

© 1995 г. И.В. ИВАНОВ, Ф.Н. ЛИСЕЦКИЙ

СВЕРХВЕКОВАЯ ПЕРИОДИЧНОСТЬ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И
ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ

Проведено сопоставление периодичности изменения индекса почвообразования и солнечной активности за последние 5000 лет. Индекс почвообразования - (/) разность между мощностями гумусового горизонта в определенные хроноточки, деленная на разделяющее эти точки время, определен для интервалов по 100 лет, его величина колеблется от + 1,55 до -2,00 мм/год, он является равнодействующей между скоростью роста гумусового горизонта при почвообразовании и его уменьшении при денудации. Установлено, что максимумы значений / приурочены к минимумам солнечной активности и наоборот. Периоды ее минимумов и высоких значений / - благоприятные экологические условия в степной зоне. Полученные данные могут быть использованы для оценки ритмов развития биосферы.

Связь различных биосферных явлений с периодичностью солнечной активности выявлена и изучалась А.Л.Чижевским, М.С.Эйгенсоном и другими исследователями. Дж. Эдди [1] реконструировал ход солнечной активности за последние 5000 лет. В настоящее время в связи с появлением уникальных фактических данных об эволюции степных почв появилась возможность рассмотреть связь ритмов почвообразования с периодичностью солнечной активности.

Материалы о молодых вновь образованных и погребенных почвах, полученные авторами, и опубликованные данные позволили рассчитать величины скоростей изменения мощности гумусового горизонта (А,+В,) черноземов южных и темно-каштановых почв (суммарно) преимущественно для интервалов в 100 лет на протяжении последних пяти тысяч лет для территории Северного Причерноморья на юге Украины (Одесская, Херсонская, Николаевская, Днепропетровская области). Изучено свыше 1000 разрезов на территории 200 памятников античности, железного и бронзового веков, энеолита (поселения, курганы, валы). Использовано 137, преимущественно археологических, датировок почв. Погрешности датирования составляли для железного века в среднем ± 25 лет, для эпохи бронзы $\pm 50-100$ лет [2].

Весь фактический материал, использованный в данной работе, можно разделить на две группы. Первая - почвы, сформировавшиеся на культурных слоях и насыпях, время возникновения которых известно по археологическим данным. Это почвы с «плавающим» нульмоментом почвообразования, относящимся к IX в. до н.э. - VII в. н.э. Изучалась морфология этих новообразованных почв в серии широких разрезов и прикопок по площади. Изученные объекты располагались на водоразделах и межбалочных пространствах, террасах и очень пологих склонах (до 2°) в диапазоне абсолютных высот 7-48 м. Во всех случаях для наиболее полного соответствия условиям зонального почвообразовательного процесса ключевые участки почвенных исследований выбирали в пределах растительных ассоциаций с флористическим составом и проективным покрытием, близким коренным фитоценозам. Исследованиями охвачены археологические памятники основных регионов Южной и Сухой степи Северного Причерноморья: Подунавья (Орловка, Нижний Траянов вал), Приднестровья (Никоний, Надлиманское I и городище, Роксоланы VII), Кошары, Мыс, Побужья (Оливия, Козырка XII, Кателино I, Чертоватое I, IV, некрополь поселения Чертоватое II, Широкая

Балка I, Закисова Балка I, Дмитровка I, Куцубур I, Бейкуш и др.), Крыма (Калос Лимен, Гераклий, Мысовое II, Семеновка I, Зенонов Херсонес).

Ко второй группе относятся почвы, погребенные под курганами в интервале времени 5000-800 лет назад. Используются данные В.П. Золотуна [3] по Одесской, Николаевской областям и республике Крым Украины, наши материалы [4,5] по Днепропетровской области и другие литературные источники. Археологические памятники расположены на водоразделах и пологих склонах лессовых равнин, то есть в близких геоморфологических условиях, что облегчало их сопоставление [2].

При сопоставлении материалов о свойствах почв и мощностях их гумусовых горизонтов наблюдаются различия в абсолютных величинах из-за различной длительности почвообразования. Однако возраст почв, как правило, был более 1000 лет, гумусовый горизонт находился в квазиравновесном состоянии со средой и это позволило использовать скорость изменения мощности гумусового горизонта за 1 год в качестве показателя почвообразования.

