

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Ф. Н. Лисецкий,

профессор кафедры природопользования и земельного кадастра
Белгородского государственного национального исследовательского университета, liset@bsu.edu.ru,

О. А. Чепелев,

начальник отдела геоинформатики, НИУ «БелГУ», chepelev@bsu.edu.ru,

Ж. А. Кириленко,

аспирант НИУ «БелГУ», kirilenko.31@gmail.com

По данным климатических наблюдений создана карта распределения энергетических затрат на почвообразование для территории Центрального Черноземья. Предложено при изучении энергопотенциала почвообразования учитывать условия рельефа путем расчета радиационного баланса наклонных поверхностей. По уравнению, которое связывает величины годовых энергетических затрат на почвообразование с предельной мощностью гумусового горизонта установлены территориальные различия в потенциале почвообразования. Изучена зависимость потенциальной скорости почвообразовательного процесса от долготно-провинциальных климатических различий при сложившемся за инструментальный период уровне тепло- и влагообеспеченности.

The ability to identify the territorial peculiarities of the distribution of energy costs for soil formation, which is determined by the combination of heat and moisture (an example of implementation served as the Central Chernozem region), was determined. Conditions of the relief requested by calculating the radiation balance inclined surfaces. With the help of the equation, which relates the values of the annual energy costs for soil formation with the utmost capacity of the humus horizon, territorial differences in the capacity of the soil can be installed. Assessment of changes in the rate of soil-forming processes depending on the longitudinal and provincial climatic differences under developed for the instrumental period the level of warmth- and moisture- security was held.

Ключевые слова: энергетика почвообразования, почвенно-климатические соотношения, скорость почвообразования, Центральное Черноземье.

Keywords: soil formation power, soil-climatic parities, soil formation rates, the Central Chernozem region.

Введение. В. В. Докучаев при обосновании четвертого царства природы отмечал, что почва является зеркалом длительного взаимодействия между климатом и горными породами, с одной стороны, и живыми организмами — с другой. Климат во многом определяет темпы процессов гумусообразования и выветривания материнских пород, а также особенности распространения растительного покрова и животного мира. Но, как справедливо отмечено [1], экологическое значение атмосферных функций почв для нормального функционирования почвенной оболочки и биосферы до сих пор не учитывается сколько-нибудь полно.

При установлении связей в системе «почва—климат» важно учитывать нелинейность влияния показателей тепла и влаги на эффективность почвообразовательного процесса. Эта особенность объясняет [2] невысокую результативность почвенно-климатических корреляций при использовании не только простых характеристик тепло- и влагообеспеченности почвенно-географических зон, но и некоторых комплексных показателей. Применение аналитических зависимостей, отражающих климатическую обусловленность процесса почвообразования, позволило В. Р. Волобуеву [3] обосновать единую биоэнергетическую систему общностей (парагенетических семейств почв и растительности). С ее помощью можно объяснить закономерную смену зональных ландшафтов на земной поверхности. При дальнейшем развитии этого подхода появляются возможности для интерпретации провинциальных различий климата, определяемых циркуляционными процессами.

Ранее [4], по данным об энергетических эквивалентах тепло- и влагообеспеченности, составлена первая изолинейная карта годовых затрат энергии на почвообразование для Центрально-Черноземного региона (ЦЧР) и проанализирована зависимость предельной мощности гумусового горизонта почв от энергозатрат. Впоследствии карты энергозатрат на почвообразование для других регионов [2, 5] создавали путем комплексирования растров годового количества осадков и сумм активных температур с использованием геоинформационных систем. Таким образом, удавалось избежать обобщения данных на этапе интерполяции и максимально вовлекать фоновые материа-

лы, характеризующие распределение тепла и влаги с учетом рельефа местности.

Материалы и методы. Основным фактическим материалом, использованным в исследовании, послужили среднегодовые данные о радиационном балансе (R) и количестве осадков (P) по 83 метеостанциям и постам ЦЧР и смежных территорий. Для пунктов, где проводятся актинометрические измерения, значения R взяты из климатических справочников. При отсутствии данных величина R была рассчитана по уравнению регрессии, используя суммы температур выше 10°C (см. [4]).

Для обработки климатических данных использовали принятые методы статистического анализа выборок, реализованные в программном пакете STATISTICA. Математические расчеты проводили в среде MathCad. Для построения картограмм использовали модуль Spatial Analyst, предназначенный для работы с растровыми поверхностями (GRID) в среде ArcGIS 9.3.1. Интерполяцию проводили методом кригинга со сферической вариограммой, переменным радиусом поиска и по восьми обрабатываемым точкам.

