

Ергина Е.И.

УДК 631.6.02

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО (РЕЦЕНТНОГО) ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Анотація. В роботі обґрунтовано застосування нового методологічного підходу до вивчення молодих ґрунтів, що перебувають у стадії формування. Доведено, що сучасний процес ґрунтоутворення має специфічні умови, викликані цілим рядом природних і антропогенних факторів. Представлені математичні моделі формування гумусового горизонту ґрунтів у часі

Ключові слова: ґрунтоутворення, фактори ґрунтоутворення, хроноряди, математичні моделі.

Summary. Modern full height of the soil is a complex polygenetic system that reflects the diversity of the factors of soil formation during the Holocene. The relative stability of the last phase of the Holocene allows us to say, on the one hand, on the mapping of the properties of this period in the development of soils and landscapes. But, on the other hand, the current state of the geographical environment, characterized by significant variability in the first place, the climate system, the transformation of geochemical flows, activity of degradation processes, leads to the fact that to date, the study of the evolution and development of the soil must be taken into account the fact that the process of soil formation in the current environment occurs under conditions different from the factors of soil formation in the early Holocene. Accordingly, the soil, which are formed in the present conditions, will inevitably reflect a totally different features of the environment. This is true for soil, which for some reason (anthropogenic influence or manifestation of catastrophic events), ceased to function as a system and in modern conditions have moved to a new level of development or formation. This system will reflect the new realities of the functioning of the geographical envelope and this suggests that the current process of soil formation is radically different from the soil-forming process, which resulted in the modern soil.

Keywords: ґрунтоутворення, фактори ґрунтоутворення, хроноряди, математичні моделі.

Summary. Modern full height of the soil is a complex polygenetic system that reflects the diversity of the factors of soil formation during the Holocene. The relative stability of the last phase of the Holocene allows us to say, on the one hand, on the mapping of the properties of this period in the development of soils and landscapes. But, on the other hand, the current state of the geographical environment, characterized by significant variability in the first place, the climate system, the transformation of geochemical flows, activity of degradation processes, leads to the fact that to date, the study of the evolution and development of the soil must be taken into account the fact that the process of soil formation in the current environment occurs under conditions different from the factors of soil formation in the early Holocene. Accordingly, the soil, which are formed in the present conditions, will inevitably reflect a totally different features of the environment. This is true for soil, which for some reason (anthropogenic influence or manifestation of catastrophic events), ceased to function as a system and in modern conditions have moved to a new level of development or formation. This system will reflect the new realities of the functioning of the geographical envelope and this suggests that the current process of soil formation is radically different from the soil-forming process, which resulted in the modern soil.

The paper theoretically justified application of a new approach to the study of soils formed. It is shown that the current process has specific soil conditions caused by a variety of natural and anthropogenic factors. Presented mathematical model for the formation of soil humus horizon in time

Keywords: soil formation, soil formation factors, chronosequence, mathematical models.

Введение Современные полнопрофильные почвы представляют собой сложную полигенетическую систему, отражающую разнообразие факторов почвообразования в течение голоцена. Относительная устойчивость последнего этапа голоцена позволяет нам говорить, с одной стороны, об отображении свойств этого периода в развитии почв и ландшафтов. Но, с другой стороны, современное состояние географической среды, характеризующееся значительной изменчивостью, в первую очередь, климатической системы, трансформацией геохимических потоков, активностью деградационных процессов, приводит к тому, что на сегодняшний день при исследовании эволюции и развития почв необходимо учитывать тот факт, что процесс формирования почв в нынешних условиях происходит в условиях отличных от факторов почвообразования в начале голоцена. Соответственно и почвы, которые формируются в современных условиях, будут неизбежно отражать в себе абсолютно иные характеристики среды. Это положение справедливо и для почв, которые в силу определенных причин (антропогенного влияния либо проявления катастрофических явлений), перестали функционировать как система и в современных условиях перешли на новый уровень своего развития либо формирования. Эта система будет отражать новые реалии функционирования географической оболочки и это обстоятельство позволяет утверждать, что современный процесс почвообразования будет кардинально отличаться от почвообразовательного процесса, результатом которого стали современные почвы.

