

Copyright © 2016 by Academic Publishing House *Researcher*



Published in the Russian Federation  
International Journal of Environmental Problems  
Has been issued since 2015.

ISSN: 2410-9339

E-ISSN: 2413-7561

Vol. 4, Is. 2, pp. 131-148, 2016

DOI: 10.13187/ijep.2016.4.131

[www.ejournal33.com](http://www.ejournal33.com)



UDC 631.484: 631.487

### **Reconstruction of Paleoclimatic Conditions of the Second Half of the Holocene on the Results of the Study of Buried and Floodplain Soils in the South of the East European Plain**

Fedor N. Lisetskii <sup>a, \*</sup>, Alexander V. Matsibora <sup>b</sup>, Vitaliy I. Pichura <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Belgorod State National Research University, Russian Federation

<sup>b</sup> Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

<sup>c</sup> Kherson State Agricultural University, Ukraine

#### **Abstract**

The purpose of the study was the reconstruction of palaeoclimatic conditions of the second half of the Holocene on the results of the study of floodplain soils and qualitative composition of humus in the chronological series of buried soils in the south of the East European Plain. Database palaeogeographic studies in the steppe of East European plain zone were created. On its basis the analysis of chronological series, which were compiled by the archaeological and radiocarbon dating of automorphic and floodplain soils. It was established 10 stages of formation Subboreal floodplain soils in the territory of Bug, which are mainly related periods of aridity and reducing the intensity of the processes of accumulation of alluvium, while subatlantic Holocene was characterized by a decrease in temperature and increase in humidity. The connection between climate change and soil types in Subboreal and subatlantic Holocene was analyzed. According to the results of comprehensive research palaeopedological three main lines of evolution of soils over the past 5000 years have been found. Spatial and temporal variations of the Holocene soil types due to the dynamics of hydrothermal climate indicators, which led to the displacement of natural areas to the north in subboreal and south — in Sub-Atlantic. In the south the East European Plain in automorphic soil conditions climatically favorable conditions identified during periods of 7-5 thousand. Liters. n. and 2200–1300 liters. n. The most notable aridity in the Late pedogenesis stories emerged in the V century. BC. e. The mathematical relationship between the indicators such as the value of total annual energy costs on soil formation, climate assessment of intra-building (through the duration of the biological activity of the period) and production plants have been developed. This helps to explain the zonal features of display of soil-forming process and, in particular, the formation of qualitative composition of humus (the ratio humic and fulvic acids). Applying established spatial differences of soil and climate on the interim status, climatically conditioned stages of pedogenesis in the Holocene history of automorphic soils were identified. Conducted a comprehensive study palaeopedological Holocene pedogenesis soil formations different stages within the autonomous position of the relief and in river valleys allows us to solve

---

\* Corresponding author

E-mail addresses: [liset@bsu.edu.ru](mailto:liset@bsu.edu.ru) (F.N. Lisetskii), [rmcf@ukr.net](mailto:rmcf@ukr.net) (A.V. Matsibora), [pichura@yandex.ru](mailto:pichura@yandex.ru) (V.I. Pichura)

a number of fundamental problems of soil development history, to determine the direction of their evolutionary development, to establish the general trends of soil properties changes in space-time aspect. The results of the study at different times of soil can be used to build predictive models of soil development trends in the context of climate change on the basis of knowledge about the past, for the reconstruction of the living conditions of ancient man, as well as to determine the extent of anthropogenic load on soil.

**Keywords:** buried soils, floodplain soils, pedogenesis, group composition of humus, palaeoenvironmental changes, Late Holocene.

## 1. Введение

Одним из информативных природных архивов, который может помочь исследователю выявить хроноорганизацию природных процессов на протяжении голоцена, являются профили погребенных почв и их хроноряды. Перспективность исследований, раскрывающих процесс становления голоценовых почв, объясняется тем, что они являются основой стратиграфии разрезов и отражают цикличность палеоклиматических колебаний. Это позволяет устанавливать палеоландшафтные условия, уточнять эволюцию природных процессов и совершенствовать подходы к объяснению актуального состояния ландшафтов. Погребенные почвы могут выступать маркером для установления степени антропогенного воздействия на почвы, что в дальнейшем может послужить основой для разработки почвоохранных мероприятий (Goleusov, Lisetskii, 2008; Веклич, 1987).

После первых работ и сводок по скорости почвообразования, которые были основаны преимущественно на историческом методе и накопления результатов определения удельной активности  $^{14}\text{C}$  в почвенном гумусе, за последние четыре десятилетия оформился новый этап исследований. Его особенность обусловлена стремительным ростом количества данных за счет активного использования почвенно-археологического метода датирования и изучения эволюции почв (Lisetskii, Stolba et al, 2016). Причем типизация археологических памятников по индикаторам палеогеографических реконструкций свидетельствует о высокой информационной емкости любого памятника археологии, включая памятники, не имеющие земляных насыпей и погребенных под ними почв (Чендев, 2013). Однако следует заметить, что, начиная с 60-х гг. XX в. (Крупеников, 1960) и в современной геоархеологии сохраняется преимущественный интерес к исследованию погребенных почв (Demkin, 1999; Alexandrovskiy, 2004; Dreibrodt, 2009; Mitusov, Mitusova, 2009; Приходько, Иванов и др., 2014), включая корпус работ, которые направлены на поиск способов реконструкции климатических условий по погребенным почвам (Иванов, Александровский, 2015; Ivanov, Lisetskii, 1996; Chendev, Ivanov et al, 2010; Chendev, Ivanov et al, 2010). Эти педохроноряды могут быть дополнены хронорядами, составленных из разновозрастных дневных почв, сформированных на датированных исторических и археологических объектах различных типов. Развертка голоценовой эволюции почв по отдельным хроностадиям неизбежно ставит вопрос об их климатическом подобии. Природа климатической изменчивости обусловлена многими существенными факторами (космические, геологические (в том числе, плутонические, теллурические, нептунические), биологические и др.), а пока в климатических моделях основу составляет белый шум прошлого (Kalinichenko, 2015). Системное использование ГИС-технологий и многослойных нейросетей обеспечивают возможность с высокой достоверностью проводить реконструкцию, визуализацию и прогнозирование нелинейных закономерностей пространственно-временной изменчивости почвенных характеристик (Pichura, 2013; Пичура, 2012).

Корреляционный анализ дат экстремумов солнечной активности (максимумов и минимумов (Eddy, 1977)) с соответствующими датами экстремумов интенсивности почвообразования (минимумов и максимумов) показал, что между этими событиями существует тесная связь (Иванов, Лисецкий, 1995). Таким образом, может быть высказана гипотеза об обусловленности функционирования природной динамической системы почвообразование – денудация астроклиматическими многовековыми циклами. Однако пока преждевременно говорить о механизме воздействия активного солнечного (прежде всего, корпускулярного) излучения на биосферные процессы. Поэтому корреляционная связь процессов почвообразования - денудации с ритмичкой солнечной активности,

естественно опосредствованная через трансформирующее влияние атмосферы и биоты, не может однозначно считаться рекурсивной (причинно-следственной) связью.

Помимо изучения морфологического строения почв в хроносерилах большой прогресс достигнут в исследовании их физико-химических и биологических свойств. В разновозрастных подкурганых погребенных почвах происходит трансформация органо-минерального комплекса в результате диагенетических изменений, функционально связанных со временем погребения, однако даже по микробной биомассе, как показано в (Каширская, Хомутова, 2016), могут быть реконструированы климатические особенности природных обстановок прошлого. Палеогеографическая диагностика состояния природной среды по результатам изучения гумусовых горизонтов погребенных под курганами палеопочв, в частности по соотношению в гуминовых кислотах элементов в координатах Н:С – О:С, показала возможности определения зональных условий педогенеза в прошлом (Дергачева, Некрасова, 2012). Установлены корреляционные связи состава и соотношения элементов и структурных компонентов в гуминовых кислотах (ГК) с климатическими показателями условий их формирования: в частности с периодом биологической активности (ПБА) высокие отрицательные коэффициенты корреляции определены с Н:С, Н ат. (Дергачева, 2006). Таким образом, по соотношению элементов в гуминовых кислотах, которые сохраняются во времени, можно определить ландшафтные условия разных периодов палеогеографической истории и произвести количественную оценку климатических показателей (Дергачева, Некрасова, 2012).

У любых типов почв формирование основной части гумуса в нижних горизонтах профиля (В<sub>2</sub>, ВСа, ВСИ даже на глубине более 10–15 см большая часть органического вещества представлена уже не современными, а древними формами гумуса. Таким образом, значительные различия в типах гумуса на глубине более 10–15 см свидетельствует об особенностях гумификации растительного вещества в предыдущие эпохи (Мартынова, 2011). Для представления о различиях возраста гумуса по профилю приведем данные по радиоуглеродному некалиброванному возрасту ГК для черноземов лесостепи (заповедный участок «Ямская степь»): верхний (0–20 см) гумусово-аккумулятивный хроногоризонт имеет датировку 850±70 лет, а для 20–40 см определена дата 2710±70 лет, характеризующая это слой как хроноинтервал голоцена SA-3 – «малый ледниковый период» с похолоданием и повышенным увлажнением климата (Русаков, 2012).

