

УДК 631.482:631.487

РИТМИКА ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ И СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ**Лисецкий Ф.Н.***Национальный исследовательский университет «Белгородский государственный университет»,
Белгород, e-mail: liset@bsu.edu.ru*

Рассмотрена ритмичность процессов почвообразования и солнечной активности во второй половине голоцена. Показано, что изменение мощности гумусового горизонта почв сопряжено с астрофизической периодичностью тысячелетней и внутритысячелетней размерности. Выявлены два основных периода в низкочастотной области периодических изменений природных процессов размерностью 1350–1450 и 600 (700)–800 лет.

Ключевые слова: почвообразование, голоцен, гумусовый горизонт, солнечная активность, периодичность, фракталы

RHYTHMICS PEDOGENESIS AND SOLAR ACTIVITY**Lisetskii F.N.***National Research University «Belgorod State University», Belgorod, e-mail: liset@bsu.edu.ru*

Rhythm of soil-forming processes and solar activity during the second half of the Holocene was considered in the article. Shown that changes in humus soil horizon is associated with astrophysical intervals and within the thousand-year and millennial dimension. Two main variables-periods in the low-periodic changes in natural processes dimensionality 1350-1450 and 600(700)–800 years were identified.

Keywords: soil formation, Holocene, humus horizon, solar activity, periodicity, fractals

Разрабатываемые системы адаптированного природопользования должны обеспечить согласованное функционирование природно-хозяйственных систем с полииерархическими временными изменениями природной среды. Иерархический принцип временной организации природных систем помогает отразить понятие фрактала. Ранее [11] установлено, что такие структурные алгоритмы, как фракталы, хорошо описывают помимо формы природных объектов еще и ход естественных циклически повторяющихся процессов. Самоподобие фрактальных объектов, к которым наряду с другими природными системами могут быть отнесены и почвы (структуры почвенного покрова), а также их развитие во времени в широком масштабном ряду периодических процессов (от многолетних до многотысячелетних), проявляется в инвариантности периодичности изменения потенциала почвообразования, реализованного в дифференцированных скоростях формирования гумусового горизонта почв (Н), при любых трансформациях масштаба.

Многолетними почвенно-хронологическими исследованиями автора было охвачено более 150 объектов, из которых большинство – почвы археологических памятников (поселений, курганов, оборонительных валов), датированных в диапазоне от XXXII в. до н. э. до XI в. н. э.

Погрешности археологических датировок времени окончания жизнедеятельности (поселения) или строительства (валы, курганы) для культур железного века (за счет идентификации клейм на керамической

таре, типологии форм амфор, хронологии греческого импорта керамики, а в известной степени и классификации античных монет) составляют 25–50 лет. Различия в этапах культур поздней бронзы по разработанной хронологии металлических изделий и литейных форм, керамики в основном оценивается в 100 лет.

Почвенно-хронологические исследования проводили в нескольких регионах юга Русской равнины (Подунавье, Приднестровье, Побужье, Крым, Краснодарский край). Они включают почвенные подзоны обыкновенных и южных черноземов в степной зоне, а в ее пределах почвенно-климатические фации (Теплая южно-европейская и Умеренно континентальная восточноевропейская), а также сухостепную зону с темно-каштановыми почвами.

Опорные археологические памятники располагались на водоразделах и и очень пологих склонах (до 2°). Выбор новообразованных почв в автоморфных положениях позволил оценить влияние крупных событий климатической истории на формирование зональных почв, при том, что климатические условия в локальных позициях склоновых катен, безусловно, преломлялись, формируя геоморфологическую неоднородность проявления процессов эрозии-почвообразования [10]. Для наиболее полного соответствия условиям зонального почвообразовательного процесса ключевые участки почвенных исследований выбирали с такими растительными ассоциациями, чтобы состав флоры и проективное покрытие соответствовали коренным фитоцено-

зам. Морфологию новообразованных почв изучали до верхней границы культурного слоя в серии широких разрезов.

При моделировании процессов формирования-разрушения почвенного профиля нами был использован комплексный подход, опирающийся на современные методы спектрального оценивания. Особенность этих методов связана с широким использованием модельных представлений об анализируемых процессах, учитывающих свойственные им внутренние связи, которыми пренебрегали в классическом спектральном анализе.

Спектральный и периодограммный анализы временных рядов, отражающих изменение мощности гумусового горизонта черноземов обыкновенных, а также черноземов южных и темно-каштановых почв юга Украины за последние 6000 лет, относительные изменения содержания C^{14} за последние 5000 лет [7], проведены нами с помощью пакета программ STATGRAPHICS. Обработка временных рядов включала следующие этапы: многоинтервальная аппроксимация дискретного временного ряда с использованием квазikuбического сплайна; построение временного ряда с равностоящими моментами времени (исходя из ошибки почвенно-археологического метода датирования, шаг дискретизации определен в 50 лет); получение периодограммы и автокорреляционной функции этого ряда.

