УДК 631.459:631.487

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВ НА ЭРОЗИОННОЙ КАТЕНЕ

Лебедева Д.С.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, e-mail: Lebedevad.bsu@yandex.ru

Рассмотрены особенности формирования почвенного покрова на эрозионной катене со сложными геоморфологическими условиями. Показано, что при продольной выпуклой форме склона с переменным уклоном по его длине зависимость распределения мощности гумусового горизонта от топографического фактора неоднозначная. Степень сбалансированности процессов эрозии и почвообразования хорошо диагностируется по соотношению гумусово-аккумулятивного горизонта к переходному (А/АВ). В формировании почвенного покрова на сложных склонах помимо эрозии значительную роль играет аккумулятивный процесс. Таким образом, до распашки склонов на них проходил сингенетичный эрозионно-аккумулятивный процесс, что определяет необходимость корректировки принятых подходов оценки эродированности склоновых почв путем их сравнению с эталоном (полнопрофильными почвами на водоразделе).

Ключевые слова: эрозия почв, почвообразование, сложные склоны, топографический фактор, почвенные горизонты, допустимые потери почвы

GEOMORPHOLOGICAL BACKGROUND ON THE FORMATION OF SOIL EROSION CATENA

Lebedeva D.S.

Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: Lebedevad.bsu@yandex.ru

Features of formation of soil erosion on the catena complex geomorphic conditions were considered. It is shown that the longitudinal slope of a convex shape with a variable slope along the length of the dependence of the power distribution of the humus horizon of the topographic factor is ambiguous. The degree of balanced the processes of erosion and soil formation are well diagnosed by the ratio of humus accumulation horizon to the adapter (A/AB). In the soil formation on the compound slopes in addition to a significant erosion of the role played by accumulative process. Thus, before plowing the slopes they took syngenetic erosion-accumulative process that determines the need to adjust the approaches adopted sloping soil erosion estimates by comparing them with the standard (full profile soils in the watershed).

Keywords: soil erosion, soil formation, challenging slopes, topographic factors, soil horizons, the soil loss tolerance

В антропогенно трансформированных ландшафтах проявляется ускоренная эрозия почв, которая в общем случае на порядок превышает темпы природного почвообразования. Особенно острой проблема несбалансированности процессов эрозии и почвообразования становится в горных районах [4, 6], где представлены крутые склоны (5–10°). Считается, что на таких склонах потенциальная степень смытости почвы сильная.

В настоящее время в эрозиоведении все большее внимание уделяется разработке фундаментальных представлений об эрозии почв. Рассматривая водно-эрозионный процесс как диалектическое единство разрушения почвы, переноса и аккумуляции переносимого материала, соответствующий результат этого единства будет проявляться в чередовании в пространстве и времени участков смыва и аккумуляции на склоне, приводящее к формированию волнистого продольного профиля склона, который накладывается на его макроформу. Постановка связанных с этим исследовательских проблем получила отражение в новой монографии по эрозионной тематике [8].

Материалы и методы исследования

Для прецизионного изучения изменения морфологического строения почв по топографическому градиенту выбран балочный склон северной экспозиции общей длиной 53 м, преимущественно выпуклый, в верхней и средней части (первые 26 м) его крутизна составляет 11,8° (7–14°), нижняя часть – прямая с уклоном 9°. Земельный участок по объективным причинам никогда не распахивался, но зафиксирована умеренная пастбищная нагрузка (до 1 гол. КРС/1 га). На катене доминирует типчаково-разнотравная ассоциация, общее проективное покрытие по длине склона меняется незначительно: от 80 до 95 %. Величина надземной фитомассы (определение в сентябре) также мало варьируется по длине склона: от 1,17 до 1,81 т/га.

Зональная почва – чернозем южный карбонатный тяжелосуглинистый. У полнопрофильной почвы мощность гор. А + АВ составляет 51 см. Его формирование обусловлено следующими климатическими факторами: среднегодовая температура воздуха составляет 9,8°, радиационный баланс – 2228 МДж/м^2 в год, сумма температур – больше 10–3300°, среднегодовая сумма осадков – 400 мм.