Важно отметить, что илистая фракция почв (<2 мкм) наиболее информативна для климатических реконструкций на основании изменений захороненного органического вещества, представленного в виде стабилизированного пула гумуса в виде органо-глинистых комплексов, а также трансформации минералогии глин погребенных почв (Алексеев, Алексеева и др., 2014).

Изучение погребенных почв и палеопочв, переход от качественных сравнений в хронорядах к их математической аппроксимации, позволяет получить климатофункции изменения условий педогенеза на протяжении голоцена (Alekseeva, Alekseev et al, 2007). Однако пока отсутствует значительный и поддающийся моделированию объем информации о погребенных почвах, а в некоторых случаях она может быть неточной и интерпретироваться только для предположений относительно физико-географических условий прошлого (Gerasimenko, 1997; Alexandrovskii, 2011).

Изменение природных условий в голоцене происходило дифференцированно, в зависимости от региональных климатических особенностей. Поэтому, чаще всего, климатические изменения за последние 10 300 лет рассматриваются в региональном аспекте, хотя существуют исследования обобщающего характера с целью установления общих, в том числе трансзональных, закономерностей. Впервые (Ivanov, Lisetskiy, 1996) была установлена обусловленность функционирования природной динамической системы «почвообразование – денудация» астроклиматическими многовековыми циклами. Характеристика голоцена и отдельных его этапов, как правило, осуществляется путем его разделения на более мелкие хронологические фазы, которые отражают внутривековую ритмику климатических изменений (Лисецкий, Голусов, 2013; Barber, Zolitschka, 2004).

Палеогеографический принцип исследования почв, как современных, так и предыдущих геологических эпох, заключается в исследовании любого явления или

компонента древней природы как взаимосвязанного элемента ландшафтной оболочки. Таким образом, палеопедосфера и древние почвенные образования изучаются не только как производные от физико-географических условий прошлого, но и как результат взаимодействия почвообразующих факторов того времени (Dmytruk, Matviyishyna, 2014). Концепция педотрансферных функций (pedotransfer functions) (Bouma, 1989), позволяющая восстанавливать основные гидрофизические функции почв (Shein, Mady et al, 2015), может рассматриваться расширительно по отношению к таким элементарным почвенным процессам, как оглеение, метаморфизм минерального и органического веществ почвы, их миграции, которые в значительной степени имеют климатическую обусловленность.

Цель исследования состояла в реконструкции палеоклиматических условий второй половины голоцена по результатам изучения пойменных почв и качественного состава гумуса в хронорядках погребенных почв на юге Восточно-Европейской равнины.

## 2. Материалы и методы исследования

Почвенно-климатические взаимодействия отличаются особой рефлекторностью в педозкотонах, один из которых сформирован в переходной полосе от лесостепи к степи (Лисецкий, Голусов, 2013). Поэтому особенности развития голоценовых почв мы изучали на юге Восточно-Европейской равнины (Одесская, Николаевская, Белгородская области, Республика Крым), включая обширный исследовательский полигон в бассейне реки Южный Буг, где проведено изучение различных стадий педогенеза голоценовых почв на 16 и 15 ключевых участках для автоморфных и пойменных условий соответственно.

В исследовании голоценовых почв (автоморфных и пойменных) в Побужье применяли комплексный палеопедологический метод, в состав которого входило морфологическое изучение почвенного профиля, лабораторные физико-химические анализы.

Эффективности применения морфологического метода способствует то обстоятельство, что почва как иерархическая природная система имеет в своем составе морфологические элементы разного уровня. К составляющим данной системы следует отнести образования внутри почвенного профиля, которые имеют четкие или диффузные границы, а также отличаются специфическими свойствами (Scharpenseel Schiffmann, 1977).

Общий углерод в почвенных образцах погребенных почв из археологических комплексов определяли по Тюрину, групповой и фракционный состав гумуса методом Пономаревой-Плотниковой (Пономарева, Плотникова, 1968). Для результатов, полученных в ходе геоархеологических исследований, погрешности археологических датировок времени окончания жизнедеятельности составляют 25–50 лет для культур железного века, а различия в этапах культур поздней бронзы оцениваются в 100 лет.

Определения органического углерода в естественных и декарбонизированных образцах пойменных почв проводили с помощью экспресс-анализатора углерода АН-7529. В стратиграфических колонках возраст исследуемых почвенных образований определяли с помощью некалиброванных результатов радиоуглеродного датирования ( $^{14}\text{C}$ ). Измерение возраста объекта радиоуглеродным методом возможно только тогда, когда образец не был загрязнен углеродными материалами более позднего или более раннего происхождения (Ivanov Khokhlova, 2008).

Учитывая наличие значительного количества параметров, по которым голоценовые почвы могут быть охарактеризованы, возможность их распределения в пространственно-временном аспекте, была создана пространственная база данных эмпирических исследований. Она играет роль не только хранилища палеогеографической информации, но и позволяет эффективно осуществлять поиск необходимых данных. Для создания пространственной базы данных применяли кросс-платформенную QGIS.

## 3. Результаты и их обсуждение

### Результаты палеопедологических исследований в речной долине

На территории Побужья выявлены 10 этапов формирования суббореальных пойменных почв, которые соответствуют периодам аридизации, снижения интенсивности процессов накопления аллювия (Табл. 1). Почвенные образования в суббореале (SB, 5000–2700 лет назад) формировались под влиянием природных условий, которые характеризовались, в общих чертах, относительной аридностью и заметной



континентальностью с возрастанием сезонной контрастности климатических показателей и обуславливали смещение почвенных ареалов в северном направлении.

В соответствии с хронологическим расчленением голоцена (Веклич, 1987) обозначенные этапы педогенеза принадлежат микроклиматохронам I –  $hl_{b2-1}$ ,  $hl_{b2-3}$ ,  $hl_{b2-4}$ ,  $hl_{b2-5}$ . Почвы  $hl_{b2-1}$  с возрастом  $4740 \pm 100$  BP представлены аллювиальными луговыми глеевыми, формирование которых происходило в условиях начала периода аридизации и снижения температурных показателей. Начало микроклиматохрона  $hl_{b2-3}$  ( $4150 \pm 80$  BP) произошло усиление аридизации климата и отмечен температурный максимум суббореального периода из-за чего в центре пойм сформировались аллювиальные дерновые типичные почвы. Холодный микроклиматохрон  $hl_{b2-4}$  совпадает с максимумом аридизации суббореального периода при одновременном снижении температур. Данный хроноинтервал представлен темно-каштановыми зональными почвами (в пределах ареалов современных черноземов обыкновенных) и двумя разновозрастными пойменными почвенными образованиями – аллювиальными дерновыми карбонатными почвами ( $3890 \pm 60$  BP) и аллювиальными дерновыми типичными ( $3860 \pm 90$  BP).

Дифференциация почв середины суббореала на уровне типов и родов является свидетельством кратковременных (100–150 лет) колебаний показателей температурного режима и гумидности на фоне общей тенденции к аридизации. Завершение суббореального периода ( $hl_{b2-5}$ ) характеризовалось общим трендом снижения уровня аридизации и повышения частоты чередований аридных и гумидных этапов. В результате, на поймах начали активно развиваться почвы, формирование которых характерно для более гумидных условий, чем в предыдущие микроклиматохроны: аллювиальные луговые типичные ( $3360 \pm 110$  BP,  $3210 \pm 110$  BP,  $2830 \pm 80$  BP). Этапам временной аридизации в  $hl_{b2-5}$  отвечали аллювиальные дерновые типичные почвы ( $3110 \pm 70$  BP,  $2870 \pm 70$  BP).

Субатлантический период голоцена (SA, 2700 – наше время) характеризовался снижением температуры и повышением влажности. Несмотря на указанный общий тренд, в это время имели место существенные колебания гидротермических показателей, как во временном, так и пространственном аспектах.

Начало субатлантического периода ( $hl_{b2-6}$ ) ознаменовалось снижением температурных показателей и гумидизацией, которая проявилась в распространении на поймах аллювиальных лугово-болотных почв ( $2470 \pm 60$  BP) и аллювиальных луговых типичных почв ( $2420 \pm 70$  BP). Фаза кратковременной аридизации микроклиматохрона  $hl_{b2-6}$  маркируется датой  $2310 \pm 60$  BP, в это время развивались аллювиальные дерновые почвы. Дальнейшее повышение гумидности климата произошло в начале микроклиматохрона  $hl_{c1-1}$ , когда на поймах формировались аллювиальные болотные почвы ( $2040 \pm 70$  BP). Максимум аридизации субатлантического периода в сочетании с общим потеплением климата приходится на  $hl_{c1-1}$  и представлен двумя этапами пойменного почвообразования, в ходе которых развивались аллювиальные дерновые типичные ( $1850 \pm 60$  BP) и аллювиальные дерновые слоистые ( $1730 \pm 60$  BP) почвы. Завершение  $hl_{c1-1}$  ознаменовалось наиболее высокой для субатлантического периода гумидизацией, на фоне снижения среднегодовых температур. В это время на поймах стали развиваться аллювиальные почвенные образования, представленные слоистыми ( $1720 \pm 60$  BP) и примитивными ( $1640 \pm 60$  BP) почвами. В конце микроклиматохрона  $hl_{c1-3}$  формировались аллювиальные дерновые почвы, что является свидетельством аридизации климатических показателей на фоне незначительного похолодания  $700 \pm 60$  BP.