Для правильной интерпретации результатов важно подчеркнуть, что анализу подвергали процесс, результирующий синхронное проявление двух основных составляющих, диагностируемых функцией $H(t)$ – мощности гумусового горизонта почв:

$$H(t) = (V(t) - W(t)), \quad (1)$$

где $V(t)$ – функция увеличения $H(t)$ за счет процесса почвообразования; $W(t)$ – функция уменьшения $H(t)$ под действием почвенно-деградационных процессов (водной эрозии, дефляции).

Модель, описывающую изменение мощности гумусового горизонта во времени, можно представить путем синтеза трех моделей:

1. Модель – $H_T(t)$, выявляющая детерминированную тенденцию временного ряда (тренд), – обоснована ранее [4; 8].

2. Модель – $H_{нч}(t)$, описывающая тысячелетнюю и внутритысячелетнюю периодичность (циклы размерностью $n \cdot 10^2$, $n \in [5; 14]$) функций $V(t)$ и $W(t)$, (условно назовем – низкочастотный спектр);

3. Модель – $H_{вч}(t)$, отражающая многовековую и вековую периодичность (циклы размерностью $n \cdot 10^2$, $n \in [1; 4]$), (условно назовем – высокочастотный спектр).

Таким образом, модель формирования гумусового горизонта почв, синтезирующую трендовую компоненту, низко- и высокочастотные спектры, можно представить в следующем виде:

$$H(t) = H_T(t) + \operatorname{sgn} H_{нч}(t) + \operatorname{sgn} H_{вч}(t), \quad (2)$$

$$\text{при } H_{нч}(t) \begin{cases} +H_{нч}, & \text{если } H_{нч}(t) \geq H_T(t), \\ -H_{нч}, & \text{если } H_{нч}(t) < H_T(t), \\ \forall t \in [-1/2T; 1/2T]. \end{cases}$$

$$H_{вч}(t) \begin{cases} +H_{вч}, & \text{если } H_{вч}(t) \geq H_T(t) + \operatorname{sgn} H_{нч}(t), \\ -H_{вч}, & \text{если } H_{вч}(t) < H_T(t) + \operatorname{sgn} H_{нч}(t) \end{cases}$$

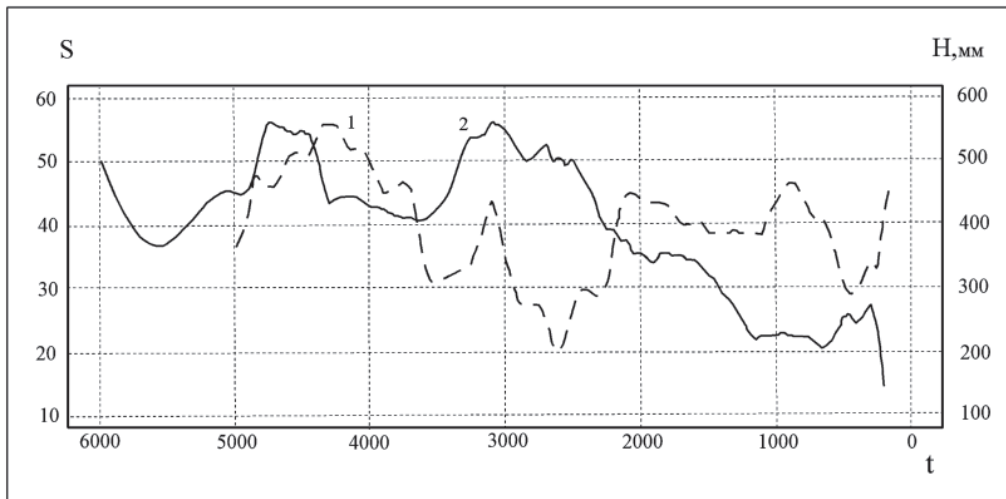
Полагаем, что такой подход позволяет учесть мультиерархический характер ритмики природных процессов в географической оболочке.