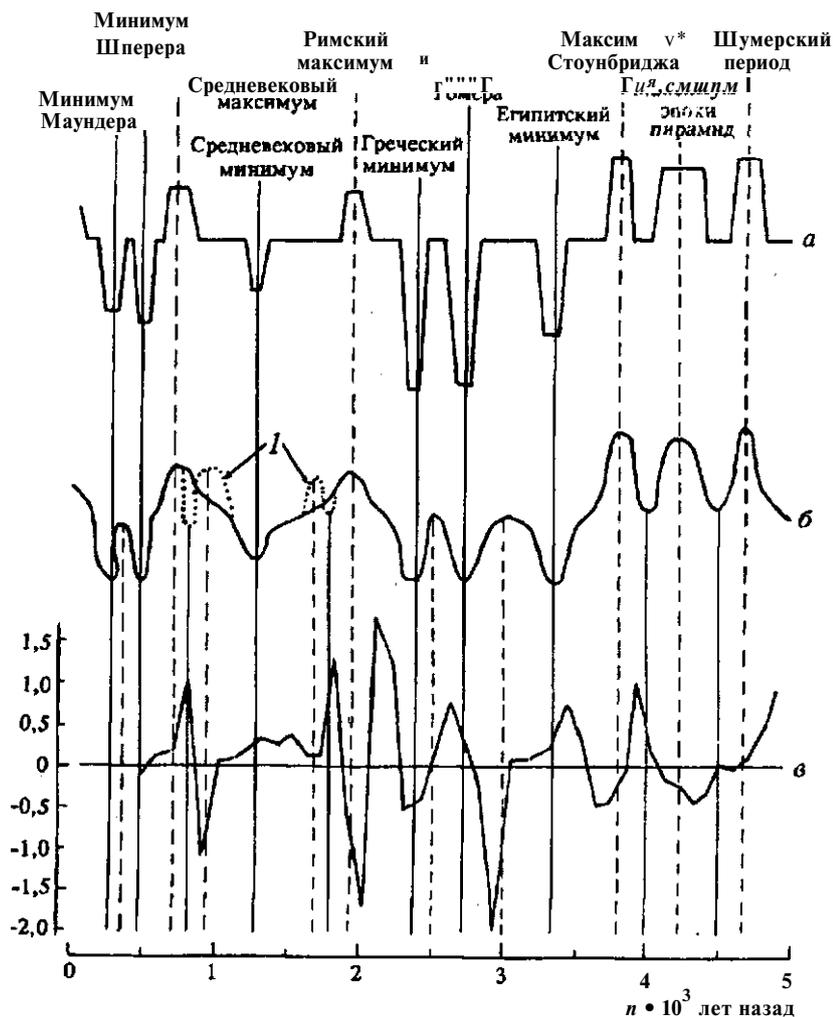
Скорость изменения мощности гумусового горизонта во времени - один из интегральных показателей почвообразования, отражающий его интенсивность в соотношении с денудацией. Назовем его «индексом почвообразования» и обозначим f . Тогда $f = m^2 - mji^2 - t$, где m , m^2 - мощность гумусового горизонта в хроноточках t^x и t^y . Величина $f > 0$ означает, что скорость увеличения мощности гумусового горизонта вследствие биологического круговорота органического вещества (поступление в почвы опада наземных и подземных органов растений и его гумификация); проникновения гумуса на глубину с растворами; в результате биотурбаций, производимых почвенной мезофауной; засыпания гумусового материала по трещинам - превышает скорость денудации, т.е. происходит рост почв вниз. Другими факторами увеличения мощности гумусового горизонта являются отложение на поверхности гумусированной золовой пыли, а также увеличение его объема вследствие оструктурирования, увеличения пористости, вызывающие рост почв вверх [6].

Величина $f < 0$ означает, что скорость денудации, эрозии, дефляции превышает скорость роста гумусового горизонта за счет перечисленных величин. При $f = 0$ процессы почвообразования и денудации уравновешены.

Для водноэрозионных и дефляционных процессов характерны активации и затухания. Разрушение почвенного профиля часто определяется процессами редкой повторяемости. При усредненных расчетах величина разрушения равномерно перераспределяется по интервалам времени [7]). Имеются многочисленные сведения о величинах усредненной нормальной эрозии. Так в США на хорошо закрепленных растительностью склонах (до 35°) при годовом количестве осадков от 500 до 1200 мм средневзвешенное значение (307 годов-опытов) нормальной эрозии составило 0,5 т/га в год (0,05 мм/год) [18].