Балочный чернозем сформирован на лессовидном суглинке, который у всех почв катены выступает материнской породой, но уже с небольшой глубины он подстилается известняком. Вскипание от HCl у всех почв катенарного комплекса зафиксировано с поверхности. В гор. bpjynt А содержание

гумуса не превышает 3%, карбонатов содержится свыше 4%, реакция почвенного раствора нейтральная или слабощелочная. Объемную массу (d_V) определяли на протяжении года в смываемом слое почвы (0–10 см). Средняя величина изучаемой совокупности d_V ($n = 28$) с 95%-м уровнем вероятности находится в интервале 1,14–1,20, а с 95%-м уровнем – 1,13–1,21 т/м^3.

В эрозионной части катены почвенные полуямы закладывали через каждый метр, а рельефные условия охарактеризованы геодезическими методами с той же степенью детальности. Топографический фактор (LS) отражает совместное влияние длины и крутизны склона на смыв почвы. Крутизна склона выражена отношением превышения в метрах на 100 м расстояния, т.е. в процентах. Расчет рельефной функции LS проведен по ГОСТ 17.4.4.03-86.

Результаты исследования и их обсуждение

Характер продольного профиля склона в конкретном случае представляет собой функцию совместного влияния многих факторов, среди которых определяющими являются длина и крутизна склона, макроформа его продольного профиля, почвенно-грунтовые, климатические и фитоценотические условия [8], а также прямой характер хозяйственного использования почвенно-растительного покрова на склоне и опосредованный (из-за дальнодействия гидрологической ситуации на водосборе, частью которого является склон). Своеобразное значение может иметь сложившаяся на склоне структура сети водороин, когда эрозионные факторы будут по-особому определять поверхностный смыв и потери почвы через линейные размывы.

Если уйти от идеализированного представления о монотонном продольном профиле склонов, полагая более широким распространение в действительности сложных по форме склонов с переменным уклоном, то логично предположить, что и почвы на разных частях склона будут по-разному отражать почвенно-геоморфологические взаимоотношения, т.е. на склоне могут не только формироваться ожидаемые по общей направленности топографического градиента парагенетические общности слабо-, средне-, сильно- смытых, смыто-намытых и намытых почв, но в некоторых позициях микрорельефа они могут меняться местами.

В пределах трансаккумулятивных позиций ландшафтов могут формироваться смыто-намытые почвы, которые расположены на крутосклонных участках и отражают значительную межгодовую вариабельность интенсивности водно-эрозионного процесса. В годы с небольшой интенсивностью смыва энергии потока не хватает для полного выноса смытого материала за пределы склона, а достаточным условием, способствующим аккумуляции, может стать каскадность склона, несмотря на значительную его крутизну.

Рост интенсивности поверхностного смыва почвы по мере увеличения длины склона связана с приумножением массы стекающей воды и нарастанием высоты ее падения, что усиливает механическую работу водного потока. Величина смыва на выпуклых участках склонового профиля будет увеличиваться, причем рост будет тем больше, чем больше кривизна, а на вогнутых участках – уменьшаться [8]. В общей записи рельефной функции, отражающей средневзвешенные параметры морфометрии склона, удельный вклад уклона всегда больше, чем вклад длины склона.

На выбранной ландшафтной катене исследовательский интерес был сфокусирован на педотопокатене, т.е. на цепочке почв, сопряженных по градиенту рельефа и связанных однонаправленным поверхностным и латеральным потоками вещества и энергии. Мезо- и микромасштабная волнистость продольного профиля оказывает огромное влияние на характер и интенсивность эрозионно-аккумулятивного процесса на склоне [8]. По всей длине катены средняя мощность гор. А составляет 22,20 ± 1,05 см (коэффициент вариации (V) – 24%), мощность гор. А + АВ составляет 44,30 ± 1,78 см (V – 21%). Почву на половине длины склона можно определить как среднесмытую, а ниже – как формирующуюся при сочетании процессов смыва и аккумуляции различных интенсивностей. Примечательно, что среднее значение мощности горизонтов А и АВ совпадают, поэтому отношение А/АВ близко к единице. Ранее установлено [4], что процесс гумусонакопления опережает процесс увеличения мощности гумусового горизонта. Если значения мощности горизонтов А и АВ сходные, то этим диагностируется сбалансированный характер действия механизмов развития гумусового профиля: наряду с ускоренным формированием гумусово-аккумулятивного горизонта в зоне ризосферы травянистых растений и в переходном горизонте успевают реализоваться процессы внутрипочвенного перераспределения гумусовых веществ [2].