Результаты и обсуждение. Выбор объекта исследования объясняется тем, что в ЦЧР, включающем пять административных областей, находится интересная в климатическом, почвенном и геоботаническом отношении полоса наибольшего проявления черноземообразовательного процесса.

Согласно работе В. Р. Волобуева [3], энергетические затраты на почвообразование, связанные с климатом, определяются годовым радиационным балансом деятельной поверхности и суммой атмосферных осадков. После корректировки авторской формулы (введения множителей для перевода значений R в международную систему единиц измерения) энергетические затраты на почвообразование можно рассчитать по зависимости:

$$Q = \text{Re} \left(-1,23 \frac{R^{0,73}}{P} \right), \quad (1)$$

где R — радиационный баланс ($\text{МДж}/\text{м}^2$ в год), P — годовая сумма осадков (мм).

Как следует из уравнения (1), основную роль в расчете энергетических затрат на почвообразование играет радиационный баланс территории, определяющую роль в котором имеет приход прямой солнечной радиации. Такое положение сохраняется и для наклонных поверхностей всех ориентаций, важных для оценки мезо- и микроклимата [7]. С при-

менением ГИС-технологий, величины R и соответственно Q могут быть дифференцированы с учетом внутризональных различий в теплообеспеченности ландшафтов. Такая дифференциация позволяет использовать региональную методику расчета энергетического потенциала почвообразования для работы на мезо- и микроуровне, что отразится на расчетных скоростях почвообразования. По уравнениям, представленным в работе [7], в ArcGIS был проведен расчет прямой солнечной радиации наклонной поверхности и поправки к R для территории ЦЧР. При проведении расчета были использованы растры экспозиции и уклонов, созданные на основе цифровой модели поверхности SRTM. Затем была построена карта энергетических затрат на почвообразование Q на основе растров распределения среднегодового количества осадков и радиационного баланса наклонной поверхности. Для этого при помощи калькулятора растров модуля ArcGIS Spatial Analyst растры комплексировали по уравнению (1), преобразованному в формат MapAlgebra:

$$Q_S = [R_S] \cdot \exp(-1,23 \cdot \text{Pow}([R_S], 0,73/[P])), \quad (2)$$

где Q_S — энергетические затраты на почвообразование с учетом R наклонных поверхностей, $\text{МДж}/\text{м}^2$ в год, R_S — растр R наклонной поверхности, $\text{МДж}/\text{м}^2$ в год, P — растр суммы осадков, мм/год. Полученная картограмма отражает распределение затрат радиационной энергии на почвообразование с учетом внутризональных различий в тепло- и влагообеспеченности территории ЦЧР (рис. 1). Разрешение растра $1,5$ км позволяет проследить влияние морфоскульптуры рельефа ЦЧР на распределение энергетического потенциала почвообразования.

Ранее на основе анализа данных по 36 почвенным провинциям Восточно-Европейской равнины [6] было получено уравнение, которое связывает предельную мощность гумусового горизонта зональных почв (H_{lim} , мм) с величиной годовых энергетических затрат на почвообразование Q ($\text{МДж}/\text{м}^2$ в год):

$$H_{\text{lim}} = 10,85 \cdot \gamma \cdot e^{0,0044Q}, \quad (3)$$

где γ — поправка на гранулометрический состав почв.

С использованием уравнения (3) произведен расчет предельной мощности гумусового горизонта, достижимой в существующих биоклиматических условиях (при стандартном гранулометрическом составе — $\gamma = 1$).

В работе [8] выполнено обоснование перспективности описания процесса развития зо-