Анализ более обеспеченной эмпирическими данными кривой изменения мощности гумусового горизонта почв в южной и сухой степи показал, что за последние 6000 лет в тысячелетней и внутритысячелетней периодичности почвообразования выделяются три благоприятные хронозоны, когда мощность гумусового горизонта возрастала на 10–15 см за период, связанный, судя по периодограмме, с циклами размерностью 1350–1450 и 600 (700)–800 лет. По

шкале абсолютного времени эти максимумы приурочены к концу IV тысячелетия до н. э. (AT³), концу III тысячелетия до н. э. (SB¹) и VII в. до н. э. – рубежу эпох бронзы и раннего железа (SB³). Наиболее существенные периоды снижения мощности гумусового горизонта характеризуют две фазы в эпохе суббореальной аридизации (4,7–4,6 и 3,6–3,3 тыс. л. н.), но помимо этого можно отметить менее значительные минимумы в VIII в. и XIII–XIV вв. н. э. Анализ совмещенной кривой колебаний мощности гумусового горизонта (без учета онтогенетического тренда) для почв северной, южной и сухой степи на протяжении 6000 лет

(рисунок) показал снижение ускорения процесса, т.е. замедление скорости почвообразования во времени. Эта закономерность вполне согласуется с направленностью температурной кривой после 5,5 тыс. лет в Северной полушарии, а также с общим снижением потенциала климата и биоты после климатического оптимума голоцена (6,0–5,5 тыс. л. н.). По аналогии с обработкой временных рядов изменения гумусового горизонта почв проведенное вычленение низкочастотного спектра в солнечной активности [7] подтверждает ранее установленное [9] отрицательное корреляционное сопряжение этих двух процессов. Периодограммным методом в низкочастотной ритмике солнечной активности выявляются два цикла продолжительностью 1230 и 540 лет. Ранее отмечалось [6], что в схеме Дж. Эдди обнаруживается квазипериодическая компонента порядка 500–700 лет, а промежуток времени между соседними максимумами солнечной активности за наиболее достоверный исторический период не превышает 600 лет. Существование 600-летнего цикла солнечной активности обосновывается такой же повторяемостью высоких значений числа комет и дендрохронологическими данными [1], обнаружением периода средней длительностью 554 года при моделиро-

вании 11-летних циклов солнечных пятен за период с 648 г. до н. э. [2], а успешное использование 600-летнего цикла в прогностической практике является дополнительным доводом в пользу его существования. Помимо этого, гармоника, соответствующая одной трети длины приливной волны и 1/36 части 20400-летнего цикла прецессии (567 лет), часто обнаруживается в длинных метеорологических, геологических и других рядах [5]. Следует отметить, что известный в гео- и гелиофизике цикл в 540–600 лет, наряду с 90, 180-летними и др., относится к числу «квантованных» циклов, которые, связанные удвоением-утроением при синтезе с основными циклами, в наилучшей степени отвечают вероятностно-динамическим и волномеханическим подходам. Возможно, что и цикл в 1230 (1260 ?) лет является производным (кратным) от «квантованных» циклов, однако вполне допустимое объяснение его идентификации может быть связано с упоминавшейся недостоверностью в схеме Дж. Эдди между «римским» и «средневековым» максимумами (~1200 лет): отсутствием в этом хроноинтервале одного или нескольких подчиненных максимумов, существование которых прогнозируется педохронологическими данными.



Низкочастотные составляющие изменения относительных колебаний солнечной активности (S , по C^{14} [7]) – 1 и мощности гумусового горизонта почв степной зоны (H) – 2 во времени (t , лет назад)

После снятия трендовой компоненты методом наименьших квадратов, не искажающим в данной задаче спектральные характеристики (по разработанному критерию его применимости), на основе кривой относительных колебаний мощности гумусового горизонта черноземов южных и темно-каштановых почв была получена выбор-

ка (при шаге дискретизации в 100 лет) из 59 отсчетов. Ее статистическая обработка показала, что на основе значений 4-го центрального момента и дисперсии расчетная величина контрэксцесса приводит к выводу о близости закона распределения величин $H_{нч}$ к нормальному. Это позволило для аппроксимации низкочастотных квазиперио-

дических колебаний мощности гумусового горизонта использовать классический ме-

тод спектрального оценивания – преобразование Фурье:

$$H_{\text{НЧ}} = \sum_{k=1}^4 (a_k \cos k\tau + b_k \sin k\tau) = \sum_{k=1}^4 (A_k \sin(k\tau + f_k)), \quad (3)$$

где $H_{\text{НЧ}}$ – относительные колебания мощности гумусового горизонта, мм; τ – временные отсчеты, изменяющиеся от 0 (6000 лет назад) с приростом $2\pi/59$ на каждый шаг вплоть до $116\pi/59$ (200 л. н.), они задаются по выражению $\tau = 0,1065(60 - 0,01t)$, где t – даты по шкале абсолютного времени, годы; A_k и f_k – амплитуда и фаза гармоники k : $A_1 = 93,34$, $A_2 = 19,26$, $A_3 = 42,81$, $A_4 = 40,20$, $f_1 = -1,56$, $f_2 = 0,16$, $f_3 = -2,89$, $f_4 = 1,57$. Сопоставление фактических уровней временного ряда с расчетными для гармоники 4-го порядка показало, что по критерию Стьюдента на 1%-м уровне значимости разность несущественна, а теснота связи значений эмпирической и аппроксимирующей функций составила 0,88. Заметим, что использование модели (3) для описания длиннопериодических изменений вполне оправдано, так как классические методы наиболее структурно устойчивы в смысле спектральных оценок при определении существенных значений функции в условиях корреляционных сдвигов, изменяющихся от 0 до некоторого максимального значения.

