

УДК 631.6.02

В.М. Ивонин, О.В. Перфильев, И.В. Воскобойникова

Ивонин Владимир Михайлович родился в 1938 г., окончил в 1969 г. Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и лесных мелиораций Новочеркасской государственной мелиоративной академии, заслуженный деятель науки РФ. Имеет около 300 печатных работ в области экологии и лесной мелиорации.



Воскобойникова Инна Владимировна родилась в 1968 г., окончила в 2003 г. Новочеркасскую государственную мелиоративную академию, аспирант кафедры экологии и лесных мелиораций ИГМА. Имеет одну печатную работу в области лесных мелиораций.

**О ВЛИЯНИИ ПЛОТНОСТИ ПОЧВ НА ЭРОЗИЮ ПРИ АНТРОПОГЕННОЙ ДИГРЕССИИ ГОРНЫХ ЛЕСОВ**

Показано, что при уплотнении бурых лесных почв на вырубках горных склонов снижается водопроницаемость, растут интенсивность стока и эрозия. Водопроницаемость может определять взаимосвязь эрозии с поверхностными оползнями. Эрозия серо-коричневых почв и щебенистых черноземов прямо связана с плотностью, которая служит диагностическим признаком стадии рекреационной дигрессии.

Ключевые слова: горные леса, дигрессия, вырубка, почва, эрозия.

При антропогенной дигрессии горных лесов (под влиянием рубок, тракторной трелевки, рекреационных нагрузок) эрозию во многом определяют водно-физические характеристики почв, важнейшей из которых является плотность. От нее зависят порозность, сцепление между частицами и агрегатами почвы. Порозность связана с водопроницаемостью (интенсивностью впитывания воды) почв, сцепление – с допустимой (неразмывающей) донной скоростью течения потоков, характеризующей эрозию.

По мнению Ц.Е. Мирцхулавы [8], допустимые скорости течения потоков возрастают по мере уплотнения связных грунтов в состоянии полного водонасыщения. Иначе говоря, чем плотнее грунты, слагающие русла рек и каналов, тем меньше эрозия.

При определении допустимых скоростей водных потоков во время размыва образцов грунта в гидравлических лотках считают, что если соблюдать принцип единственного различия в эксперименте, то четко проявляется прямая зависимость эрозии от плотности грунтов [6]. Поэтому известную гидромеханическую модель Ц.Е. Мирцхулавы [7], оценивающую противозерозионную стойкость связных грунтов через неразмывающую скорость потоков, М.С. Кузнецов [5] модернизировал для почв. По модели М.С. Кузнецова, с возрастанием плотности и уменьшением порозности почв увеличивается донная размывающая скорость водных потоков, т. е. уменьшается эрозия. Это не всегда соответствует данным натуральных наблюдений, осо-

бенно на почвах, обладающих высокой водопроницаемостью (черноземы, бурые лесные почвы и др.). Например, после прохода трактора вдоль склона эрозия активизируется в местах уплотнения почвы по колее.

Эти разногласия можно объяснить методиками исследований: при моделировании эрозии в гидравлическом лотке исключают фактор водопроницаемости почв, а в натуральных экспериментах интенсивность впитывания воды играет главенствующую роль.

Особенно велико значение плотности и водопроницаемости почв как факторов эрозии в деградированных горных лесах. Поэтому нами в 1998 – 2003 гг. проведены опыты по изучению влияния плотности на эрозию бурых лесных, серо-коричневых и других почв в горных лесах Краснодарского и Ставропольского краев.

Вариантами опытов служили элементы вырубок разного возраста и участки лесов разной степени рекреационной дигрессии по ОСТ 56–100–95 [9]. При невозможности выделения участков с разной степенью дигрессии моделировали рекреационные нагрузки – при «шагании» человека средней массы со скоростью 3,5 км/ч (60 м/мин) на площадках 1,43 × 0,7 м. По вариантам площадок моделировали рекреационные нагрузки 0, 1, 3, 5, 7, 9 и 11 чел./га. В каждом варианте опытов проводили искусственное дождевание и изучали эрозию почв. Подробная методика этих исследований опубликована ранее [4].

По вариантам отбирали образцы почв из слоя 0 ... 20 см согласно ГОСТ 12071–72, лесной подстилки (ЛП) и живого напочвенного покрова (ЖНП). В образцах почв определяли водно-физические свойства по ГОСТ 5180–84 и прочностные характеристики по ГОСТ 12248–78, а образцы ЛП и ЖНП доводили до воздушно-сухого состояния и взвешивали.