Основная часть Особенное внимание в современных исследованиях вызывают процессы «восстановления» и «образования почв», в условиях интенсификации эрозионных процессов, наблюдающихся тенденциях вывода из хозяйственного освоения значительных площадей малопродуктивных, деградированных и механически нарушенных почв.

Широко используемое в научной литературе понятие «восстановление» почв, на наш взгляд, не совсем верно. Этот термин требует теоретических уточнений, принципиального характера. В почвоведческой литературе "восстановлением", "саморегенерацией" почв называют "непрерывный процесс формирования или прогрессивного развития современных почвенных свойств, в том числе почвенного плодородия, под влиянием факторов почвообразования" [2, с. 5]. Т.е. восстановление почв в антропогенно-нарушенных ландшафтах – это естественный процесс, который является следствием «восстановления экологического баланса, выведенных из равновесия геосистем, которые "отброшены" по шкале внутреннего времени на предварительные или начальные стадии развития» [2, с. 5]. С точки зрения эволюционной парадигмы почвообразования [5] антропогенно-нарушенные почвы – это почвы, выведенные из основного направления эволюции из-за нарушения постоянства факторов почвообразования (природного или антропогенного характера) на другой уровень. После таких изменений почвы, формирующиеся за счет собственных процессных и структурных возможностей, начинают реализовывать потенциал окружающей среды – восстанавливать свои свойства при постоянстве современных (новых) факторов почвообразования. Другой пример: формирование «молодых» или «новых» почв на механически нарушенных поверхностях будь то участки, разрушенные в результате природных явлений, или катастроф, или участки с техногенно –

измененными субстратами. На таких участках, по нашим наблюдениям, формируются почвы со свойствами, отличающимися от фоновых полноголоценовых почв. Поэтому говорить о восстановлении почв в таком случае нет смысла. Новые почвы, формирующиеся в данной ситуации, отражают современные условия почвообразования. Это не столько следствие, сколько качественно новый процесс создания почв, который базируется на новых факторах почвообразования (возраст, климат, растительность, педофауна, почвообразующие породы). То есть, речь идет не о саморегенерации, не о восстановлении почв, которые были образованы в другие эпохи, а о создании новых, которые будут коренным образом отличаться от зональных. Поэтому термины «регенерация» («саморегенерация»), «восстановление» почв не совсем точно соответствуют действительности. Именно поэтому в таких случаях лучше говорить о процессе современного или рецентного (от лат. Recenter - недавно, только что) почвообразования, в результате которого и формируются современные молодые почвы и почвоподобные субстраты [2].

В последнее время проведены многочисленные исследования изменений состава и свойств почв под влиянием их сельскохозяйственного использования, но исследований почв, формирующихся под влиянием современных " измененных " условий, значительно меньше, а для Крымского полуострова таких работ крайне мало [3, 4]. Изучение особенностей почвообразования во времени достаточно проблематично. Решить методические ограничения в почвоведческой науке в этом вопросе на сегодня способны модели, описывающие особенности почвообразования во времени. Модели почвообразования должны дать нам ответ на вопрос: как формируются почвы, как они развиваются, как проходит процесс их эволюции во времени? Среди основных моделей почвообразования можно выделить основные группы моделей: факторные, энергетические и масс - балансовые [8].

Основным подходом к изучению процессов эволюции почв является метод хронорядов. Хроноряды почв, в зависимости от целей исследования, могут иметь различный масштаб от десятков до сотен и тысяч лет. При их изучении почвоведы используют в основном результаты полевых исследований [2, 3, 4, 6]. Хроноряд может быть преобразован в хронофункцию, или модель. Такие статистические модели могут быть применены, чтобы описать изменения свойств хронорядов почв.