Склоновые процессы формализовано можно представить в следующем виде

$$10 \cdot V_j \cdot d_V = SF_j + D_j - Q_j, \qquad (1)$$

где $V_j = H_j / t$;

здесь H_j – средняя мощность гумусового горизонта почвы (мм) на склоне до створа j, лежащего на расстоянии (м) от водораз-

дела; t – время ландшафтных процессов, годы; V_j – среднемноголетнее приращение мощности гумусового горизонта почвы в результате действия всех почвообразовательных процессов, мм/год; SF_j – среднегодовая скорость формирования гумусового горизонта почвы, т/га; D_j – среднемноголетняя аккумуляция переносимого материала на склоне, т/га; Q_j – среднегодовой смыв почвы, т/га; d_V – объемная масса верхнего слоя почвы, т/м^3.

Количественную оценку почвообразовательных и геоморфологических процессов можно провести по зависимости:

$$\Delta H_j = \Delta H(\text{п})_j + \Delta H(\text{ак})_j - 0{,}1 \cdot Q_j / d_V, \quad (2)$$

где ΔH_j – результирующие изменения мощности гумусового горизонта почвы (мм/год) на склоне до створа j; $\Delta H(\text{п})_j$ – приращение мощности гумусового горизонта почвы в результате ассимиляции нижних горизонтов почвы в результате почвообразовательного процесса, мм/год; $\Delta H(\text{ак})_j$ – возможная величина аккумуляция переносимого материала на склоне до створа j, мм/год.

Так как по мере увеличения длины линии тока и нарастания крутизны склона величина водно-эрозионных потерь почвы должна увеличиваться, то предполагают, что степень смытости почвы закономерно нарастает сверху вниз. Анализ рис. 1 показывает, что при учете почвенно-геоморфологических взаимоотношений посредством топографического фактора LS-зависимость мощности гумусового горизонта от рельефных условий неоднозначна.

Значения рельефной функции по всей длине склона закономерно нарастают, увеличиваясь на порядок (с 0,38 до 3,24), за исключением геоморфологической ступени (на расстоянии 9–11 м от бровки), где крутизна склона снижается до 7–9°. При анализе морфологического строения почв по длине склона (рис. 1) установлено, что эрозионная часть катены, судя по изменению мощности гор. А, заканчивается в 13–14 м от бровки, а по изменению мощности гор. АВ и А + АВ = до 11 м. Таким образом, наличие на склоне даже узкой (3 м) геоморфологической ступени резко меняет отражение в почвенном покрове результатов водно-эрозионного процесса. Ниже этой ступени даже в условиях нарастания средневзвешенной крутизны склона по его длине мощность горизонтов гумусового профиля увеличивается вплоть до нижней части склона. В 4 м ниже геоморфологической ступени отмечена максимальная мощность почвы, хотя крутизна на этом отрезке увеличивается на 8°. В условиях хорошо задернованной поверхности склона часть наносов из эрозионной микрозоны катены переотложилась в трансаккумулятивной ее части, со временем «встраиваясь» в гумусовый горизонт, а часть выносилась в тальвег балки. Предположительно, среднегодовая скорость накопления наносов в трансаккумулятивной части катены составляла 0,2 т/га.

