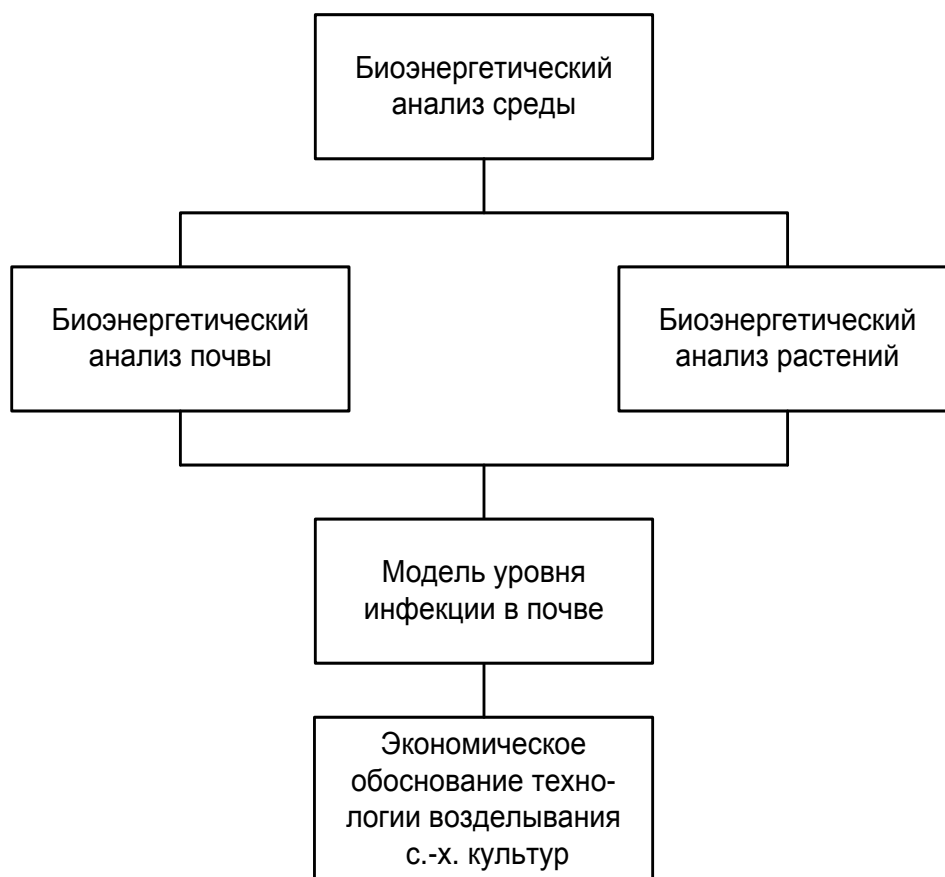


Рис. 2. Схема исследований динамики продуктивности сельскохозяйственных культур

**Прогнозирование потенциального урожая при запасе инфекции в почве.** Моделирование потенциального урожая строится на определенных данных опыта и теоретических предпосылках. «Растение – почва» представляет собой самоуправляемую биологическую систему, в которой в результате взаимодействия солнечной энергии, воды и двуокиси углерода синтезируется органическое вещество. Уровень запаса инфекции в почве зависит от многих факторов: сорта растений, способов обработки почвы, жизнедеятельности (в частности, численности) микроорганизмов (аммонифицирующих бактерий), типов удобрений и их количества, от борьбы с вредителями и болезнями.

В зависимости от колебаний солнечной активности при фиксированных параметрах температуры и влажности изменяется численность различных микроорганизмов [1], таких как аммонифицирующие и нитрифицирующие бактерии, аэробные целлюлозоразлагающие бактерии и водоросли, которые используют в своей деятельности аммиак и нитраты из почвы, тем самым накапливая азот в почве и снижая уровень запаса инфекции.

Поэтому от многофакторного влияния основных лимитирующих факторов очень трудно выразить количественно взаимосвязь.

Теоретически вычисленные значения запаса инфекции оказались в несколько раз меньше максимального уровня инфекции в орошаемых условиях. Следовательно, повышение урожаев сельскохозяйственных культур основывается на технологических приемах повышения эффективности использования растениями солнечной радиации, осадков и почвенной влаги, а также снижения уровня запаса инфекции в почве.