Почвенный покров современности, сформированный за последние 100–150 лет, отображает стадию педогенеза, которая находится под влиянием не только кратковременных колебательных изменений климатических показателей, но и антропогенного давления. Почвенные образования данного времени представлены аллювиальными дерновыми карбонатными, луговыми типичными слоистыми и луговыми типичными примитивными почвами. Среди преимущественных элементарных почвенных процессов стоит выделить: карбонатизацию, гумусообразование и активную биотурбацию.

### **Количественная оценка климатической обусловленности почвообразования**

Многие комплексные (но линейные) климатические показатели, а тем более простые

характеристики тепло- и влаго- обеспеченности ландшафтных зон, плохо отражают связь гидротермических факторов с морфологическими особенностями и свойствами зональных почв. Этот недостаток преодолевается при использовании биоэнергетического подхода (Волобуев, 1953) и, в частности, годовой величины затрат радиационной энергии на почвообразование –  $Q$ , которую В.Р. Волобуев предложил рассчитывать по формуле

$$Q = R \cdot e^{(-18,8 \frac{R^{0,73}}{P})}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиационный баланс,  $\text{ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{год})$ ;  $P$  – годовая сумма осадков,  $\text{мм}$ ;  $Q$  – выражается в  $\text{ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{год})$ .

Для расчета энергетических затрат на почвообразование ( $Q$ ) в точке пространства (для метеорологической станции) можно использовать результаты многолетних наблюдений по метеорологическим станциям таких параметров, как годовая сумма атмосферных осадков и величина радиационного баланса (или ее расчетная величина по данным о температурах). После введения в формулу (1) множителей для перевода значений радиационного баланса в международную систему единиц измерения (переход от ккал к Дж) формула для расчета величины  $Q$ , выраженной в  $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , была преобразована нами к виду:

$$Q = R \cdot e^{(-1,23 \frac{R^{0,73}}{P})}, \quad (2)$$

где  $R$  – радиационный баланс,  $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ,  $P$  – годовое количество осадков,  $\text{мм}$ .

С использованием зависимости (1) удалось создать (Волобуев, 1959) биоэнергетическую систему общностей (парагенетических семейств почв и растительности), которая в генерализованном виде выражает закономерную смену зональных ландшафтов на земной поверхности. Так, в пределах отдельных частей Восточно-Европейской равнины широтная зональность обусловлена действием различных преобладающих факторов дифференциации: в северной части (таежно-лесная область), где осадки превышают величину испаряемости, это термический фактор; в южной (с семигумидным и семиаридным климатом) – фактор увлажнения. Однако, как показал анализ, расчетная (по формулам 1 и 2) величина затрат радиационной энергии на почвообразование ( $Q$ ) вполне отражает эти различия, так как равные (в относительном выражении) изменения радиационного баланса в северной части и количества осадков в южной части приводят к сходным изменениям величины  $Q$ . Указанные преимущества важны для отражения не только широтной зональности, но и градиента континентальности, то есть провинциальных различий климата, обусловленных циркуляционными процессами.

Исследование закономерностей изменения запасов гумуса в связи с климатом по гидротермической системе В. Р. Волобуева с индексом  $H_f$ , характеризующим изменение увлажнения при различных отношениях осадков и средней годовой температуры, показало, что наиболее богаты гумусом почвы, расположенные в климатических условиях со значениями  $H_f$  от 105 до 115 (почвы черноземного гидроряда и ряда, переходного к лесостепному), а, если величины  $H_f$  ниже и выше указанных значений, то запасы гумуса резко снижаются (Алиев, 1966).

Климатическая обусловленность ритмики почвообразовательного процесса может быть установлена с помощью различных диагностических показателей, но особая роль в реконструкции биоклиматических условий прошлого принадлежит групповому составу гумуса (Бирюкова, 1978; Бирюкова, Орлов, 1980). Причем, учитывая меньшую устойчивость фульвокислот в процессе погребения почвы, более достоверное представление о гумусном состоянии почвы прошлого обеспечивает анализ степени гумификации органического вещества, т. е. оценка доли гуминовых кислот в общем количестве углерода.

Ранее (Морозов, 1993) установлено, что глубина гумификации, которая выражена через  $\text{Сгк}:\text{Сфк}$ , для гумусовых горизонтов автоморфных почв в регионах с умеренным климатом положительно коррелирует с периодом биологической активности (ПБА) и была предложена эмпирическая формула для описания зависимости  $\text{Сгк}:\text{Сфк}$  от ПБА. Кроме того, предложено уравнение зависимости запасов  $\text{Сорг}$  (в т/га) в слое 0–100 см от ПБА для главных типов почв (Орлов, Бирюкова и др., 1997). Так как между параметром ПБА и

ежегодными затратами энергии на почвообразование (Lisetskii, 1999) ( $Q$ , МДж/(м<sup>2</sup>·год)) – устанавливается определенная зависимость, то закономерности, которые выявлены по связи Сгк:Сфк от ПБА могут быть использованы для объяснений различий типа гумуса при изменении климата (через  $Q$  и, соответственно, ПБА). Показано (Lisetskii, Chepelev, 2014), что параметром  $Q$  контролируется потенциал почвообразовательного процесса, что позволяет моделировать почвенно-климатические отношения.

Как было показано ранее (Зубов, 1978), продуктивность растительных сообществ имеет тесную связь с затратами тепла на испарение в течение вегетационного периода и долей радиационного баланса вегетационного периода, идущей на испарение. В итоге, С. М. Зубов (Зубов, 1978) получил зависимость:

$$\Pi = 0,42 L E_v^2 / V_v, \quad (3)$$

где  $\Pi$  – средняя годовичная продукция растительности, *т/га в год*;  $L$  – скрытая теплота испарения;  $E_v$  – испарение вегетационного периода, *г/см<sup>2</sup>*;  $V_v$  – радиационный баланс вегетационного периода, *ккал/см<sup>2</sup>*.

Общегодовая величина энергетических затрат на почвообразование ( $Q$ ), внутригодичная оценка климатического потенциала (через величину ПБА), расчетная величина продукции растительности, во многом определяют зональные особенности проявления почвообразовательного процесса, которые могут быть выявлены по качественному составу гумуса (соотношению в нем гуминовых и фульвокислот). Это определяет перспективность поиска надежных зависимостей между указанными показателями (рисунок). Исходными данными для моделирования послужили почвенно-зональные характеристики ПБА и Сгк:Сфк по (Орлов, Бирюкова, 1984; Орлов, Бирюкова и др., 1997), величины годичной продукции растительности ( $\Pi$ ) по (Зубов, 1978) и выполненные нами расчеты  $Q$  для соответствующих почв.

В пределах черноземной зоны современные различия климата по почвенным подзонам (с севера на юг) меняются в диапазонах величин: по  $Q$  от 800 до 1026 МДж/(м<sup>2</sup>·год), по ПБА от 119 до 155 дней. Если величина  $Q$  определяет среднегодовой энергетический потенциал педогенеза, то по величине ПБА можно судить о продолжительности периода, когда среднесуточная температура воздуха устойчиво превышает 10 °С, а запас продуктивной влаги в почве составляет не менее 1-2% (Морозов, 1993), т.е. о длительности периода вегетации, наиболее эффективном для формирования растительного вещества. Так как возникает необходимость при оценках климатической обусловленности педогенеза пользоваться обоими показателями, целесообразно установить их взаимосвязь:

$$f(\text{ПБА}) = 1135 \cdot 10^{-1144/Q} + 70; r = 0.85 \quad (4)$$

Используя данные по зональному распределению климатических параметров на территории Восточно-Европейской равнины, представленные в работе (Морозов, 1993), нами получены зависимости ПБА от Сгк:Сфк, а также  $Q$  от Сгк:Сфк:

$$f(\text{ПБА}) = 192,685 - \frac{1}{0,0149(C_{гк} / C_{фк})}, \quad (5)$$

и

$$f(Q) = 1256,421 - \frac{1}{0,002414(C_{гк} / C_{фк})}, \quad (6)$$

где  $C_{гк}$  и  $C_{фк}$  – содержание гуминовых и фульвокислот (%) соответственно.

Особенности группового состава гумуса, обусловленные различиями генезиса почв, в том числе и климатически обусловленными, сохраняются в погребенных почвах достаточно долго. Так, если современная (фоновая) серая лесостепная почва (0-20 см) характеризуется соотношением Сгк/Сфк=1,26 (при доле Сгк 34,3 %), то у почвы черноземного облика, погребенной в этом же месте 2450±40 лет и претерпевшей длительный диагенез, Сгк/Сфк было 1,84 (при доле Сгк около 50%) (Чендев, 2016).

Установленные закономерные сопряжения почвенно-климатических параметров (рисунок) и использование гипотезы эргодичности позволяют проводить замену достаточно

дифференцированных оценок в пространстве оценками во времени, которые более дискретны и менее доступны.

Изучение особенностей автоморфного почвообразования в прошлом и настоящем показало, что, если для современных полнопрофильных почв голоцена диапазон различий отношения Сгк:Сфк колеблется от 0,91 до 1,80, то для хронорядов погребенных почв (в диапазоне возрастов от 2 до 70 веков) из-за климатической разнородности голоценовой истории отмечен более широкий размах средних величин:  $1,81 \pm 0,89$  ( $0,92 \div 2,70$ ) (см. табл. 2).