На сегодня существуют различные количественные модели процессов почвообразования, созданные отечественными и зарубежными авторами. В геохимии основным подходом при моделировании является расчет темпов выветривания во времени Budiman Minasny [7], Dessert et al. [11]; Godd ris et al. [10]. В этих моделях рассматриваются процессы выветривания и образования минералов в почвенном профиле. Энергетические и термодинамические модели изучают процессы преобразования почвенного вещества под влиянием факторов почвообразования на энергетическом, термодинамическом и молекулярном уровне [1]. Физико-химические модели включают в себя изучение физических и химических процессов в течение десятилетий в профиле почв Hoosbeek и Bryant [12]. Они имитируют состояние почвы во времени и позволяют строить прогностические модели, открывают новые возможности в почвоведческой науке, учитывая современные тенденции изменения климата и изменения в тренде землепользования в целом. Budiman Minasny предлагает называть такие исследования интеллектуальным почвоведением [8]. Многие из моделей почвообразования, возникли из геоморфологических исследований. Это работы таких зарубежных авторов, как Kirkby [13], Dietrich [9] и других, совершившие существенный прогресс в моделировании эволюции почв в ландшафте на основе масс- балансовых уравнений. Необходимые условия при создании таких моделей - достаточно точное описание поведения системы на сегодняшний день и прогноз развития в будущем.

Таким образом, существующие в почвоведении математические модели основаны на общих законах сохранения массы и энергии, уравнениях равновесной и неравновесной термодинамики, теории подобия и размерностей. Основное требование к ним – служить адекватным математическим аппаратом для характеристики почвенных процессов. Однако, такие модели можно построить только тогда, когда эти процессы глубоко понятны и изучены экспериментально. Другими словами, успехи математического моделирования целиком определяются уровнем исследований почвенных процессов. На наш взгляд, на сегодня наиболее актуальными исследованиями является создание математических моделей формирования во времени гумусового горизонта – главного атрибутивного признака почвы. В литературе неоднократно поднималась эта проблема. Существуют достаточно солидные работы, в которых математическому моделированию мощности гумусового горизонта уделено значительное внимание, ведь благодаря процессу накопления почвенно-хронологической информации, в последнее время, почвоведение получило возможности для проведения процедур моделирования и верификации результатов математических моделей ресурсформирующих свойств почв [2, 3, 4, 6]. Исследование особенностей формирования почв разного возраста позволяет выделить два сценария почвообразования:

- формирование почв на рыхлом субстрате (лесах, лессовидных суглинках, супеси, лессовидных глинах, красно-бурых и желто-бурых глинах и других эолово-делювиальных отложениях);
- формирование почв на плотных горных породах (в условиях Крымского полуострова это продукты элювия – делювия известняков, конгломератов песчаников и глинистых сланцев).

Данные почвенно-хронологических исследований (около 90 объектов) на территории Крымского полуострова, в результате которых изучены разновременные почвы, образованные на развалах археологических памятников(городищ, поселений, крепостей, пещерных городов, валов) на военно-фортификационных сооружениях, отвалах карьеров, и иных датированных поверхностях позволяют перейти к процессам математического моделирования мощности гумусового горизонта почв во времени.

Формирование гумусового горизонта происходит в соответствии с моделью [2]:

$$H = Hg \cdot \exp(-\exp(a + \lambda \cdot T)), (1)$$

где H – мощность гумусового горизонта почв, мм;
 Hg – предельная мощность гумусового горизонта, мм;
 a – константа, характеризующая начальные условия почвообразования;
 λ – коэффициент, характеризующий биоклиматические особенности почвообразования;
 T – время почвообразования, годы.

Следует иметь в виду, что использованный для аппроксимации массив почвенно-хронологических данных является обобщением различных ситуаций почвообразования (например комбинации биоты и материнских пород, энергетических затрат на почвообразование, и климатические особенности) на исследуемой территории. Для почв Крымского полуострова, формирующихся в относительно стационарных биоклиматических условиях последнего периода голоцена на рыхлых материнских породах (в географическом аспекте это территория равнинного Крыма, на которой зональными аналогами молодым почвам являются темно-каштановые почвы и черноземы южные), модель принимает вид:

