

**ГЕНЕЗИС
И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ**

УДК 631.484

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА
РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ КАК ФАКТОРА ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ**

© 1997 г. Ф. Н. Лисецкий

Белгородский государственный университет

Поступила в редакцию 04.11.96 г.

Установлена связь годичной продукции растительности с энергетическими эквивалентами условий тепло- и влагообеспеченности. Разработана зависимость изменения растительной продукции степных экосистем в голоцене под совместным влиянием природных и антропогенных факторов. Эти результаты обеспечивают фитоценотический блок в математической модели зонального почвообразовательного процесса.

В общем виде структуру модели изменения мощности гумусового горизонта автоморфных почв ($H(t)$, мм) на протяжении голоценовой истории (t , годы), как было установлено ранее [9], можно представить с помощью следующего аналитического выражения:

$$H(t) = ag \left(\frac{Z(t)}{F(t)} \right)^c \exp(jQ(t))(1 - k \exp(-rt)), \quad (1)$$

где $Q(t)$ – энергетические затраты на почвообразование (по Волобуеву [2]); g – коэффициент, отражающий гранулометрический состав почвообразующих пород; $Z(t)$ и $F(t)$ – функции распределения во времени фактической (с учетом антропогенных влияний) и зональнообусловленной растительной продукции соответственно; a, c, j, k, r – эмпирические константы.

Количественная оценка синтетических показателей, отражающих роль климата и растительной продукции в формировании почв на протяжении голоцена, представляет собой не только наиболее важную в содержательном отношении, но и взаимосвязанную задачу при моделировании почвообразовательного процесса.

Существовавшая в течение голоцена зональная структура ландшафтов предопределила интеграцию пространственно-временных проявлений фитоценогенеза в виде коренных квазиклиматических растительных сообществ с определенным уровнем ежегодно продуцируемого автотрофами органического вещества. Зависимостью первичной продуктивности фитоценозов от многих факторов среды и, прежде всего, от климата обусловлена перспективность использования синтетических показателей, объединяющих в своей структуре показатели тепло- и влагообеспеченности.

Удачными попытками, однако в виде общих зависимостей (без их аналитического выражения), могут быть признаны установленные связи годичного прироста фитомассы в зональных типах ландшафтов с гидротермическим потенциалом (отношением валового увлажнения к радиацион-

ному балансу (R) с поправкой на длительность вегетации) [13], чистой первичной продукции с отношением R к латентному при испарении годичных осадков [3, Рейнманк, 1976 – Цит. по: 11, с. 47, 4], продуктивности с отношением испаряемости к сумме осадков [5] и произведением суммы температур выше 10°C в сотнях градусов на коэффициент увлажнения [7].

Среди эмпирических зависимостей отметим подход, предложенный Зубовым [6], увязывающий продуктивность с затратами тепла на испарение и долей радиационного баланса, используемой на испарение

$$F = 0.42LE_v^2/R_v, \quad (2)$$

где F – продукция растительности, т/га в год; L – скрытая теплота испарения; E_v – испарение вегетационного периода, г/см²; R_v – радиационный баланс вегетационного периода, ккал/см².

В 70-х гг. Лит (Lieth) [14] в серии работ установил парные связи чистой первичной продукции F со среднегодовыми температурой воздуха T и количеством осадков P

$$F = 3000 \{ (1 + \exp(1.315 - 0.119T))^{-1} \times (1 - \exp(-0.000664P)) \}. \quad (3)$$

Здесь F выражается в г/(м² год).

Авторы модели АРП II [10], построенной для изучения поведения системы атмосфера–растения–почвы, справедливо отмечают недостатки моделей типа (3). Например, в экосистемах аридной зоны при повышении температуры и неизменных осадках годичная продукция по модели (3) должна увеличиваться. Разработчики АРП II пошли по пути аппроксимации данных Литы регрессионным уравнением с экспертной корректировкой зависимостей по знаку изменения продукции в каждом типе экосистем по влиянию климата.

Более обоснованно проблема синтеза условий тепло- и влагообеспеченности зональных общностей почв и растительности решена В.Р. Волобуе-

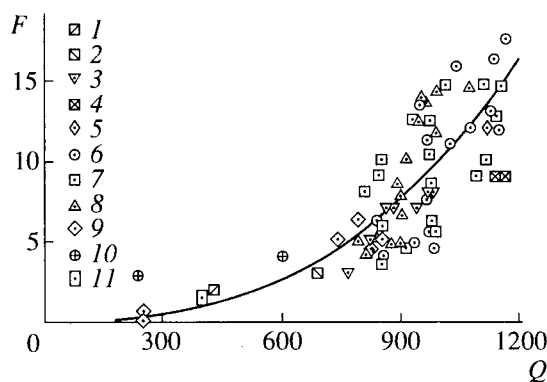


Рис. 1. Зависимость чистой первичной продукции основных фитоценозов (F , т/га в год) в сухой массе) от энергетических затрат на почвообразование (Q , МДж/(м² год):

1 – арктические тундры; 2 – лесотундры; 3 – таежные леса; 4 – смешанные леса; 5 – широколиственные леса; 6 – луговые степи и остепненные луга; 7 – разнотравно-типчаково-ковыльные степи; 8 – типчаково-ковыльные степи; 9 – полынно-злаковые степи; 10 – полупустыни; 11 – соляноковые пустыни.