Климатически благоприятные условия для педогенеза (по расчетным величинам ПБА и Q (формулы 5 и 6)) на юге Восточно-Европейской равнины зарегистрированы 1300-2200 л. н., но особенно в период 5-7 тыс. л.н. (АТ2 и АТ3). Судя по данным о составе гумуса в погребенных почвах, в зоне сухой степи (темно-каштановые почвы) в период от 2540 до 2100 лет назад происходит резкое уменьшение величин Сгк/Сфк (от 2,9 до 0,4), что связано с уменьшением биопродуктивности степей и их иссушением. Однако при этом следует учитывать как инерционность почвенной системы, так и относительную консервативность её отклика на климатические изменения, опосредованные через смену растительности и почвенный климат. Климатическая аридизация сказалась на резком ухудшении качества почв (в среднем энергетический потенциал педогенеза (по Q) был в 2,46 раз ниже по сравнению с современностью). Произошедшее изменение климата в V в. до н.э. подтверждают и другие источники: с последней трети V в. до н.э. в течение ста лет влажный климат на юге Европы сменяется на засушливый и в этот промежуточный ксеротермический период отмечены два коротких интервала засушливости (Бараш, 1989), в Причерноморье в период 460-400 гг. до н.э. сократился (по сравнению с нормой) речной сток (Lisetskii, Pichura, 2016), а с максимумом солнечной активности (пик – 2500 л.н.) был связан минимум почвообразования степных почв 2420 л.н. (Иванов, Лисецкий, 1995). Примечательно, что со второй – третьей четверти V в. до н.э. в Северном Причерноморье (сельская округа античного полиса Ольвия) прекращает существование большинство аграрных поселений, а финальный этап максимального расцвета Ольвийского государства пришелся на первую половину III в. до н.э. (Крыжицкий, Бураков, 1980). Понижение увлажнения с III в. до н.э., жаркий сухой климат продержался до конца II – начала I в. до н. э. (Винокуров, 2007).

#### 4. Заключение

Проведенное комплексное палеопедологическое исследование голоценовых почвенных образований различных стадий педогенеза в пределах автономных позиций рельефа и в речных долинах позволяет решить ряд фундаментальных задач истории развития почв, определить направленность их эволюционного развития, установить общие тренды изменений почвенных свойств в пространственно-временном аспекте.

Пространственно-временные изменения типов голоценовых почв обусловлены динамикой гидротермических показателей климата, которая приводила к смещению природных зон в северном направлении в суббореальном периоде и на юг – в субатлантическом. По результатам комплексных палеопедологических исследований выявлены следующие линии эволюции почв: 1) суббореальные темно-каштановые – современные черноземы обычные в степной зоне; 2) суббореальные аллювиальные луговые типичные – субатлантические аллювиальные болотные – современные аллювиальные дерновые типичные в зоне широколиственных лесов; 3) суббореальные аллювиальные дерновые типичные карбонатные – субатлантические аллювиальные луговые типичные слоистые – современные аллювиальные дерновые примитивные в лесостепи.

Зональные особенности проявления почвообразовательного процесса и, в частности, формирования качественного состава гумуса во многом определяются по таким показателям, как среднегодовая величина энергетических затрат на почвообразование, внутригодовая оценка климатического потенциала (через длительность периода биологической активности) и продукция растительности. Разработанные математические зависимости между этими показателями позволяют объяснить закономерные трансзональные различия группового состава гумуса (соотношение в нем гуминовых и фульвокислот). А, применяя теорему эргодичности, пространственные различия можно



распространить на временные состояния, выявляя климатически обусловленные этапы педогенеза в голоценовой истории развития автоморфных почв. На юге Восточно-Европейской равнины климатически благоприятные условия для педогенеза определены в период 5-7 тыс. л. н. (АТ<sup>2</sup> и АТ<sup>3</sup>) и 1300-2200 л. н. В позднеголоценовой истории педогенеза наиболее заметная аридизация проявилась к началу V в. до н.э.

Результаты изучения разновременных почв могут быть использованы для построения прогнозных моделей трендов развития почв в контексте изменений климата на основе знаний о прошлом, для реконструкции условий обитания древнего человека, а также с целью определения степени антропогенной нагрузки на почвенный покров.

### Благодарности

Публикация подготовлена в рамках поддержанного РГНФ научного проекта №15-31-10136.

### Литература

[Алексеев, Алексеева и др., 2014](#) – Алексеев А.О., Алексеева Т.В., Калинин П.И. Качественные и количественные индикаторы изменения состояния природной среды, сохраняющиеся в палеопочвах археологических памятников // Материалы Всероссийской научной конференции по археологическому почвоведению / Ин-т физ.-хим. проблем почвоведения РАН. Пущино, 2014. с. 79-81.

[Алиев, 1966](#) – Алиев С.А. Условия накопления и природа органического вещества почв. Баку: Изд-во АН Азербайджанской ССР, 1966. 148 с.

[Бараш, 1989](#) – Бараш С.И. История неурожаев и погоды в Европе (по XVI в. н.э.). Л.: Гидрометеиздат, 237 с.

[Бирюкова, 1978](#) – Бирюкова О.Н. Органическое вещество погребенных почв лессовых отложений, его значение для общей теории гумификации и палеопочвенных реконструкций: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1978. 26 с.

[Бирюкова, Орлов, 1980](#) – Бирюкова О.Н., Орлов Д.С. Состав и свойства органического вещества погребенных почв // *Почвоведение*, 1980, № 9, с. 49-66.

[Веклич, 1987](#) – Веклич М.Ф. Проблемы палеоклиматологии. Киев: Наукова думка, 1987. 192 с.

[Винокуров, 2007](#) – Винокуров Н.И. Виноградарство и виноделие античных государств Северного Причерноморья // *Боспорские исследования. Suppl. 3.* 2007, Симферополь-Керчь: ИД «АДЕФ-Украина», 456 с.

[Волобуев, 1953](#) – Волобуев В.Р. Почвы и климат. Баку: Изд-во АН АзССР, 1953. 320 с.

[Волобуев, 1959](#) – Волобуев В.Р. Энергетика почвообразования // *Изв. АН СССР. Сер. биол.*, 1959, № 1, с. 45-54.

[Дергачева, 2006](#) – Дергачева М.И. Возможность использования гуминовых кислот для реконструкции естественных и агроландшафтов прошлого. Проблемы древнего земледелия и эволюции почв в лесных и степных ландшафтах Европы: мат. Межд. науч. Семинара. Белгород: Изд-во БелГУ, 2006, с. 6-13.

[Дергачева, Некрасова, 2012](#) – Дергачева М.И., Некрасова О.А., Оконешникова М.В., Гаврилов Д.А., Васильева Д.И., Очур К.О., Ондар Е.Э.О. Соотношение элементов в гуминовых кислотах как источник информации о природной среде формирования почв. *Сибирский экологический журнал*, 2012, т. 19, № 5, с. 667-676.

[Зубов, 1978](#) – Зубов С.М. Природные комплексы и продуктивность растительности СССР. Минск: Изд-во Бел. гос. ун-та, 168 с.

[Иванов, Александровский, 2015](#) – Иванов И.В., Александровский А.Л., Макеев А.О. и др. Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. М.: ГЕОС, 2015. 925 с.

[Иванов, Лисецкий, 1995](#) – Иванов И.В., Лисецкий Ф.Н. Сверхвековая периодичность солнечной активности и почвообразование. *Биофизика*, 1995, т. 40, вып. 4, с. 905-910.

[Каширская, Хомутова, 2016](#) – Каширская Н.Н., Хомутова Т.Э., Демкина Т.С., Ельцов М.В., Борисов А.В. Изменчивость микробной биомассы в палеопочвах разновозрастных курганов Нижнего Поволжья в связи с динамикой увлаженности климата. *Аридные экосистемы*, 2016, т. 22, № 1 (66), с. 20-30.