$$H = 341 \cdot \exp(-\exp(0,7 - 0,003 T)) (2)$$

Более быстрое освоение фитоценозом верхнего слоя материнской породы, рост продуктивности и, соответственно, увеличение количества опада, а также высокая эффективность гумификации приводят к быстрому формированию гумусового горизонта в зоне максимального поступления биомассы. Эти особенности начального этапа формирования гумусового горизонта не позволяют использовать «ранние» хроноточки в нелинейном оценивании вместе с более «поздними». Необходимо учитывать и различие факторов почвообразования в последние годы по сравнению с факторами почвообразования в начале субатлантического периода голоцена, несмотря на то, что мы принимаем, с точки зрения позиций актуализма, его однородность. В связи с этим данные, характеризующие начальный этап развития гумусового горизонта (до 200 лет – несмотря на период последнего, самого значительного антропогенного пресса, в том числе сельскохозяйственного и механического нарушения почв и породы в карьерах по добыче полезных ископаемых со времени присоединения Крыма к Российской Империи), были выделены в отдельную выборку. Для территории равнинного Крыма, где основными почвообразующими породами являются лессовидные глины, суглинки, красно-бурые и желто-бурые глины модель (1) принимает вид:

$$H = 162 \cdot \exp(-\exp(1,0 - 0,02 T)) (3)$$

Анализ особенностей формирования почв на «начальных» этапах почвообразования позволяет сделать вывод о реализации в начальной фазе почвообразования достаточно специфических тенденций. Так, эффективность формирования свойств почв на только что экспонированных материнских породах в значительной мере обусловлена отношениями в системе биота – субстрат [2], поэтому большое количество элементарных почвообразовательных процессов в молодых почвах, имеющих возраст от нескольких лет до нескольких десятков лет, протекают гораздо интенсивнее, чем при выходе их на вековой уровень развития, поэтому мы имеем все основания при изучении особенностей формирования гумусового горизонта почв рассматривать систему уравнений:

$$\begin{cases} H = 162 \cdot \exp(-\exp(1,0 - 0,02 \cdot T)) & (\text{при } T < 200 \text{ лет}) \\ H = 341 \cdot \exp(-\exp(0,7 - 0,003 \cdot T)) & (\text{при } T \geq 200 \text{ лет}) \end{cases} (4)$$

В представленной системе уравнений коэффициенты a мало меняются, но различные значения максимальной мощности гумусового горизонта – показатели, к которым стремится система, однако показательна разница почти в сто раз значение коэффициента λ , характеризующий биоклиматический потенциал педосистемы – стартовые условия почвообразования. Аналогичный подход к моделированию процессов формирования разновозрастных педосистем был реализован относительно процессов почвообразования для черноземов лесостепной зоны [2].

Анализируя полученные данные, можно утверждать, что в условиях Степного Крыма на начальных этапах формирования почвы на рыхлых почвообразующих породах возрастом от 10 до 50 лет, скорости почвообразования достигают максимальных значений 0,8 – 1,2 мм / год. В дальнейшем темпы формирования гумусового горизонта значительно снижаются от 0,8 мм / год через 100 лет от начала почвообразования до 0,2 мм/год через 200 лет. В это время вероятно происходит перестройка соотношения механизмов роста гумусового горизонта.

Скорость формирования гумусового горизонта в более поздней фазе развития меняется от 0,37 максимальное значение в возрасте 200 лет до 0,09 – 0,02 мм/год через 1000-1500 лет. После 2000 начинается процесс стабилизации скорости формирования гумусового горизонта (скорость уменьшается до 0,005 мм/год). Такие низкие значения скорости компенсационного природного почвообразования объясняют активизацию процессов деградации зональных почв под влиянием

антропогенного пресса. Поэтому так актуально изучение особенностей формирования почв в современных условиях и проектирование механизмов стабилизации и интенсификации процессов почвообразования.