В лесостепи Европейской России за последние 40 лет максимальные значения годового модуля стока взвешенных наносов превышали минимальные в 23-72 раза [9]. Для юго-запада Восточно-Европейской равнины за последние 150 лет отмечено три ритма морфогенеза [10], для семиаридных областей за последние 5000 лет - четыре периода активизации дефляции: 1000-850 л. до н.э., начало н.э. - 600 г. н.э., 1000-1200 л.н.э., 1400 л. н.э. - по настоящее время [11].

Для суждения о процессах денудации на территории исследованного региона могут быть привлечены данные Б.В. Шостаковича [12] о толщине годовых слоев ила в Сакском озере (Северный Крым, у г.Евпатория) за 4200 лет. Данные эти получили высокую оценку исследователей [13], использовались для реконструкций количества атмосферных осадков [11] и многовековой изменчивости стока Днепра [7]. При столетних усреднениях среднегодовые толщины слоев ила колеблются от 1 до 2,5 мм/год, периоды их изменений обнаруживают связи с колебаниями солнечной активности и изменениями величины f . Намечается обратная зависимость между мощностью среднегодовых слоев ила и величиной f . При $f = -2$ (преобладание денудации над почвообразованием) среднегодовая скорость накопления ила близка к 1,7 мм/год, при $f = 0$ (равновесие между



Современный график хода солнечной активности (по Эдди, 1978) и изменения индекса почвообразования за последние 5000 лет: *a* - солнечная активность (содержание ^{14}C); *б* - солнечная активность (огнивающая числа солнечных пятен); *г* - гипотетические изменения солнечной активности по почвенно-эволюционным и другим данным; *в* - значения индекса почвообразования (*J*) мм/год. Максимумы и минимумы солнечной активности обозначены вертикальными линиями - штриховой и сплошной соответственно

денудацией и почвообразованием) 1,3 мм/год. Экстраполяция линии связи за пределы области фактических данных позволяет сделать предположение, что при $J = 4$ (интенсивное почвообразование, сильная задернованность поверхности) денудация практически прекращается и толщина годового слоя ила становится исчезающе малой. Все это показывает, что отрицательные величины J , действительно обусловлены интенсивной денудацией, а анализ взаимозависимостей скоростей почвообразования и денудации на конкретных водосборах является перспективным направлением исследований.

Конкретные данные о ходе изменения величины J приведены на рисунке, *в*.

Для выяснения связей индекса почвообразования с астроклиматическими циклами использована схема реконструкции хода солнечной активности за последние 5000 лет Дж.Эдди [1] - рисунок, *а, б*. Она основана на информации

об изменении содержания ^{14}C в годовых кольцах стволов реликтовых сосен и о необычных атмосферных явлениях, содержащейся в летописях и других исторических письменных источниках.

Дж.Эдди отмечает, что «изменение на Солнце - доминирующий фактор климатических изменений, длящихся от 50 до нескольких сотен лет» [1, с.329]. Установлено, что в годы максимума солнечных пятен наблюдается примерно в 2,5 раза больше засух, чем в годы пониженной солнечной активности [14]. Замечено, что к наиболее дефляционно-опасным годам и периодам приурочено выпадение разрушительных ливней редкой повторяемости. Судя по схеме Эдди, длительность максимумов солнечной активности (150 - 250 лет) была вполне достаточной для отражения в морфологии почвенного профиля денудационного тренда развития почвенного покрова (табл.).

Корреляционный анализ дат экстремумов солнечной активности (максимумов и минимумов) с соответствующими датами экстремумов интенсивности почвообразования (минимумов и максимумов) (табл.) показал, что между этими событиями существует тесная связь (коэффициент корреляции составил: $r \pm t^{0J}$ $Sr - 0,99 \pm 0,10$ (0,89 - 1,00). Между минимальными и максимальными значениями индексов почвообразования и солнечной активности существует достоверная обратная связь (коэффициент взаимной сопряженности $A > 0,53$, $\chi^2 = 12,5$; $\chi^2 = 9,5$; $y_{\text{ж}} = 13,3$. Таким образом, впервые установлена обусловленность функционирования природной динамической системы «почвообразование - процессы денудации» астроклиматическими сверхвековыми циклами.