- Крупеников, 1960** – Крупеников И.А. Погребенные почвы Нижнего Траянова вала и некоторые вопросы палеопочвоведения // *Охрана природы Молдавии*, 1960, вып. 1, с. 55-69.
- Крыжицкий, Бураков, 1980** – Крыжицкий С.Д., Бураков А.В., Буйских С.Б. и др. К истории Ольвийской сельской округ. Исследования по античной археологии Северного Причерноморья. Киев: Наукова думка, 1980. с. 3-18.
- Кудеяров, Демкин и др., 2009** – Кудеяров В.Н., Демкин В.А., Гиличинский Д.А., Горячкин С.В., Рожков В.А. Глобальные изменения климата и почвенный покров. *Почвоведение*, 2009, № 9, с. 1027-1042.
- Лисецкий, Голеусов, 2013** – Лисецкий Ф.Н., Голеусов П.В., Чепелев О.А. Развитие черноземов Днестровско-Прутского междуречья в голоцене. // *Почвоведение*, 2013, № 5, с. 540-555.
- Мартынова, 2011** – Мартынова Н.А. Химия почв: органическое вещество почв. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2011. 255 с.
- Морозов, 1993** – Морозов А.И. О связи периода биологической активности (ПБА) и глубины гумификации // *Почвоведение*, 1993, № 5, с. 118-120.
- Орлов, Бирюкова и др., 1997** – Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Рыжова И.М. Зависимость запасов гумуса от продолжительности периода биологической активности почв // *Почвоведение*, 1997, № 7, с. 818-822.
- Орлов, Бирюкова, 1984** – Орлов Д.С., Бирюкова О.Н. Гумусное состояние почв как функция их биологической активности // *Почвоведение*, 1984, № 8, с. 39-49.
- Пичура, 2012** – Пичура В.И. Пространственно-временное прогнозирование изменений параметров агрохимических показателей мелиорируемых почв с использованием ГИС и нейротехнологий. *Агротехніа і ґрунтознавство*, 2012, № 78, с. 87-95.
- Пономарева, Плотникова, 1968** – Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Методика и некоторые результаты фракционирования чернозема. // *Почвоведение*, 1968, №11, с. 104-117.
- Приходько, Иванов и др., 2014** – Приходько В.Е., Иванов И.В., Зданович Д.Г., Зданович Г.Б., Манахов Д.В., Инубуши К. Аркаим – укрепленное поселение эпохи бронзы степного Зауралья: почвенно-археологические исследования. М.: ФГУП Издательский дом "Типография" Россельхозакадемии, 2014. 264 с.
- Русаков, 2012** – Русаков А.В. Почвы и почвенный покров Ямской степи. СПб. Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2012. 216 с.
- Чендев, 2013** – Чендев Ю.Г. Памятники археологии как объекты палеогеографических реконструкций в лесостепи центра Восточной Европы // *Научные ведомости Белгородского государственного университета*. Серия: Естественные науки, 2013, т. 22, № 3, с. 151-159.
- Чендев, 2016** – Чендев Ю.Г. Тренды природной и антропогенной эволюции серых лесостепных почв в позднем голоцене: юг Среднерусской возвышенности. *Достижения науки и техники АПК*, 2016, т. 30, № 7, с. 14-19.
- Alekseeva, Alekseev et al, 2007** – Alekseeva T., Alekseev A., Maher B.A., Demkin V. (2007). Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of погребенные palaeosols. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 249, No 1, pp. 103-127.
- Alexandrovskii, 2011** – Alexandrovskii A.L. (2011). Soil evolution on the low terraces of Lake Nero. *Eurasian Soil Science*, v. 44, No 10, pp. 1055-1067 / URL: <http://doi.org/10.1134/S1064229311100024>
- Alexandrovskiy, 2004** – Alexandrovskiy A.L. (2004). Buried soils of floodplains and paleoenvironmental changes in the Holocene. A.L. Alexandrovskiy, M.P. Glasko, N.A. Krenke, O.A. Chichagova. *Revista Mexicana De Ciencias Geologicas*, v. 21, No 1, pp. 9-17.
- Barber, Zolitschka, 2004** – Barber K., Zolitschka B., Tarasov P., Lotter A.F. (2004). Atlantic to Urals – the Holocene climatic record of Mid-Latitude Europe. *Past Climate Variability through Europe and Africa*, v. 6, pp. 417-442 / URL: [http://doi.org/10.1007/978-1-4020-2121-3\\_20](http://doi.org/10.1007/978-1-4020-2121-3_20)
- Bouma, 1989** – Bouma J. (1989). Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in soil science*. Springer US, pp. 177-213.
- Chendev, Ivanov et al, 2010** – Chendev Y.G., Ivanov I.V., Pesochina L.S. (2010). Trends of the natural evolution of chernozems on the East European Plain. *Eurasian Soil Science*, v. 43, No 7, pp. 728-736 / URL: <http://doi.org/10.1134/S1064229310070021>

Demkin, 1999 – Demkin V.A. (1999). Buried soils of defence lines of ancient Russia and the problems of ancient and recent history of soil formation. *Eurasian Soil Science*, v. 32, №10, pp. 1094-1104.

Dmytruk, Matviyishyna, 2014 – Dmytruk Y., Matviyishyna Z., Kushnir A. (2014). Evolution of Chernozem in the Complex Section at Storozheve, Ukraine. *Soil as World Heritage*, pp. 91-100 / URL: [http://doi.org/10.1007/978-94-007-6187-2\\_13](http://doi.org/10.1007/978-94-007-6187-2_13)

Dreibrodt, 2009 – Dreibrodt S. (2009). Investigations on погребенные почвы and colluvial layers around Bronze Age burial mounds at Bornhöved (northern Germany): an approach to test the hypothesis of 'landscape openness' by the incidence of colluviation. *Holocene (Sevenoaks)* (0959–6836), v. 19, No 3, p. 487.

Eddy, 1977 – Eddy J. A. (1977). The case of the missing sunspots. *Scientific American*, v. 236, No 5, pp. 80-88.

Gerasimenko, 1997 – Gerasimenko N.P. (1997). Environmental and Climatic Changes Between 3 and 5 ka BP in Southeastern Ukraine. *Third Millennium BC Climate Change and Old World Collapse*, v. 49, pp. 371-399 / URL: [http://doi.org/10.1007/978-3-642-60616-8\\_14](http://doi.org/10.1007/978-3-642-60616-8_14)

Goleusov, Lisetskii, 2008 – Goleusov P.V., Lisetskii F.N. (2008). Soil development in anthropogenically disturbed forest-steppe landscapes. *Eurasian Soil Science*, v. 41, No 13, pp. 1480-1486 / URL: <http://dx.doi.org/10.1134/S1064229308130188>

Ivanov Khokhlova, 2008 – Ivanov I.V., Khokhlova O.S. (2008). Radiocarbon ages of humic substances in chernozems. *Eurasian Soil Science*, v. 41, No 13, pp. 1412-1416 / URL: <http://doi.org/10.1134/S1064229308130097>

Ivanov, Lisetskiy, 1996 – Ivanov I.V., Lisetskiy F.N. (1996). Correlation of soil formation rhythms with periodicity of solar activity over the last 5000 years. *Transactions (Doklady) of the Russian Academy of Sciences. Earth science sections*, v. 340, No 1, pp. 189-194.

Kalinichenko, 2015 – Kalinichenko V.P. (2015). Biogeosystem technique as the method for earth's climate stabilizing. *Biogeosystem Technique*, № 2 (4), c. 104-137.

Lisetskii, 1999 – Lisetskii F.N. (1999). Soil catenas in archeological landscapes. *Eurasian Soil Science*, v. 32, No 10, pp. 1084-1093.

Lisetskii, Chepelev, 2014 – Lisetskii F., Chepelev O. (2014). Quantitative substantiation of pedogenesis model key components. *Advances in Environmental Biology*, v. 4, No 8, pp. 996-1000.

Lisetskii, Pichura, 2016 – Lisetskii F.N., Pichura V.I. (2016). Paleoecological conditions Antiquity in the Northern Black Sea region (according to the sedimentation in Lake Saki, Crimea). *European Geographical Studies*, vol. 11, is. 3, pp. 83-107 / URL: <http://doi.org/10.13187/egs.2016.11.83>

Lisetskii, Stolba et al, 2016 – Lisetskii F.N., Stolba V.F., Goleusov P.V. (2016). Modeling of the evolution of steppe chernozems and development of the method of pedogenetic chronology. *Eurasian Soil Science*, vol. 49, No 8, pp. 846–858. DOI: 10.1134/S1064229316080056

Mitusov, Mitusova, 2009 – Mitusov A.V., Mitusova O.E., Pustovoytov K. et al. (2009). Palaeoclimatic indicators in почвы погребенные under archaeological monuments in the Eurasian steppe: a review. *Holocene*, v. 19, No 8, pp. 1153-1160 / URL: <http://dx.doi.org/10.1177/0959683609345076>.

Pichura, 2013 – Pichura V.I., Larchenko O.V., Domaratsky E.A., Breus D.S. (2013). Spatial assessment of the suitability of agricultural lands for growing and design of grain harvest using GIS technologies. *Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки*, № 3, с. 357-362.

Scharpenseel Schiffmann, 1977 – Scharpenseel, H.W., Schiffmann H. (1977). Soil radiocarbon analysis and soil dating. *Geophysical surveys*, v. 3, No 2, pp. 143-156 / URL: <http://doi.org/10.1007/BF01449190>

Shein, Mady et al, 2015 – Shein E.V., Mady A.Y., Mohamed El.H.A. (2015). Soil saturated hydraulic conductivity assessment by direct and pedotransfer functions methods. *Biogeosystem Technique*, № 4, с. 396-400.

## References

Alekseev, Alekseeva i dr., 2014 – Alekseev A.O., Alekseeva T.V., Kalinin P.I. (2014). Kachestvennye i kolichestvennye indikatory izmeneniya sostoyaniya prirodnoi sredy,



sokhranyayushchiesya v paleopochvakh arkheologicheskikh pamyatnikov // Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii po arkheologicheskomu pochvovedeniyu / In-t fiz.-khim. problem pochvovedeniya RAN. Pushchino, s. 79-81.

[Aliev, 1966](#) – *Aliev S.A.* (1966). Usloviya nakopleniya i priroda organicheskogo veshchestva pochv. Baku: Izd-vo AN Azerbaidzhanskoi SSR, 148 s.

[Barash, 1989](#) – *Barash S.I.* (1989). Istoriya neurozhaev i pogody v Evrope (po XVI v. n. e.). L.: Gidrometeoizdat, 237 s.