Известно, что при антропогенной деградации лесов происходят как уплотнение почвы, так и сдирание (частичное или полное) лесной подстилки. Поэтому при регрессионном анализе данных наших исследований на вырубках Пшишского лесхоза Краснодарского края [1] были получены следующие зависимости (бурые лесные почвы, слой дождя 90 мм, интенсивность 3 мм/мин):

$$\sigma = 1,05\gamma - 0,08m - 0,83 \quad \text{при } R = 0,738 \pm 0,118; \quad (1)$$

$$\mathcal{E} = 7,48\gamma - 0,12m - 8,57 \quad \text{при } R = 0,744 \pm 0,105, \quad (2)$$

где σ – коэффициент ливневого стока;

\mathcal{E} – эрозия почв, т/га;

γ – плотность слоя почв 0 ... 20 см, г/см³;

m – воздушно-сухая масса ЛП и ЖНП, т/га;

R – коэффициент множественной корреляции.

Согласно выражениям (1) и (2), ливневый сток и эрозия находятся в прямой зависимости от плотности почв и в обратной – от воздушно-сухой массы ЛП и ЖНП. Эти показатели определяют водопроницаемость (интенсивность впитывания воды): плотность – через порозность почв; лесную подстилку и живой напочвенный покров – через их влагоемкость, защитную

(от запыливания поверхности под ударами капель) роль, способность постепенной отдачи почве накопленной воды. Поэтому по элементам вырубок (пасеки, волоки и др.) эрозия почв связана обратной зависимостью с интенсивностью впитывания:

$$\Theta = 4,7 - 1,6 I_{\text{в}} \quad \text{при } r = -0,820 \pm 0,086, \quad (3)$$

где $I_{\text{в}}$ – интенсивность впитывания воды, мм/мин, $I_{\text{в}} = h / (T + t)$ (h – слой дождя, мм; T – продолжительность дождевания, мин; t – время добега сточа по площадке после прекращения дождя, мин);

r – коэффициент парной корреляции.

В то же время интенсивность впитывания связана и со сцеплением (C , МПа), т. е. основной силой, сохраняющей устойчивость склонов. Эта связь имеет вид

$$C = 0,084 - 0,012 I_{\text{в}} \quad \text{при } r = -0,506 \pm 0,192. \quad (4)$$

Следует отметить, что тройная ошибка коэффициента корреляции уравнения (4) больше самого коэффициента ($3 \cdot 0,192 > 0,506$), значит, уравнение (4) непригодно для прогноза. Однако анализ уравнений (3) и (4) дает основание полагать, что увеличение интенсивности впитывания сточных вод для предупреждения эрозии почв может привести к ослаблению сил сцепления между почвенными частицами и агрегатами с активизацией оползневых процессов. Поэтому с водопроницаемостью бурых лесных почв связаны два геологических процесса – эрозия и оползни. Ослабление одного из них приводит к усилению другого, и наоборот. Так себя проявляет известный закон связи в развитии геологических процессов на вырубках горных склонов [1].

По мере возрастания уклонов местности увеличиваются интенсивность стока и эрозия, особенно там, где поверхность склонов лишена защитного слоя ЛП и ЖНП (трелевочные волоки, технологические дороги, трассы трубопроводов и др.).

Эксперименты, проведенные в Сочинском национальном парке (бурые лесные почвы, слой дождя 75 мм, интенсивность 2,5 мм/мин), позволили получить следующие зависимости [3]:

$$I_{\text{с}} = 2,6\gamma + 1,14i - 2,9 \quad \text{при } R = 0,650 \pm 0,139; \quad (5)$$

$$\Theta = 9,9\gamma + 71,81i - 23,86 \quad \text{при } R = 0,552 \pm 0,164, \quad (6)$$

где $I_{\text{с}}$ – интенсивность стока, мм/мин, $I_{\text{с}} = h_{\text{с}} / T_{\text{с}}$ ($h_{\text{с}}$ – слой стока, мм; $T_{\text{с}}$ – продолжительность стока, включая время добега воды после прекращения дождя, мин).