вым. В развитие биоэнергетического подхода он получил зависимость зональных показателей фитопродуктивности (V , ц/га в год) от общих (Q) и “климатических” (Q_k) затрат энергии на почвообразование [2]

$$V = 0.06(Q - Q_k)^3$$

или

$$V = 0.06(R \exp(-1/2.13K) - R \exp(-1/K))^3, \quad (4)$$

где K – годовой коэффициент относительной увлажненности; R – радиационный баланс. Показатель степени ($2.93 \approx 3$) был рассчитан как среднее значение для 11 типов растительности Земли с различиями от 1.7 (саванны и полупустыни) до 7.8 (тундры).

Оценивая предложенное решение, следует заметить, что для обоснования величины показателя степени требуется привлечение большего количества данных по растительной продукции и более конкретная их увязка с зонально-провинциальными характеристиками климата.

Мы проанализировали данные по годовичному приросту (чистой первичной продукции) зональных фитоценозов Русской равнины, Центрально-Казахстана и юга Западной Сибири, опираясь на ряд обобщающих работ [1, 6, 12], региональные исследования и собственные определения в 1981–1991 гг. в северо-причерноморских степях [8]. Для 11 типов растительности оценки годовичного прироста ($N = 70$), определяемые соответствующими климатическими условиями (R , P), представлены на рис. 1. Аналитически зависимость средней годичной продукции растительности (в су-

хой массе) – F , т/(га год) от энергетических затрат на почвообразование (Q , МДж/(м² год)) имеет вид

$$F = 8.7 \times 10^{-8} Q^{2.69}, \quad \eta + t_{05} S_{\eta} = 0.85 \pm 0.13, \quad (5)$$

где η – корреляционное отношение; S_{η} – его ошибка; t_{05} – значение критерия Стьюдента для 5%-ного уровня значимости.

После подстановки в уравнение (5) расчетной формулы Q по Волобуеву и приведения ее к единицам СИ получим

$$F = 2 \times 10^{-3} \left\{ R \exp\left(-18.8 \frac{R^{0.73}}{P}\right) \right\}^{2.69}, \quad (6)$$

где R – радиационный баланс, ккал/(см год); P – сумма осадков, мм.

Установленная зависимость годичной продукции от характеристик климата позволяет реконструировать основные этапы природно- и антропогеннообусловленной эволюции растительного покрова Русской равнины в виде кривых относительных колебаний продуктивности на протяжении голоцена. В связи с разнонаправленностью хода температур и осадков севернее и южнее 50° с. ш. мы построили две кривые изменения величин Q за последние 10 тыс. лет, показавшие преимущественно синхронность низкочастотных колебаний климата (в энергетических эквивалентах). Расчетные по уравнению (5) или (6) величины ритмического изменения продуктивности растительности в голоцене могут быть математически описаны с помощью методов гармонического анализа. Так, для зональных экосистем лесостепной и степной зон относительные колебания годичной продуктивности растительности в последние 6 тыс. лет, т.е. после климатического оптимума голоцена (обозначим эту функцию как $\Delta F(t)$), аппроксимируются следующим рядом Фурье:

$$\Delta F(t) = \sum_{k=1}^7 A_k \sin(k\tau + f_k) + 0.72, \quad (7)$$

где $\Delta F(t)$ – относительные (принимая современный уровень годичной продукции 7.7 т/га за 1) колебания продукции растительного вещества, т/га в год; τ – временные отсчеты, которые задаются по выражению $\tau = 0.105(60 - 0.01t)$, где t – даты по шкале абсолютного времени, годы (от 6 тыс. лет назад до 0); A_k и f_k – амплитуда и фаза гармоники k : $A_1 = 0.81$, $A_2 = 1.99$, $A_3 = 2.18$, $A_4 = 1.20$, $A_5 = 0.66$, $A_6 = 0.52$, $A_7 = 0.08$, $f_1 = 1.57$, $f_2 = 1.57$, $f_3 = -0.37$, $f_4 = -0.18$, $f_5 = -0.82$, $f_6 = -0.43$, $f_7 = -2.99$. Модель (7) не противоречит использованному полю экспериментальных данных, что подтверждается величинами коэффициента корреляции между эмпирическими и расчетными значениями -0.85 ± 0.27 и относительной приведенной погрешности (y), оценивающей ширину полосы погрешностей, -0.26 (в случае связи, близкой к функциональной, $y =$