[Biryukova, 1978](#) – *Biryukova O.N.* (1978). Organicheskoe veshchestvo pogrebennykh pochv lessovykh otlozhenii, ego znachenie dlya obshchei teorii gumifikatsii i paleopochvennykh rekonstruktsii: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. M., 26 s.

[Biryukova, Orlov, 1980](#) – *Biryukova O.N., Orlov D.S.* (1980). Sostav i svoistva organicheskogo veshchestva pogrebennykh pochv // Pochvovedenie, № 9, s. 49-66.

[Veklich, 1987](#) – *Veklich M.F.* (1987). Problemy paleoklimatologii. Kiev: Naukova dumka, 192 s.

[Vinokurov, 2007](#) – *Vinokurov N.I.* (2007). Vinogradarstvo i vinodelie antichnykh gosudarstv Severnogo Prichernomor'ya // Bosporskie issledovaniya. Suppl. 3. Simferopol'-Kerch': ID «ADEF-Ukraina», 456 s.

[Volobuev, 1953](#) – *Volobuev V.R.* (1953). Pochvy i klimat. Baku: Izd-vo AN AzSSR, 320 s.

[Volobuev, 1959](#) – *Volobuev V.R.* (1959). Energetika pochvoobrazovaniya // Izv. AN SSSR. Ser. biol., № 1, s. 45-54.

[Dergacheva, 2006](#) – *Dergacheva M.I.* (2006). Vozmozhnost' ispol'zovaniya guminovykh kislot dlya rekonstruktsii estestvennykh i agrolandshaftov proshlogo. Problemy drevnego zemledeliya i evolyutsii pochv v lesnykh i stepnykh landshaftakh Evropy: mat. Mezhd. nauch. Seminara. Belgorod: Izd-vo BelGU, s. 6-13.

[Dergacheva, Nekrasova, 2012](#) – *Dergacheva M.I., Nekrasova O.A., Okoneshnikova M.V., Gavrilov D.A., Vasil'eva D.I., Ochur K.O., Ondar E.E.O.* (2012). Sootnoshenie elementov v guminovykh kislotakh kak istochnik informatsii o prirodnoi srede formirovaniya pochv. Sibirskii ekologicheskii zhurnal, t. 19, № 5, s. 667-676.

[Zubov, 1978](#) – *Zubov S.M.* (1978). Prirodnye komplekсы i produktivnost' rastitel'nosti SSSR. Minsk: Izd-vo Bel. gos. un-ta, 168 s.

[Ivanov, Aleksandrovskii, 2015](#) – *Ivanov I.V., Aleksandrovskii A.L., Makeev A.O. i dr.* (2015). Evolyutsiya pochv i pochvennogo pokrova. Teoriya, raznoobrazie prirodnoi evolyutsii i antropogennykh transformatsii pochv. M.: GEOS, 925 s.

[Ivanov, Lisetskii, 1995](#) – *Ivanov I.V., Lisetskii F.N.* (1995). Sverkhvekovaya periodichnost' solnechnoi aktivnosti i pochvoobrazovanie. Biofizika, t. 40, vyp. 4, s. 905-910.

[Kashirskaya, Khomutova, 2016](#) – *Kashirskaya N.N., Khomutova T.E., Demkina T.S., El'tsov M.V., Borisov A.V.* (2016). Izmenchivost' mikrobnai biomassy v paleopochvakh raznovozrastnykh kurganov Nizhnego Povolzh'ya v svyazi s dinamikoi uvlazhnennosti klimata. Aridnye ekosistemy, t. 22, № 1 (66), s. 20-30.

[Krupenikov, 1960](#) – *Krupenikov I.A.* (1960). Pogrebennye pochvy Nizhnego Trayanova vala i nekotorye voprosy paleopochvovedeniya // Okhrana prirody Moldavii, vyp. 1, s. 55-69.

[Kryzhitskii, Burakov, 1980](#) – *Kryzhitskii S.D., Burakov A.V., Buiskikh S.B. i dr.* (1980). K istorii Ol'viiskoi sel'skoi okrug. Issledovaniya po antichnoi arkheologii Severnogo Prichernomor'ya. Kiev: Naukova dumka, s. 3-18.

[Kudeyarov, Demkin i dr., 2009](#) – *Kudeyarov V.N., Demkin V.A., Gilichinskii D.A., Goryachkin S.V., Rozhkov V.A.* (2009). Global'nye izmeneniya klimata i pochvennyi pokrov. Pochvovedenie, № 9, s. 1027-1042.

[Lisetskii, Goleusov, 2013](#) – *Lisetskii F.N., Goleusov P.V., Chepelev O.A.* (2013). Razvitie chernozemov Dnestrovsko-Prut'skogo mezhdurech'ya v golotsene. Pochvovedenie, № 5, s. 540-555.

[Martynova, 2011](#) – *Martynova N.A.* (2011). Khimiya pochv: organicheskoe veshchestvo pochv. Irkutsk: Izd-vo IGU, 255 s.

[Morozov, 1993](#) – *Morozov A.I.* (1993). O svyazi perioda biologicheskoi aktivnosti (PBA) i glubiny gumifikatsii // Pochvovedenie, № 5, s. 118-120.



Orlov, Biryukova i dr., 1997 – Orlov D.S., Biryukova O.N., Ryzhova I.M. (1997). Zavisimost' zapasov gumusa ot prodolzhitel'nosti perioda biologicheskoi aktivnosti pochv // Pochvovedenie, № 7, s. 818-822.

Orlov, Biryukova, 1984 – Orlov D.S., Biryukova O.N. (1984). Gumusnoe sostoyanie pochv kak funktsiya ikh biologicheskoi aktivnosti // Pochvovedenie, № 8, s. 39-49.

Pichura, 2012 – Pichura V.I. (2012). Prostranstvenno-vremennoe prognozirovanie izmenenii parametrov agrokhimicheskikh pokazatelei melioriruemykh pochv s ispol'zovaniem GIS i neirotekhnologii. Agrokhimiya i gruntoznavstvo, № 78, s. 87-95.

Ponomareva, Plotnikova, 1968 – Ponomareva V. V., Plotnikova T. A. (1968). Metodika i nekotorye rezul'taty fraktsionirovaniya chernozema. Pochvovedenie, №11, s. 104-117.

Prikhod'ko, Ivanov i dr., 2014 – Prikhod'ko V.E., Ivanov I.V., zdanovich D.G., Zdanovich G.B., Manakhov D.V., Inubushi K. (2014). Arkaim – ukreplennoe poselenie epokhi bronzy stepnogo Zaural'ya: pochvenno-arkheologicheskie issledovaniya. M.: FGUP Izdatel'skii dom "Tipografiya" Rossel'khozakademii, 264 s.

Rusakov, 2012 – Rusakov A.V. (2012). Pochvy i pochvennyi pokrov Yamskoi stepi. SPb. Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 216 s.

Chendev, 2013 – Chendev Yu.G. (2013). Pamyatniki arkheologii kak ob"ekty paleogeograficheskikh rekonstruktsii v lesostepi tsentra Vostochnoi Evropy // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki, t. 22, № 3, s. 151-159.

Chendev, 2016 – Chendev Yu.G. (2016). Trendy prirodnoi i antropogennoi evolyutsii serykh lesostepnykh pochv v pozdnem golotsene: yug Srednerusskoi vozvyshechnosti. Dostizheniya nauki i tekhniki APK, t. 30, № 7, s. 14-19.

Alekseeva, Alekseev et al, 2007 – Alekseeva T., Alekseev A., Maher B.A., Demkin V. (2007). Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of погребенные palaeosols. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 249, No 1, pp. 103-127.

Alexandrovskii, 2011 – Alexandrovskii A.L. (2011). Soil evolution on the low terraces of Lake Nero. *Eurasian Soil Science*, v. 44, No 10, pp. 1055-1067 / URL: <http://doi.org/10.1134/S1064229311100024>

Alexandrovskiy, 2004 – Alexandrovskiy A.L. (2004). Buried soils of floodplains and paleoenvironmental changes in the Holocene. A.L. Alexandrovskiy, M.P. Glasko, N.A. Krenke, O.A. Chichagova. *Revista Mexicana De Ciencias Geologicas*, v. 21, No 1, pp. 9-17.

Barber, Zolitschka, 2004 – Barber K., Zolitschka B., Tarasov P., Lotter A.F. (2004). Atlantic to Urals – the Holocene climatic record of Mid-Latitude Europe. Past Climate Variability through Europe and Africa, v. 6, pp. 417-442 / URL: [http://doi.org/10.1007/978-1-4020-2121-3\\_20](http://doi.org/10.1007/978-1-4020-2121-3_20)

Bouma, 1989 – Bouma J. (1989). Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in soil science*. Springer US, pp. 177-213.

Chendev, Ivanov et al, 2010 – Chendev Y.G., Ivanov I.V., Pesochina L.S. (2010). Trends of the natural evolution of chernozems on the East European Plain. *Eurasian Soil Science*, v. 43, No 7, pp. 728-736 / URL: <http://doi.org/10.1134/S1064229310070021>

Demkin, 1999 – Demkin V.A. (1999). Buried soils of defence lines of ancient Russia and the problems of ancient and recent history of soil formation. *Eurasian Soil Science*, v. 32, №10, pp. 1094-1104.