Внутрирядная связь во временном ряду без каких-либо внешних факторов может обеспечить различные циклы. Учитывая сложность такого явления, как солнечная активность, и разнообразие характеристик, отражающих отдельные стороны его проявления, логично предположить, что выбор наиболее предпочтительных экзогенных показателей должен обуславливаться иерархическим уровнем анализируемых циклов. В этой связи отметим, что использование как внешнего фактора реконструированной в схеме Эдди многовековой периодичности солнечной активности по преимущественно косвенному признаку (предиктору) – удельной активности радиоуглерода C^{14} в подсистеме атмосфера-биосфера – имеет как свои достоинства (снимается неопределенность в выборе интегрального показателя уровня солнечной активности), так и недостатки (зависимость C^{14} от динамики геомагнитного поля и др.).

Низкочастотная компонента в изменении солнечной активности за последние 5000 лет может быть аппроксимирована моделью вида (3). При этом получены следующие значения амплитуд (A_k) и фаз (f_k) гармоник k : $A_1 = 6,35$, $A_2 = 6,10$, $A_3 = 0,98$, $A_4 = 4,29$; $f_1 = 1,57$, $f_2 = -0,93$, $f_3 = -1,67$, $f_4 = -1,86$. Временные отсчеты (τ) изменяются от 0 (5000 л. н.) с приростом $2\pi/49$ на каждый шаг вплоть до $96\pi/49$ (200 л. н.) и задаются по выражению $\tau = 0,128(50 - 0,01t)$, где t – даты по шкале абсолютного времени, годы.

Таким образом, периодический характер проявления почвообразовательного процесса делает целесообразным дополнение трендовой составляющей процесса формирования гумусового горизонта [4] моделью, описывающей низкочастотный спектр классическими методами спектрального оценивания, а также моделью, характеризующей высокочастотный спектр (параметрической моделью авто-регрессии-скользящего среднего) [3].

Исследованием временных рядов изменения мощности почв с помощью периодограммного метода, показывающего распределение дисперсии ряда между разными гармоническими компонентами, установлено существование двух основных периодов в низкочастотной области размерностью 1350–1450 и 600(700)–800 лет, а также 12 периодов продолжительностью от 100 до 500 лет: 446, 387, 341, 290, 252, 215, 187, 176, 153, 141, 121, 104 года. Хотя использование сверхвековых периодов развития геосферы пока не имеет практического применения для долговременных программ адаптивного природопользования, горизонт планирования которых не превышает 100 лет, но без них нельзя рассчитать фрактальную размерность ритмики природных процессов.

Список литературы

1. Веклич М.Ф. Проблемы палеоклиматологии. – Киев: Наук. думка, 1987. – 192 с.
2. Витинский Ю.И. Цикличность и прогнозы солнечной активности. – Л.: Наука, 1973. – 257 с.
3. Лисецкий Ф.Н. Модели управления почвенными ресурсами // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Информатика и прикладная математика. – 2006. – № 1(21), Вып. 2. – С. 41–49.
4. Лисецкий Ф.Н. Модель трендовой составляющей голоценового почвообразования // Доклады АН Украины. Математика, естествознание, технические науки. – 1994. – № 11. – С. 149–152.
5. Фейрбридж Р.У. Сходимость данных об изменениях климата и об эпохах оледенения // Солнечная активность и изменения климата. – Л.: Гидрометеоздат, 1966. – С. 270–315.
6. Шугрин С.М., Обут А.М. Солнечная активность и биосфера. – Новосибирск: Наука, 1986. – 128 с.
7. Eddy J.A. The case of the missing sunspots // Scientific American. – 1977. – Vol. 236, № 5. – P. 80–88.
8. Goleusov P., Lisetskii F. Soil development in anthropogenically disturbed forest-steppe landscapes // Eurasian Soil Science. – 2008. – Vol. 41, № 13. – P. 1480–1486.
9. Ivanov I.V., Lisetskii F. N. Ultracentennial periodicity of solar activity and soil formation // Biophysics. – 1995. – Vol. 40, № 4. – P. 903–908.
10. Lisetskii F.N. Soil catenas in archeological landscapes // Eurasian Soil Science. – 1999. – Vol. 32, № 10. – P. 1084–1093.
11. Shapir Y., Raychaudhuri S., Foster D., Jorne J. Scaling behavior of cyclical surface growth // Physical Review Growth. – 2000. – Vol. 84, № 14. – P. 3029–3032.