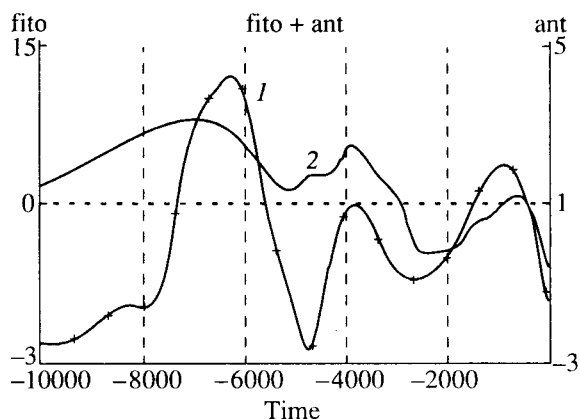


Рис. 2. Относительные изменения на протяжении голоцена расчетных значений зонально-(fito - 1) и антропогенно-(ant - 2) обусловленной продуктивности растительности (F, т/га в год) в восточно-европейских степных экосистемах.

= 0.22). Отношение годичной продуктивности степных экосистем к современному уровню по основным хроноинтервалам голоцена (лет назад) составляло: 0-600 - 0.96, 601-1700 - 1.22, 1701-2700 - 0.74, 2701-400 - 1.29, 4001-5200 - 0.75, 5201-6900 - 1.50, 6901-10000 - 0.57.

Введение корректирующих поправок на антропогеннообусловленные изменения продуктивности по историко-экологическим периодам [8] позволило количественно описать сингенетическую эволюцию восточно-европейских степей на протяжении голоцена (рис. 2)

$$Z(t) = 2t^{0.13} + A_0 + \sum_{k=1}^7 A_k \sin(k\tau + f_k), \quad (8)$$

где Z(t) - природно- и антропогеннообусловленная продукция растительности, т/га в год: A₀ = 1.02, A₁ = 1.95, A₂ = 0.80, A₃ = 1.33, A₄ = 0.47, A₅ = 0.38, A₆ = 0.18, A₇ = 0.09, f₁ = -3.03, f₂ = 1.57, f₃ = -1.62, f₄ = -0.74, f₅ = -0.26, f₆ = 0.48, f₇ = 0.89.

ВЫВОДЫ

1. Реконструкция природно- и антропогеннообусловленных изменений растительной продуктивности за последние 10 тыс. лет адекватно осуществляется расчетным методом через энергетические затраты на почвообразование.

2. Фитоценотический блок, сопряженный в математической модели с пространственно-времен-

ными изменениями мощности гумусового горизонта автоморфных почв, должен включать в себя функцию изменения во времени продуктивности зональных экосистем, отражающую периодичность климатических процессов и антропогенных воздействий. Решение этой задачи в достаточной мере обеспечивается возможностями методов гармонического анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Базилевич Н.И.* Биологическая продуктивность почвенно-растительных формаций СССР // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1986. № 2. С. 49-67.
2. *Волобуев В.Р.* О биологической составляющей энергетики почвообразования // Почвоведение. 1985. № 9. С. 5-8.
3. *Дроздов А.В.* Продуктивность зональных наземных растительных сообществ и показатели водно-теплового режима территории // Общие теоретические проблемы биологической продуктивности. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1969. С. 33-39.
4. *Ефимова Н.А.* Радиационные факторы продуктивности растительного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 216 с.
5. *Зубенок Л.И.* Испарение на континентах. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 264 с.
6. *Зубов С.М.* Природные комплексы и продуктивность растительности СССР. Минск: Изд-во Белорусск. ун-та, 1978. 168 с.
7. *Исаченко А.Г.* Интенсивность функционирования и продуктивность геосистем // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1990. № 5. С. 5-17.
8. *Лисецкий Ф.Н.* Периодизация антропогеннообусловленной эволюции степных экосистем // Экология. 1992. № 5. С. 17-25.
9. *Лисецкий Ф.Н.* Модель трендовой составляющей голоценового почвообразования // Докл. АН Украины. 1994. № 11. С. 149-152.
10. *Моисеев Н.Н., Александров В.В., Тарко А.М.* Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. М.: Наука, 1985. 272 с.
11. *Молдан Б., Зыка Я., Еник Я.* Жизненная среда глазами натуралиста. Львов: Выща шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1986. 136 с.
12. *Родин Л.Е., Базилевич Н.И.* Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.; Л.: Наука, 1965. 253 с.
13. *Рябчиков А.М.* Структура и динамика геосферы, ее естественное развитие и изменение человеком. М.: Мысль, 1972. 223 с.
14. *Lieth Y.* Modelling the primary productivity of the world // Primary productivity of biosphere. N.Y.: Springer-Verlag, 1975. P. 237-262.

Spatial and Temporal Evaluation of Plant Production as a Soil-forming Factor

F. N. Lisetskii

A correlation has been found between the annual plant production and the energy equivalents of heat and water supply. The combined effect of natural and anthropogenic factors on the plant productivity of steppe ecosystems in the Holocene has been evaluated. These results ensure the phytocenotic unit in the mathematical model of the zonal soil-forming process.