Dmytruk, Matviyishyna, 2014 – Dmytruk Y., Matviyishyna Z., Kushnir A. (2014). Evolution of Chernozem in the Complex Section at Storozheve, Ukraine. *Soil as World Heritage*, pp. 91-100 / URL: [http://doi.org/10.1007/978-94-007-6187-2\\_13](http://doi.org/10.1007/978-94-007-6187-2_13)

Dreibrodt, 2009 – Dreibrodt S. (2009). Investigations on погребенные почвы and colluvial layers around Bronze Age burial mounds at Bornhoved (northern Germany): an approach to test the hypothesis of 'landscape openness' by the incidence of colluviation. *Holocene (Sevenoaks)* (0959–6836), v. 19, No 3, p. 487.

Eddy, 1977 – Eddy J. A. (1977). The case of the missing sunspots. *Scientific American*, v. 236, No 5, pp. 80-88.

[Gerasimenko, 1997](#) – *Gerasimenko N.P.* (1997). Environmental and Climatic Changes Between 3 and 5 ka BP in Southeastern Ukraine. Third Millennium BC Climate Change and Old World Collapse, v. 49, pp. 371-399 / URL: [http://doi.org/10.1007/978-3-642-60616-8\\_14](http://doi.org/10.1007/978-3-642-60616-8_14)

[Goleusov, Lisetskii, 2008](#) – *Goleusov P.V., Lisetskii F.N.* (2008). Soil development in anthropogenically disturbed forest-steppe landscapes. *Eurasian Soil Science*, v. 41, No 13, pp. 1480-1486 / URL: <http://dx.doi.org/10.1134/S1064229308130188>

[Ivanov Khokhlova, 2008](#) – *Ivanov I.V., Khokhlova O.S.* (2008). Radiocarbon ages of humic substances in chernozems. *Eurasian Soil Science*, v. 41, No 13, pp. 1412-1416 / URL: <http://doi.org/10.1134/S1064229308130097>

[Ivanov, Lisetskiy, 1996](#) – *Ivanov I.V., Lisetskiy F.N.* (1996). Correlation of soil formation rhythms with periodicity of solar activity over the last 5000 years. Transactions (Doklady) of the Russian Academy of Sciences. Earth science sections, v. 340, No 1, pp. 189-194.

[Kalinichenko, 2015](#) – *Kalinichenko V.P.* (2015). Biogeosystem technique as the method for earth's climate stabilizing. *Biogeosystem Technique*, № 2 (4), с. 104-137.

[Lisetskii, 1999](#) – *Lisetskii F.N.* (1999). Soil catenas in archeological landscapes. *Eurasian Soil Science*, v. 32, No 10, pp. 1084-1093.

[Lisetskii, Chepelev, 2014](#) – *Lisetskii F., Chepelev O.* (2014). Quantitative substantiation of pedogenesis model key components. *Advances in Environmental Biology*, v. 4, No 8, pp. 996-1000.

[Lisetskii, Pichura, 2016](#) – *Lisetskii F.N., Pichura V.I.* (2016). Paleoecological conditions Antiquity in the Northern Black Sea region (according to the sedimentation in Lake Saki, Crimea). *European Geographical Studies*, vol. 11, is. 3, pp. 83-107 / URL: <http://doi.org/10.13187/egs.2016.11.83>

[Lisetskii, Stolba et al, 2016](#) – *Lisetskii F.N., Stolba V.F., Goleusov P.V.* (2016). Modeling of the evolution of steppe chernozems and development of the method of pedogenetic chronology. *Eurasian Soil Science*, vol. 49, No 8, pp. 846–858. DOI: 10.1134/S1064229316080056

[Mitusov, Mitusova, 2009](#) – *Mitusov A.V., Mitusova O.E., Pustovoytov K. et al.* (2009). Palaeoclimatic indicators in почвы погребенные under archaeological monuments in the Eurasian steppe: a review. *Holocene*, v. 19, No 8, pp. 1153-1160 / URL: <http://dx.doi.org/10.1177/0959683609345076>.

[Pichura, 2013](#) – *Pichura V.I., Larchenko O.V., Domaratsky E.A., Breus D.S.* (2013). Spatial assessment of the suitability of agricultural lands for growing and design of grain harvest using GIS technologies. *Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки*, № 3, с. 357-362.

[Scharpenseel Schiffmann, 1977](#) – *Scharpenseel, H.W., Schiffmann H.* (1977). Soil radiocarbon analysis and soil dating. *Geophysical surveys*, v. 3, No 2, pp. 143-156 / URL: <http://doi.org/10.1007/BF01449190>

[Shein, Mady et al, 2015](#) – *Shein E.V., Mady A.Y., Mohamed El.H.A.* (2015). Soil saturated hydraulic conductivity assessment by direct and pedotransfer functions methods. *Biogeosystem Technique*, № 4, с. 396-400.

УДК 631.484: 631.487

## **Реконструкция палеоклиматических условий второй половины голоцена по результатам изучения погребенных и пойменных почв на юге Восточно-Европейской равнины**

Ф. Н. Лисецкий <sup>a,\*</sup>, А. В. Мацибора <sup>b</sup>, В.И. Пичура <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: [liset@bsu.edu.ru](mailto:liset@bsu.edu.ru) (Ф.Н. Лисецкий), [rmcf@ukr.net](mailto:rmcf@ukr.net) (А.В. Мацибора), [pichura@yandex.ru](mailto:pichura@yandex.ru) (В.И. Пичура)

<sup>b</sup> Институт географии Национальной академии наук Украины, Украина

<sup>c</sup> Херсонский государственный аграрный университет, Украина

**Аннотация.** Цель исследования состояла в реконструкции палеоклиматических условий во второй половине голоцена на юге Восточно-Европейской равнины по результатам изучения пойменных почв и качественного состава гумуса в хронорядх погребенных почв. Создана база данных результатов палеогеографических исследований в степной зоне Восточно-Европейской равнины. На ее основе выполнен анализ педохронорядов, которые были составлены по археологическому и радиоуглеродному датированию автоморфных и пойменных почв. На территории Побужья установлено 10 этапов формирования суббореальных пойменных почв, с которыми преимущественно связаны периоды аридизации, снижения интенсивности процессов накопления аллювия, тогда как субатлантический период голоцена характеризовался уменьшением температур и повышением влажности. Проанализирована связь между изменениями климата и типами почв в суббореальный и субатлантический периоды голоцена. По результатам комплексных палеопедологических исследований выявлены три основные линии эволюции почв на протяжении последних 5000 лет. Пространственно-временные изменения типов голоценовых почв обусловлены ритмикой гидротермических условий, которая приводила к смещению природных зон в суббореальном периоде к северу, а в субатлантическом периоде в южном направлении. На юге Восточно-Европейской равнины в автоморфных условиях почвообразования климатически благоприятные условия определены в периоды 7-5 тыс. л. н. и 2200-1300 л. н. В позднеголоценовой истории педогенеза наиболее заметная аридизация проявилась в V в. до н. э. Разработаны математические зависимости между такими показателями, как общегодовая величина энергетических затрат на почвообразование, внутригодичная оценка климатического потенциала (через длительность периода биологической активности) и продукция растительности. Это позволяет объяснить зональные особенности проявления почвообразовательного процесса и, в частности, специфику формирования качественного состава гумуса (соотношения в нем содержания гуминовых и фульвокислот). Распространяя установленные пространственные различия почвенно-климатических отношений на временные состояния, выявлены климатически обусловленные этапы педогенеза в голоценовой истории развития автоморфных почв. Проведенное комплексное палеопедологическое исследование голоценовых почвенных образований различных стадий педогенеза в пределах автономных позиций рельефа и в речных долинах позволяет решить ряд фундаментальных задач истории развития почв, определить направленность их эволюционного развития, установить общие тренды изменений почвенных свойств в пространственно-временном аспекте. Результаты изучения разновременных почв могут быть использованы для построения прогнозных моделей трендов развития почв в контексте изменений климата на основе знаний о прошлом, для реконструкции условий обитания древнего человека, а также с целью определения степени антропогенной нагрузки на почвенный покров.

**Ключевые слова:** погребенные почвы, пойменные почвы, педогенез, групповой состав гумуса, палеоклиматические реконструкции, голоцен.