Согласно выражениям (5) и (6), на вырубках горных склонов при сильном повреждении или полном уничтожении лесной подстилки и живого напочвенного покрова, по мере уплотнения верхнего слоя бурых лесных почв снижается их водопроницаемость, увеличиваются интенсивность стока и эрозия. Сравнивая формулы (2) и (6), можно заключить, что отсутствие ЛП и ЖНП вызывает усиление плотности почв в эрозионных процессах. Плотность прямо влияет на эрозию до тех пор, пока водопроницаемость плотных почв не снизится до определенного значения, которым можно пре-

небрежь. Тогда при дальнейшем возрастании плотности возможно уменьшение эрозии. Наблюдения на магистральных волоках и лесовозных дорогах (где почва уничтожена) показали, что при достижении плотности верхнего слоя грунта около $1,6 \text{ г/см}^3$ водопроницаемость снижается до пренебрежимо малой величины и уже не влияет на эрозию.

В регионе Кавказских Минеральных Вод (КМВ) на серо-коричневых почвах и предгорных черноземах гор – лакколитов антропогенная деградация лесов происходит под влиянием рекреации. Здесь исследования провели в различных типах лесов Бештаугорского лесхоза, где в 2000–2001 гг. подобрали опытные участки, имитировали рекреационные «шаговые» нагрузки и выполнили дождевание по вариантам (слой дождя 80 мм, интенсивность 2 мм/мин). Результаты этой работы приведены в табл. 1.

Из данных таблицы следует, что при имитации рекреационных нагрузок не обнаружено связей сцепления с плотностью и эрозией почв. Можно полагать, что сцепление обусловлено главным образом связующим (между агрегатами) действием корневых систем. Поэтому рекреационные нагрузки на серо-коричневые почвы не вызывают опасности активизации оползней. Однако характеристики стока тесно связаны с рекреационными нагрузками через плотность верхнего слоя почв, массу лесной подстилки и живого напочвенного покрова:

$$\sigma = 1,09\gamma - 0,01m - 1,10 \quad \text{при } R = 0,644 \pm 0,111. \quad (7)$$

Анализ уравнения (7) показывает, что плотность почвы является ведущим фактором формирования стока при ливнях. Воздушно-сухая масса ЛП и ЖНП в широколиственных лесах КМВ не превышает 10 ... 13 т/га.

Таблица 1

2

Вариант рекреационной нагрузки	Воздушно-сухая масса ЛП и ЖНП, т/га	Плотность почв, г/см^3	Сток, мм	Коэффициент стока	Эрозия почв, т/га	Сцепление, МПа
--------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------	----------	-------------------	-------------------	----------------

Опыт 1 (дубрава ясеневно-кленовая, возраст 55 лет, склон крутизной $6,0^\circ$)

Контроль (без нагрузки)	12,32	1,02	0	0	0	0,025
Нагрузка, чел./га:						
1	9,57	1,07	0	0	0	0,015
3	7,24	1,05	2,6	0,035	0,013	0,025
5	5,42	1,09	2,4	0,030	0,012	0,020
7	3,52	1,10	8,8	0,110	0,070	0,010
9	1,50	1,12	10,0	0,125	0,100	0,010
11	0,60	1,30	9,4	0,117	0,103	0,020

Опыт 2 (бучина дубово-грабовая, возраст 140 лет, склон крутизной $14,5 \dots 17,0^\circ$)

Контроль (без нагрузки)	5,13	1,15	0	0	0	0,005
Нагрузка, чел./га:						
1	5,53	1,16	0,3	0,004	0	0,015

3	2,40	1,16	6,9	0,086	0,221	0,010
5	3,50	1,19	7,2	0,090	0,173	0,020
7	0,10	1,23	10,0	0,125	0,370	0,005
9	0,10	1,24	10,6	0,132	0,530	0,008
11	0,50	1,24	23,1	0,289	1,894	0,015

Опыт 3 (судубрава грабово-ясеневая, возраст 110 лет,
склон крутизной 8,0...12,0°)

Контроль (без нагрузки)	8,48	1,12	0	0	0	0,005
Нагрузка, чел./га:						
1	8,95	1,13	0	0	0	0,020
3	6,48	1,14	0,3	0,004	0,005	0,020
5	6,29	1,16	1,2	0,015	0,028	0,010
7	4,10	1,17	3,4	0,042	0,051	0,020
9	2,20	1,18	7,8	0,097	0,429	0,005
11	1,40	1,19	15,7	0,196	0,429	0,010