### Выводы

1. Биоэнергетический подход позволяет обосновать разумные схемы построения севооборотов с учетом особенностей агроэкологической среды, включающей запас инфекции в почве.
2. Моделирование продуктивности дает возможность подойти к экономическому обоснованию эффективности размещения посевов сельскохозяйственных культур в различных звеньях полевых севооборотов и оптимизировать структуру их в условиях конкретного хозяйства.

### Литература

1. Агаджанян Н.А., Макарова И.И. Среда обитания и реактивность организма. – Тверь, 2001. – 176 с.
2. Бреус Т.К. Биологические эффекты солнечной активности // Природа. – 1998. – № 2. – С. 75–88.
3. Бугаков П.С., Горбачёва С.М., Чупрова В.В. Почвы Красноярского края. – Красноярск: Краснояр. кн. изд-во, 1981. – 128 с.
4. Верига С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага и её значение в сельскохозяйственном производстве. – Л.: Гидрометеиздат, 1933. – 328 с.



УДК 33.31/37:631.4(571.51)

А.Т. Аветисян, Е.Н. Белоусова, А.А. Белоусов

#### ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ, СТРУКТУРНОГО СОСТАВА И СОДЕРЖАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ФОРМ АЗОТА В ПОСЕВАХ МНОГОЛЕТНИХ БОБОВЫХ ТРАВ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

*Представлена сравнительная оценка продуктивности люцерны посевной и галеги восточной в условиях лесостепной зоны. Установлено, что в макроагрегатном составе почвы под галегой восточной проявляется тенденция к увеличению доли агрономически ценных фракций (АЦФ). Процессы мобилизации минерального азота под исследуемыми травами уступают синтезу его органических легкогидролизуемых форм.*

**Ключевые слова:** галега восточная, продуктивность, макроструктура, легкогидролизуемый, аммонийный, нитратный азот.

A.T. Avetisyan, E.N. Belousova, A.A. Belousov

#### ESTIMATION OF PRODUCTIVITY, STRUCTURE COMPOSITION AND NITROGEN MOBILE FORM AVAILABILITY IN THE PERENNIAL LEGUMINOSE GRASS SOWINGS OF THE KRASNOYARSK FOREST STEPPE LEACHED CHERNOZEM

*The comparative productivity estimation of Spanish trefoil and eastern galega in the forest-steppe zone conditions is given. It is determined that the tendency to increase of the agronomical valuable fraction (AVF) share in macroaggregate structure of the soil which is planted by eastern galega is shown. The processes of mineral nitrogen mobilization under the researched herbs give way to the synthesis of its organic easy hydrolysable forms.*

**Key words:** eastern galega, productivity, macrostructure, easy hydrolysable, ammoniacal, nitrate nitrogen.

---

**Введение.** Одним из необходимых условий стабилизации почвенного плодородия и улучшения экологической обстановки в современных агроценозах является расширение посевов многолетних бобовых трав. Их положительная роль в плодородии почвы в значительной степени определяется составом высеваемых трав, продолжительностью их использования, агротехническими приемами, структурой севооборота. Перечисленное во многом определяет их продуктивность.

Многолетние бобовые травы являются важнейшим фактором биологизации земледелия. В условиях развивающихся рыночных отношений при высокой стоимости минеральных удобрений это наиболее доступное средство повышения урожайности сельскохозяйственных культур [Духанин, 2003]. С недавнего времени сотрудниками Института агроэкологических технологий КрасГАУ ведутся исследования по возможности введения галеги восточной в систему кормопроизводства края. Она превосходно сочетает высокую продуктивность с отличными кормовыми достоинствами и устойчивым семеноводством, рационально использует агроклиматические условия зоны и повышает плодородие почвы [Возделывание..., 2000].

**Цель работы.** Сравнительная оценка продуктивности галеги восточной и люцерны посевной и их влияния на эффективное плодородие почвы.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проводились на многолетнем полевом стационаре УНПК «Борский» в севооборотах кафедры растениеводства, расположенного в центральной части Красноярской лесостепи.