Хроноинтервал длительностью 1200 лет между Средневековым и Римским максимумами характеризовался повышенной напряженностью магнитного поля [15], наибольшими погрешностями радиоуглеродного метода и, следовательно, недостоверностями в схеме Эдди. Детерминированность почвообразования солнечной ритмикой позволяет использовать ее для следующей корректировки схемы Эдди (рис., *а, б, в*).

Средневековой максимум Эдди (750 л.н.) имел меньшую длительность. Второй средневековой максимум, предсказанный [16] для интервала VII—XI в.в., локализован нами IX в.н.э. Этот период известен климатическими аномалиями в Причерноморье, в частности полным замерзанием Черного моря в 762 г. [17]. Позднесарматский максимум, не отмеченный Эдди, был приурочен к максимуму напряженности магнитного поля [15] и периоду с невысокой интенсивностью почвообразования в конце III в.н.э. Два максимума, вероятно, были разделены первым средневековым минимумом солнечной активности, датируемым XI в. по максимальной величине индекса почвообразования.

Наконец, относительный максимум солнечной активности (Геродота) имел место и V в. до н.э. (невысокая интенсивность почвообразования; замерзание Черного моря от Херсонеса до Пантикапея по свидетельству Геродота [17]).

Анализ рисунка и таблицы позволяет отметить следующее.

1. Величина индекса почвообразования за последние 5000 лет испытывала периодические колебания размахом от + 1,55 до -2,00 мм/год с шагом от 100 до 500 лет.

2. Максимумы значений индекса почвообразования (7 из 9) приурочены к минимумам солнечной активности. Минимумы индекса почвообразования (6 из 7) приурочены к максимумам солнечной активности. Таким образом, существует обратная корреляционная связь между интенсивностью почвообразования и солнечной активностью. Периоды минимумов солнечной активности - эпохи с благоприятными экологическими условиями в степной зоне.

3. Наиболее существенное отклонение от данной зависимости отмечается для Греческого минимума солнечной активности (0 -0,5 мм/год). Совпадений максимальных значений индекса почвообразования с максимумом солнечной активности не наблюдается.

4. Максимальные отличия в мощностях гумусовых горизонтов почв соседних хроноинтервалов не превышают 5-10 см.

Периодичность солнечной активности и изменения индекса почвообразования (/) на юге Восточно-Европейской равнины за последние 5000 лет

Солнечная активность, название, дата (лет назад)	Индекс /: дата (лет назад), значение (\pm мм/год)		
	максимум	минимум	средний уровень
Максимумы	$n - 0$	$n - 6$	$n - 3$
⁺ (1-й) Средневековый, 750	-	-	750, + 0,20
(Позднесарматский), 1700	-	-	1700, + 0,20
Римский, 1970	-	2050, - 1,75	-
Стоунбриджа, 3770	-	3700, - 0,50	-
Эпохи пирамид, 4250	-	4300, - 0,50	-
Шумерский, 4720	-	-	4650, - 0,05
⁺⁺ (2-й средневековый), 1000	-	950, - 1,15	-
Геродота, 2550	-	2420, - 0,50	-
(Позднебронзовый), 2800-3200	-	2950, - 2,50	-
Минимумы	$n - 7$	$n - 1$	$n - 2$
⁺ Маундера, 300	-	-	-
Шперера, 500	-	-	500, - 0,15
(2-й) Средневековый, 1300	1350, + 0,25	-	-
Греческий, 2350	-	2150, - 0,50	-
Гомера, 2720	2650, + 0,80	-	-
Египетский, 3720	3450, + 0,70	-	-
^{**} (1Ч) средневековый), 850	850, + 1,00	-	-
(Позднесарматский), 1800	1800, + 1,30	-	-
(Среднебронзовый), 3920	3950, + 1,00	-	-
(Раннебронзовый), 4500	-	-	4500, + 0,00
(Позднеатлантический), 5000	4900, + 1,00	-	-
Средний уровень	$n - 2$	$n - 0$	$n - 1$
1100 - 1350	-	-	1100 - 1350,
			+0,10 - + 0,30
2200	2200, + 1,55	-	-
3500	3500, + 0,50	-	-

Примечание. N - 22, n - число соотношений.
⁺ Максимумы и минимумы - значения выше и ниже среднего" уровня (для J; > и < 0,20; среднее \pm 0,20 мм/год).
⁺⁺ Максимумы и минимумы относительные - значения среднего уровня, заключенные между соседними максимумами или минимумами. Названия без скобок даны Дж.Эдди [1], в скобках - авторами.