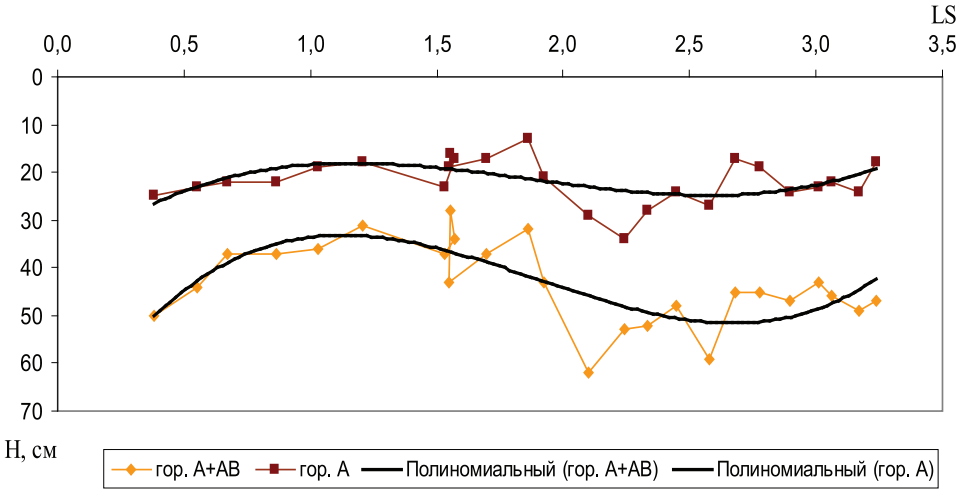

Рис. 1. Зависимость распределения мощности горизонтов гумусового профиля по длине склона от рельефной функции (LS)

По мере усиления эрозионной трансформации почвы происходит перестройка морфологического строения гумусового профиля, которую диагностирует соотношение А/АВ. В пределах катены по величине А/АВ выявлено три микрозоны, где из-за эрозионных потерь не успевает реализоваться в переходном горизонте компенсирующая роль почвообразовательного процесса: 11–13, 19–21 и 26 м от бровки склона

(рис. 2). Напротив, наиболее активное и устойчивое воспроизводство гор. А по отношению к переходному горизонту отмечено в верхней части склона (на удалении до 11 м от бровки). Среднегодовая скорость формирования гумусового горизонта почв в этой части склона (включая эрозионные потери почвы) оценивается в 0,45 т/га.

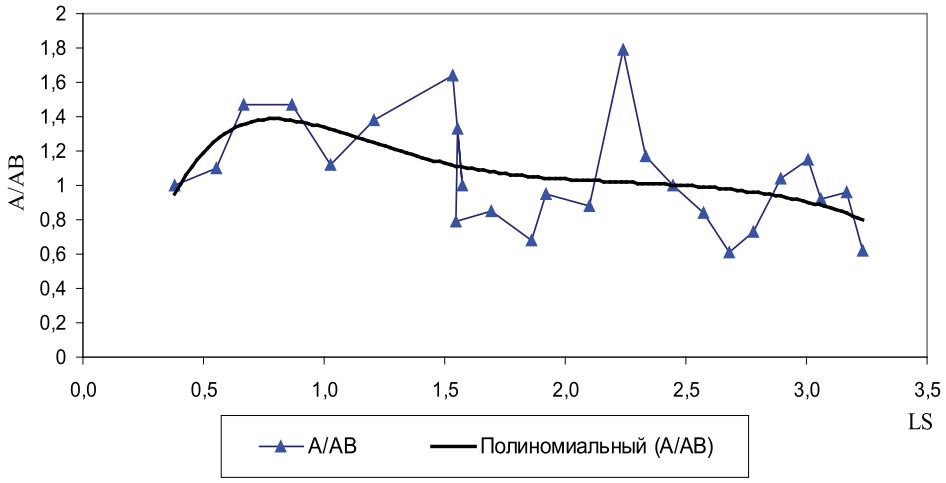

Рис. 2. Зависимость распределения мощности горизонтов гумусового профиля по длине склона от рельефной функции (LS)

В практике экологического контроля устанавливают в качестве нормативов такой предел антропогенного воздействия на окружающую среду, превышение которого может создать угрозу сохранению оптимальных условий сосуществования человека и среды его обитания. Наряду с экологическими нормативами рассматривают также предельно допустимые нормативные нагрузки на окружающую среду. В этой связи проблема обоснования предельно допустимых эрозионных потерь может рассматриваться двояко: и как установление минимального допуска на интенсивность эрозии, и как предельное значение потерь, не снижающее заданный уровень плодородия почв из-за компенсации процессом почвообразования. В этом случае применима общая запись процесса нормирования эрозионных потерь почвы:

$$SF - Q \geq T, \qquad (3)$$

где SF – среднегодовая скорость формирования гумусового горизонта почвы, т/га; Q – среднегодовой смыв почвы, т/га; T – допустимые эрозионные потери почвы, т/га.