Заключение. Современный процесс почвообразования имеет специфические условия, вызванные целым рядом факторов. Почвы формируются в иных условиях: климатических, биоэнергетических, геохимических и вещественных потоков, субстратных и лито-геоморфологических. Это качественно новый процесс образования почв, который мы предлагаем называть современным или рецентным почвообразованием. Используя преимущества метода хронорядов, возможно проводить процедуру моделирования процессов формирования гумусового горизонта почв при различных условиях почвообразования. Анализ изученных особенностей формирования гумусового горизонта почв во времени, позволяет утверждать о реализации на ранних стадиях почвообразования специфических тенденций: процесс прироста гумусового горизонта проходит значительно интенсивнее, чем на более поздних возрастных сроках развития почвы. Максимальная скорость формирования гумусового горизонта характерна для почв 20 – 100- летнего возраста. Скорости почвообразования на больших сроках формирования почвы зависят от особенностей почвообразующей породы и биоклиматического потенциала территории.

Источники и литература:

1. Волобуев В. Р. Введение в энергетику почвообразования / Волобуев В. Р. – М. : Наука, 1974. – 126 с.
2. Голеев П. В. Воспроизводство почв в антропогенных ландшафтах лесостепи / П. В. Голеев, Ф. Н. Лисецкий – Белгород : Изд-во Белгор. гос. ун-та. – 2005. – 232 с.
3. Ергина Е. И. Количественные аспекты моделирования процесса почвообразования почв Крыма / Ергина Е. И., Черный С. Г. // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. – 2011. – Т. 24(63). № 2. Ч. 3. Серия: География. – С. 67–72.
4. Лисецкий Ф. Н. Развитие почв Крымского полуострова в позднем голоцене / Лисецкий Ф. Н., Ергина Е. И. // Почвоведение. – 2010. – № 6. – С. 643–657.
5. Сычева С. А. Эволюционное почвоведение-новое направление в почвоведении / С. А. Сычева // Эволюция почвенного покрова. История идей и методы, голоценовая эволюция, прогнозы / [отв. ред. И. В. Иванов, Л. С. Песочина]. – Пушкино : Ин-т физ.-хим. и биол. проблем почвоведения РАН. – 2009. – С. 51–53.
6. Чендев Ю. Г. Естественная эволюция почв Центральной лесостепи в голоцене / Чендев Ю.Г. – Белгород : Изд-во Бел.ГУ, 2005. – 216 с.
7. Budiman Minasny. Mechanistic soil–landscape modelling as an approach to developing pedogenetic classifications / Budiman Minasny, Alex B. McBratney // *Geoderma*. – 2006. – Vol. 133. – P. 138–149.
8. Budiman Minasny. Quantitative models for pedogenesis – A review / Budiman Minasny, Alex. B. McBratney, Sébastien Salvador-Blanes // *Geoderma*. – 2008. – Vol 144. – P. 140–157.
9. Dietrich W. E. Geomorphic transport laws for predicting the form and evolution of landscapes / Dietrich W. E., Bellugi D., Heimsath A. M., Roering J. J., Sklar L., Stock J. D. // *Prediction in Geomorphology. AGU Geophysical Monograph Series* / [eds. by Wilcock P., Iverson R.]. – 2003. – Vol. 135. – P. 103–132.
10. Goddéri Y. Modelling weathering processes at the catchment scale : the WITCHnumerical model / Goddéri Y., Francois L. M., Probst A., Schott J., Moncoulon D., Labat D. // *Geochimica et Cosmochimica*. – 2006. – Acta 70. – P. 1128–1147.
11. Dessert C. Basaltweathering laws and the impact of basalt weathering on the global carbon cycle / Dessert C, Dupre B., Gaillardet J., Francois L. M., Allegre C. J. // *Chemical Geology*. – 2003. – Vol. 202. – P. 257–273.
12. Hoosbeek M. R. Towards the quantitative modeling of pedogenesis – a review / Hoosbeek M. R., Bryant R. B. // *Geoderma*. – 1992. – Vol. 55. – P. 183–210.
13. Kirkby, M. J. A basis for soil profile modelling in a geomorphic context. // Kirkby M. J // *Journal of Soil Science* 36, 97–121. Nesbitt, Y. W., Young, G. M., 1982, Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites : *Nature*, 299. – 1982, – P. 715–717.