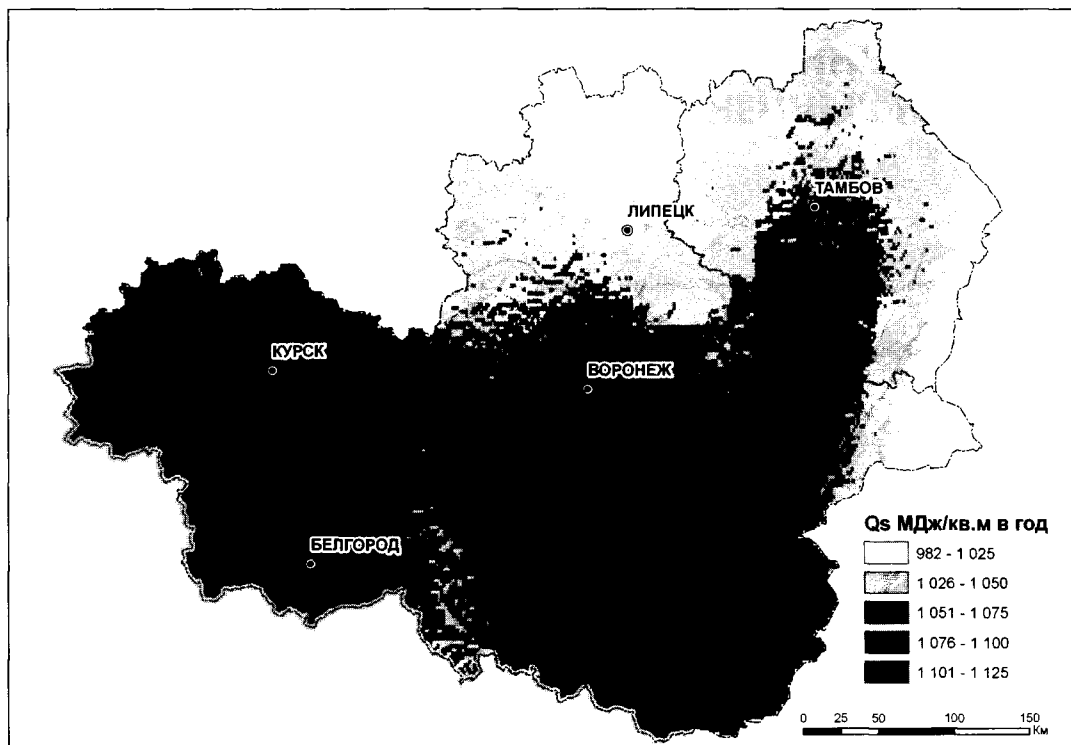


Рис. 1. Картограмма распределения на территории ЦЧР энергетических затрат на почвообразование (Q_s , МДж/м² в год) с учетом радиационного баланса наклонных поверхностей

нальных почв во времени с помощью семейства S -образных кривых, в частности функции Гомпертца. Ее график имеет асимметричный вид за счет растянутости верхней ветви, благодаря чему эта функция хорошо аппроксимирует направленность голоценового педогенеза, который характеризуется медленным приростом мощности гумусового горизонта почв ($H(t)$, мм) в их зрелом возрасте:

$$H(t) = H_{\text{lim}} \cdot e^{(-e^{a+\lambda t})}, \quad (4)$$

где H_{lim} — предельное значение мощности гумусового горизонта, которое почвы могут достигнуть за время развития, равное периоду голоцена, мм; a и λ — эмпирические коэффициенты: a — может быть интерпретировано как уровень первичного плодородия почвообразующих пород, λ — коэффициент динамики процесса с размерностью 1 год. Обоснование эмпирических коэффициентов уравнения (4) проведено для черноземных почв на обширном педохронологическом материале [8]. Путем дифференцирования уравнения (4) получена зависимость для определения скорости развития почв во времени, которая имеет вид:

$$V(t) = -H_{\text{lim}} \cdot \lambda \cdot e^{(-a - \lambda t)} \cdot e^{-(a + \lambda t)}. \quad (5)$$

Расчет скорости почвообразования для полуголоценовых почв региона выполнен по (5), используя следующие параметры: $\lambda = -0,00029$; $a = 0,742$. Карта, полученная по разработанной методике (рис. 2), отражает региональное распределение потенциальных скоростей формирования гумусового профиля почв черноземного ряда (V , мм/год). Оценки потенциальных скоростей характеризуют сложившийся за инструментальный период среднегодовалый режим тепло- и влагообеспеченности.

По сравнению с результатами картографирования энергетического потенциала почвообразования, которые не учитывают рельеф, применение Q_s привело к сдвигу в область максимальных скоростей почвообразования полуголоценовых черноземов (с 0,044 до 0,048 мм/год), тогда как оценки минимальных скоростей снизились: с 0,027 до 0,024 мм/год. Доля площади Центрального Черноземья, на которой в результате расчета получены скорости почвообразования более 0,040 мм/год, уменьшилась с 21,20 до 14,20 %, а доля площади со значениями скорости 0,024—0,031 мм/год, напротив, возросла с 6,27 до 15,28 %. Полученные данные указывают на то, что при учете влияния рельефа территории на перераспределение значений прямой солнечной радиации