Допустимые эрозионные потери почвы – это важнейший параметр для контроля почвозащитных мер, и как термин имеет значительное количество синонимов, используемых в научной литературе Европы и Северной Америки: «soil loss tolerance (T-values)», «tolerance (tolerable) level», «T-value concept (tolerable soil loss)», «erosion tolerance», «permissible soil loss», «acceptable rates of erosion», «allowable soil loss» и др. Поскольку потери почвы включают в себя перемещение почвенного материала под влиянием двух групп процессов – физических (эрозия) и биохимических (растворенный/газообразный экспорт минеральных веществ и разложение органического вещества), термин «допустимая эрозия почвы» предпочтительнее, когда речь идет об эрозионных потерях почвы в контексте ее защиты [11].

Как было показано ранее [3], прямое отождествление допустимых эрозионных потерь почвы со скоростью почвообразования показало свою нежизненность: в агроландшафте почвы из-за эрозионной сработки имеют иные скорости, чем в условиях природного почвообразования а скорости природного почвообразования, зачастую, на порядок ниже «желательных» (возможных для отслеживания в противоэрозионном контроле) и др.). Эффективность воспроизводства почв имеет широкий спектр изменчивости, в первую очередь, в силу различий интенсивности вещественно-энергетических потоков и особенностей органоминеральных взаимодействий при объективной мозаичности биолитологических условий почвообразования. Так, на полувековом этапе педогенеза скорость формирования гумусового горизонта почв варьируется в широких границах: от 0,5 до 4,1 мм/год, т.е. отличается в 8 раз [1]. Следует также учитывать, что в агроландшафте количественные изменения почвообразования нередко переходят в качественные, меняя таксономический статус почвы. У пахотных гори-

зонтов почв, которые испытали длительные земледельческие нагрузки, даже после режима залежи сохраняются достоверные различия свойств по сравнению с горизонтами целинных и недавно вовлеченных в распашку почв [10]. Выявлена эрозионная обусловленность ускорения агротехногенной эволюции почв, что, к примеру, отражается в факте более быстрой трансформации смытых серых лесных почв, находящихся в длительной распашке, в черноземы [9].

Заключение

Установлено, что при волнистом продольном профиле склона зависимость мощности гумусового горизонта почв от топографического фактора неоднозначная. В формировании почвенного покрова на сложных склонах помимо эрозии значительную роль играет аккумулятивный процесс. Степень сбалансированности процессов эрозии и почвообразования хорошо диагностируется по соотношению гумусово-аккумулятивного горизонта к переходному (А/АВ). Если склоны хорошо задернованы, то на них проходит сингенетичный эрозионно-аккумулятивный процесс, что определяет необходимость корректировки принятых подходов в оценке эродированности склоновых почв путем их сравнения с эталоном (полнопрофильными почвами на водоразделе). Перспективна верификация полевыми данными сопряженных результатов, которые могут быть получены с помощью ГИС-технологий при проведении ландшафтно-экологического анализа территории и количественной оценке распределения факторов эрозии и почвообразования [5, 7].

Список литературы

1. Голеусов П.В. Формирование почв в различных комбинациях субстратно-фитоценотических условий лесостепной зоны // Почвоведение. – 2003. – № 9. – С. 1050–1060.

2. Лисецкий Ф.Н. Почвенные катены в археологических ландшафтах // Почвоведение. – 1999. – № 10. – С. 1213–1223.