5. Короткие интервалы времени, на протяжении которых происходили смены знака индекса почвообразования с положительных на отрицательные, могут характеризовать эпохи экологических кризисов. Интервалы времени со сменой знака индекса почвообразования от отрицательного к положительному и увеличением интенсивности почвообразования характеризуют улучшение экологических условий в степной зоне.

6. Как и кривая периодичности солнечной активности, составленная Дж.Эдди, кривая, периодичности изменения индекса почвообразования может использоваться для выяснения ритмов развития природы за последние 5000 лет, для прогнозирования природных ритмов и при разработке мероприятий по адаптации к ним хозяйственной деятельности человека. Выявленная закономерность еще раз подтверждает положение о том, что почва является зеркалом ландшафта и его истории [18].

Настоящая работа выполнена при поддержке Фонда Джона Д. и Катрин Т. Макартуров и Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16474 а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эдди Дж. // Успехи физических наук. 1978. Т.125, вып.2. С.315.
2. Иванов И.В., Александровский А.Л. // Методы изучения эволюции и возраста почв. Препринт. Пушкино, 1984. 54 с.
3. Золотун В.П. // Тр. Кишиневского СХИ, 1976. Т.174. С.10.
4. Иванов И.В. Эволюция почв степной зоны в голоцене. М.: Наука, 1992. 144 с.
5. Лисецкий Ф.Н. // Агрохимия и почвоведение. Харьков, 1990. Вып. 53. С.3.
6. Приходько В.Е., Иванов И.В. // Почвоведение. 1982. № 2. С.124.
7. Швец Г.И. Многовековая изменчивость стока Днепра. Л.:Гидрометеиздат, 1978. 83 с.
8. Smith R.M., Stacey W.L. // Soil science. 1965. V.100, № 6. P.414.
9. Дедков А.М., Можжеран В.И., Сафина Г.Г. // Эрозиоведение: теория, эксперимент, практика. М.: Изд-во МГУ, 1991. С.52.
10. Прока В.Е. Будущее природы агропромышленного района. Кишинев: Штиинца, 1983. 237 с.
11. Раунер Ю.А. // Изв. АН СССР. Сер.геогр. 1981. № 6. С.5.
12. Шостакович Б.В. // Записки ГГИ. 1934. Т. 13. С.95.
13. Брукс К. Климаты прошлого. М.: Изд-во ИЛ, 1952. 357 с.
14. Кальянов К.С. Динамика процессов ветровой эрозии почв. М.: Наука, 1976. 155 с.
15. Бурацкая СИ // Изв. АН СССР. Сер.геогр. 1989. № 3. С.96.
16. Шугрин С.М., Обут А.М. Солнечная активность и биосфера. Новосибирск: Наука, 1986. 128 с.
17. Мозиланский Н.К. // География Одесской губернии. Одесса: Изд-е Одес. губер. статис. бюро, 1921. С.26.
18. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функция почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М.: Наука, 1990. 261 с.

Институт почвоведения и фотосинтеза РАН, Пушкино
(Московская область);
Одесский государственный университет, Украина

Поступила в редакцию
16.06.1994

MANYCENTURY PERIODICITY OF SOLAR ACTIVITY AND SOIL FORMATION

I.V. IVANOV, F.N. LISETSKII

*Institute of Soil Science and Photosynthesis Russian Acad.Sci., Pushchino (Moscow region);
Odessa State University, Ukraine*

A correlation was made between the frequency of changes of soil formation index and solar activity for the last 5000 years. Soil formation index (SFI) represents the difference between the magnitudes of humus horizon in the present time points which was divided by these time points. The soil formation index was determined for the intervals of 100 years, the value of which is within the range of +1,55 up to -2,00 mm/year. It is a resultant between the rate of humus horizon growth during soil formation and its decrease in denudation. It has been established that maxima of SFI values were timed to coincide with minima of solar activity and vice versa. The periods of minima and high values of SFI are favourable ecological conditions in steppe zone. The date obtained can be used to assess the rhythms of biosphere development.