**Таблица 1.** Исследованные этапы голоценового почвообразования в Побужье

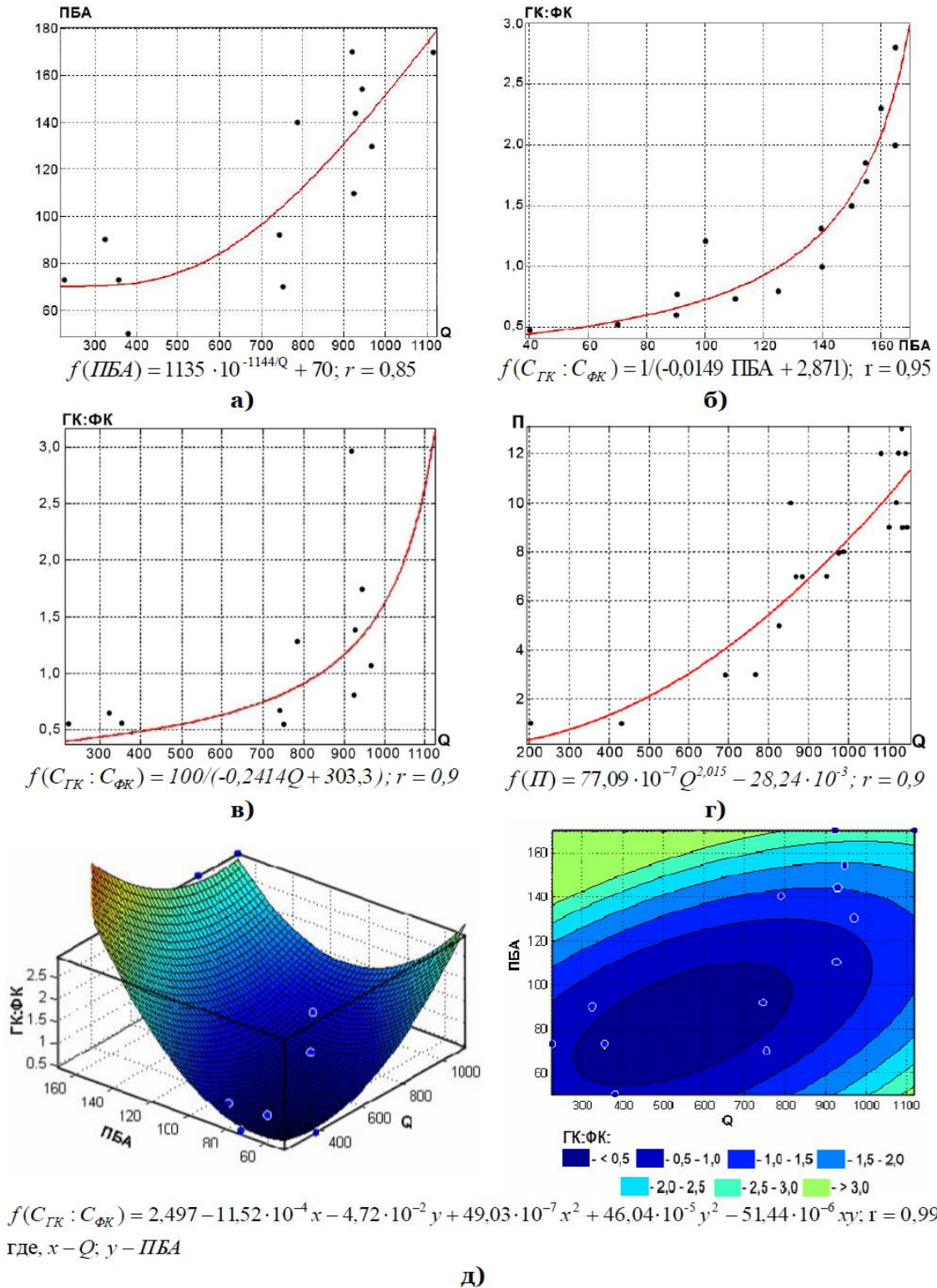
Возраст почв	Температура воздуха (°C)					Климатическая характеристика	Тип почв	Расположение ключевых участков	
	12	13	14	15	16				
	по [2]								
SA	700±60 BP						похолодание, аридизация	аллювиальные дерновые <i>типичные</i>	с. Торговица, Новоархангельский р-н, Кировоградская обл.
	1640±60 BP						максимум гумидизации SA	аллювиальные луговые <i>слоистые</i>	с. Бохоники, Винницкий р-н, Винницкая обл.
	1720±60 BP						максимум аридизации SA	аллювиальные луговые <i>примитивные</i>	с. Березки, Кривоозерский р-н, Николаевская обл.
	1730±60 BP							аллювиальные дерновые <i>слоистые</i>	с. Свечна, Летичевский р-н, Хмельницкая обл.
	1850±60 BP						гумидизация	аллювиальные дерновые <i>типичные</i>	с. Любомирка, Добровеличковский р-н, Кировоградская обл.
	2040±70 BP							аллювиальные болотные	с. Долиновка, Гайворонский р-н, Кировоградская обл.
	2310±60 BP						кратковременная аридизация	аллювиальные дерновые	пгт. Саврань, Савранский р-н, Одесская обл.
	2420±70 BP						общее похолодание, гумидизация	аллювиальные луговые <i>типичные</i>	с. Березки, Кривоозерский р-н, Николаевская обл.
	2470±60 BP							аллювиальные луговые <i>болотные</i>	с. Широкая Гребля, Винницкий р-н, Винницкая обл.
2830±80 BP	аллювиальные луговые <i>типичные</i>	с. Долиновка, Гайворонский р-н, Кировоградская обл.							
2870±70 BP	чередование этапов аридизации и гумидизации	аллювиальные дерновые	пгт. Саврань, Савранский р-н, Одесская обл.						
3110±70 BP		аллювиальные дерновые <i>типичные</i>	с. Луковка, Катеринопольский р-н, Черкасская обл.						
3210±110 BP		аллювиальные луговые <i>типичные</i>	с. Боярка, Лисянский р-н, Черкасская обл.						
3360±110 BP	максимум аридизации SB	аллювиальные луговые <i>типичные</i>	с. Соломия, Гайворонский р-н, Кировоградская обл.						
3500 BP		темно-каштановые	с. Розановка, Новобутский р-н, Николаевская обл.						
3860±90 BP		аллювиальные дерновые <i>типичные</i>	с. Губник, Гайсинский р-н, Винницкая обл.						
3890±60 BP		аллювиальные дерновые карбонатные	с. Бохоники, Винницкий р-н, Винницкая обл.						
4150±80 BP	аридизация, повышение континентальности	аллювиальные дерновые <i>типичные</i>	с. Соломия, Гайворонский р-н, Кировоградская обл.						
4740±100 BP	аридизация	аллювиальные луговые глеевые	с. Соломия, Гайворонский р-н, Кировоградская обл.						



**Таблица 2.** Состав органического вещества дневных (Голоцен) и погребенных почв степной зоны Восточно-Европейской равнины и оценка климатических обстановок

Район исследования*	Объект исследования	Горизонт почвы	Длительность почвообразования (погребения), лет	Глубина, см	Сорт, %	% С			Сгк Сфк	Q, МДж/(м <sup>2</sup> ·год)	ПБА, дни/год
						гуминовые кислоты	фульвокислоты	гумины			
<b>Черноземы обыкновенные (эталон), Q = 1000-1080 МДж/(м<sup>2</sup>·год)</b>											
1	Герасимовка	A	10300	0-36	2,6 8	49,5	27,4	23,1	1,8	1026	155
<b>Черноземы южные, Крым (эталон), Q = 950-955 МДж/(м<sup>2</sup>·год)</b>											
2	Черноморское	A	10300	0-22	3,0 3	26,8	21,6	51,6	1,2	922	139
<b>Темно-каштановые почвы, Крым (эталон), Q = 1060 МДж/(м<sup>2</sup>·год)</b>											
2	Витино	A	10300	0-17	2,4 0	22,4	24,5	53,1	0,9	801	119
<b>Черноземы обыкновенные</b>											
1	Герасимовка	[Ae]	7000	44-54	1,21	64	16	20,1	4	1153	176
3	Траянов вал	[A]	2000	32-45	1,26	25,4	12,7	61,9	2	1049	159
	Криничное	[A]	1100	33-62	0,9 8	26,5	14,3	59,2	1,8	1026	155
<b>Черноземы южные</b>											
4	Усатово	[A]	5200	79-110	2,55	33,7	16,9	49,4	2,0	1049	159
		[Ae]		99-110	3,4 5	32,5	13,3	54,2	2,4	1084	165
5	Старое Бугово	[Ae]	3000	75-103	1,71	18,7	8,8	72,5	2,1	1059	161
<b>Темно-каштановые почвы</b>											
6	Бейкуш	[A+AB]	2465	107-150	0,6 0	10,0	23,3	66,7	0,4	221	25
	Закисова балка I	[A]	2540	81-111	0,9 7	44,0	19,6	36,4	2,2	1068	162
	Чертоватое II, некрополь	[A]	2475	59-84	0,66	40,9	30,3	28,8	1,4	961	145
7	Иенидуни, крепость	[Ae] [AB]	220	36-58 58-82	2,39 2,12	27,2 28,3	17,2 16,5	55,6 55,2	1,5 1,7	980 1013	148 153
2	Аирчи	[A]	2360	0-16 16-20	0,59 0,67	41,9 28,8	33,4 21,5	24,8 49,7	0,6 0,6	517 530	73 75
	Аирчи	[A] [AB]	2100	0-24 24-38	0,66 0,45	41,8 16,9	29,7 25,3	28,5 57,8	1,4 0,7	963 638	145 93

\*1. Белгородская область; 2. Республика Крым; 3. Одесская область, Болградский район; 4. Одесская область, Беляевский район; 5. Одесская область, Ильичевск; 6. Николаевская область, Очаковский район; 7. Одесская область, Коминтерновский район.



**Рис. 1.** Графики и функции зависимостей: а) периода биологической активности (ПБА, дни/год) от энергопотенциала почвообразования ( $Q$ ,  $MДж/(m^2 \cdot год)$ ); б)  $C_{ГК}:C_{ФК}$  от ПБА; в)  $C_{ГК}:C_{ФК}$  от  $Q$ ; г)  $\Pi$  от  $Q$ ; д)  $C_{ГК}:C_{ФК} = f(Q; ПБА)$