3. Лисецкий Ф.Н. Эрозия почв и пространственно-временное моделирование формирования гумусового горизонта почв // Эрозионные и русловые процессы. – 2000. – № 3. – С. 47–51.

4. Лисецкий Ф.Н., Ергина Е.И. Развитие почв Крымского полуострова в позднем голоцене // Почвоведение. – 2010. – № 6. – С. 643–657.

5. Нарожняя А.Г., Кузьменко Я.В. Прогноз скорости и характера развития эрозионной сети под воздействием природных и антропогенных факторов в бассейнах рек среднерусской возвышенности // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 2. – С. 6–11.

6. Предельно допустимый уровень эрозии бурых лесных почв Северо-Западного Кавказа в условиях интенсивного земледелия / Штомпель Ю.А., Лисецкий Ф.Н., Сухановский Ю.П., Стрельникова А.В. // Почвоведение. – 1998. – № 2. – С. 200–206.

7. Применение геоинформационных систем для агроэкологической оценки земель при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия / Смирнова Л.Г., Нарожняя А.Г., Кривоконь Ю.Л., Петрякова А.А. // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 11. – С. 11–14.

8. Современные проблемы эрозиоведения / Ф.Н. Лисецкий, А.А. Светличный, С.Г. Черный / Под ред. А. А. Светличного. – Белгород: Константа, 2012. – 456 с.

9. Чендев Ю.Г., Иванов И.В., Песочина Л.С. Тренды естественной эволюции черноземов восточно-европейской равнины / Ю. Г. Чендев // Почвоведение. – 2010. – № 7. – С. 779–787.

10. Lisetskii F.N., Stolba V.F., Ergina E.I., Rodionova M.E., Terekhin E.A. Post-agrogenic evolution of soils in ancient Greek land use areas in the Herakleian Peninsula, southwestern Crimea // The Holocene. – 2013. – Vol. 23. – № 4. – P. 504–514.

11. Verheijen F.G.A., Jones R.J.A., Rickson R.J., Smith C.J. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe // Earth-Science Reviews. – 2009. – № 94 (1-4). – P. 23–38.

References

1. Goleusov P.V. *Pochvovedenie*, 2003, no 9, pp. 1050–1060.

2. Lisetskii F.N. *Pochvovedenie*, 1999, no, pp. 1213–1223.

3. Lisetskii F.N. *Jerozionnye i ruslovye processy*, 2000, no 3, pp. 47–51.

4. Lisetskii F.N., Ergina E.I. *Pochvovedenie*, 2010, no 6, pp. 643–657.

5. Narozhnaya A.G., Kuz'menko Y.V. *Problemy regional'noj jekologii*, 2011, no 2, pp. 6–11.

6. Shtompel' Y.A., Lisetskii F.N., Sukhanovsky Y.P., A.V. Strelnikova. *Pochvovedenie*, 1998, no 2, pp. 200–206.

7. Smirnova L.G., Narozhnaya A.G., Krivokon J.L., Petryakova A.A. *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2011, no 11, pp. 11–14.

8. *Sovremennye problemy jeroziovedenija* [Modern problems of erosion science] / Lisetskii F.N., Svetlichny A.A., Chernyj S.G. / Ed. A.A. Svetlichny. Belgorod: Constanta, 2012. 456 p.

9. Chendev Yu.G., Ivanov I.V., Pesochina L.S. *Eurasian Soil Science,* 2010, vol. 43, no. 7, pp. 728–736.

10. Lisetskii F.N., Stolba V.F., Ergina E.I., Rodionova M.E., Terekhin, E.A. *The Holocene*, 2013, vol. 23, no 4, pp. 504–514.

11. Verheijen F.G.A., Jones R.J.A., Rickson R.J., Smith C.J. *Earth-Science Reviews*, 2009, no. 94 (1–4), pp. 23–38.

Рецензенты:

Лисецкий Ф.Н., д.г.н., профессор, директор Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, НИУ БелГУ, г. Белгород;

Чендев Ю.Г., д.г.н., профессор, заведующий кафедрой природопользования и земельного кадастра, ФГАУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород.

Работа поступила в редакцию 19.07.2013.