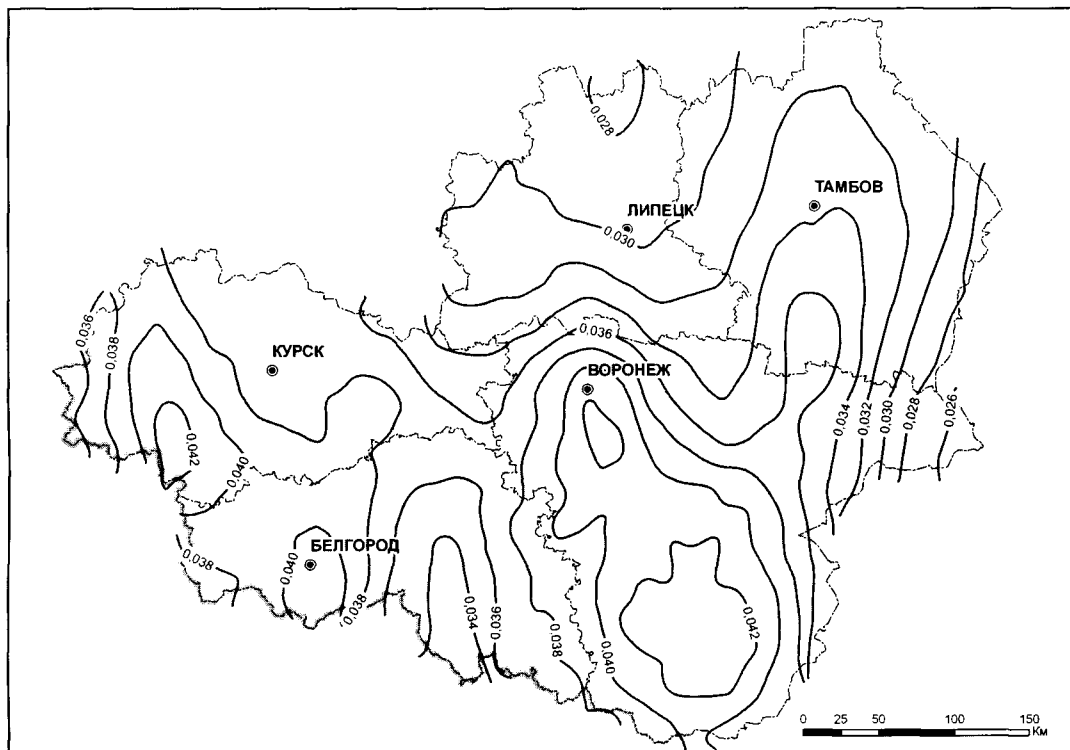


Рис. 2. Потенциальные скорости почвообразования (V , мм в год) для черноземов ЦЧР

происходит существенное изменение расчетных скоростей почвообразования.

Заключение. В геоинформационной системе на основе данных метеонаблюдений построены картограммы радиационного баланса и энергетических затрат на почвообразование с учетом внутризональных различий в теплообеспеченности территории ЦЧР. Разработана и апробирована методика расчета потенциальных скоростей формирования гумусового горизонта почв с количественной оценкой биоклиматических различий ландшафтов. Со-

поставление территориального распределения расчетных скоростей формирования гумусового горизонта и их значений для полнопрофильных почв позволяет определить специфику позднеголоценового этапа в общей истории развития современных почв.

Работа выполнена по проекту (№ ГК П743) мероприятия 1.2.1 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.».

Библиографический список

1. Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы. — М.: Наука, МАИК «Наука/Интерпериодика», 2000. — 185 с.
2. Лисецкий Ф. Н., Ергина Е. И. Развитие почв Крымского полуострова в позднем голоцене // Почвоведение. — 2010. — № 6. — С. 643–657.
3. Волобуев В. Р. Введение в энергетику почвообразования. — М.: Наука, 1974. — 126 с.
4. Лисецкий Ф. Н., Чепелев О. А. Климатическая обусловленность почвообразования в Центральном Черноземье // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. — 2003. — № 2. — С. 15–23.
5. Лисецкий Ф. Н., Чепелев О. А. Климатическая обусловленность почвообразования в лесостепной зоне // Голеусов П. В., Лисецкий Ф. Н. Воспроизводство почв в антропогенно нарушенных ландшафтах лесостепи. — М.: ГЕОС, 2009. — С. 27–37.
6. Лисецкий Ф. Н. Пространственно-временная организация агроландшафтов. — Белгород: Изд. Белгородск. гос. ун-та, 2000. — 304 с.
7. Кондратьев К. Я., Пивоварова З. И., Федорова М. П. Радиационный режим наклонных поверхностей. Под ред. К. Я. Кондратьева. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 170 с.
8. Голеусов П. В., Лисецкий Ф. Н. Воспроизводство почв в антропогенно нарушенных ландшафтах лесостепи. — М.: ГЕОС, 2009. — 210 с.