Опыт 4 (субучина грабовая, возраст 110 лет, склон крутизной 9,5...16,0°)

Контроль (без нагрузки)	3,44	1,13	0	0	0	0,010
Нагрузка, чел./га:						
1	2,72	1,15	3,8	0,047	0,004	0,010
3	1,58	1,20	10,4	0,130	0,042	0,020
5	1,37	1,20	16,1	0,201	0,097	0,010
7	1,30	1,22	26,8	0,335	0,858	0,020
9	1,20	1,22	41,1	0,514	5,672	0,020
11	1,00	1,28	52,0	0,650	7,280	0,010

Поэтому, уничтожаясь под рекреационными нагрузками, она слабо влияет на связь между σ и m . Зависимость эрозии от плотности почвы характеризуется уравнением

$$\mathcal{E} = 15,38\gamma - 17,17 \quad \text{при } r = 0,548 \pm 0,132. \quad (8)$$

Согласно формуле (8), в твердолиственных лесах КМВ эрозия возможна при рекреационном уплотнении слоя 0 ... 20 см серо-коричневых почв более 1,12 г/см³. Возрастание эрозии под влиянием рекреационных нагрузок и уклонов местности [2] происходит в соответствии с уравнением

$$\mathcal{E} = 0,226 Rd + 1,428i - 0,816 \quad \text{при } R = 0,52 \pm 0,14, \quad (9)$$

где Rd – рекреационная плотность, чел./га.

На втором этапе (2002–2003 гг.) исследования проводили в водоохранных лесах КМВ (серо-коричневые почвы и щебенистые черноземы) разной степени рекреационной дигрессии (слой дождя 80 мм, интенсивность 2 мм/мин). Результаты приведены в табл. 2.

По данным таблицы заключаем, что нет тесных связей сцепления с плотностью верхнего слоя почв ($r = 0,121$) и эрозией ($r = 0,101$). Согласно ОСТ 56–100–95, стадии рекреационной дигрессии определяются

Таблица 2

Стадия	Воздушно-	Плотность	Сток,	Коэффициент	Эрозия	Сцепление,
--------	-----------	-----------	-------	-------------	--------	------------

дигрессии	сухая мас- са ЛП и ЖНП, т/га	почв, г/см ³	мм	стока	почв, т/га	МПа
Опыт 1 (свежая дубрава – 5ДНВ5КЛО, возраст 44 года, склон крутизной 1,5...4,5°)						
Пятая	0	1,28	78,7	0,983	4,15	0,020
Четвертая	3,50	1,37	25,4	0,317	0,34	0,020
Третья	5,50	1,31	11,8	0,147	0,14	0,025
Вторая	9,60	1,14	0	0	0	0,020
Первая	8,90	1,13	0	0	0	0,020
Опыт 2 (свежая дубрава – 5 ДНН5ЯО, возраст 61 год, склон крутизной 2,0...2,5°)						
Пятая	1,80	1,19	11,5	0,144	0,50	0,015
Четвертая	2,90	1,15	3,0	0,037	0,20	0,015
Третья	2,80	1,24	2,0	0,025	0,12	0,015
Вторая	4,10	1,06	0	0	0	0,020
Первая	10,30	1,10	0	0	0	0,015
Опыт 3 (свежая дубрава – 8ЯО1КЛО1ДНН, возраст 131 год, склон крутизной 1,0...3,5°)						
Пятая	0	1,18	31,4	0,392	1,53	0,025
Четвертая	1,80	1,16	13,8	0,172	0,55	0,020
Третья	3,25	1,12	0,2	0,002	0,01	0,020
Вторая	4,00	1,13	0	0	0	0,030
Первая	5,25	1,12	0	0	0	0,015

Примечание. ДНВ и ДНН – соответственно дуб нагорный высокоствольный и низкоствольный; КЛО – клен остролистный; ЯО – ясень обыкновенный.

трансектным методом по соотношению вытоптанной и общей учетной площади лесов. Поэтому при обработке данных табл. 2 получили соотношение

$$m = 9,6 - 1,79 R_{ст} \quad \text{при } r = -0,841 \pm 0,07, \quad (10)$$

где $R_{ст}$ – стадия рекреационной дигрессии.

Связь между эрозией почв и стадией рекреационной дигрессии характеризуется уравнением

$$\mathcal{E} = 0,448 R_{ст} - 0,835 \quad \text{при } r = 0,605 \pm 0,164. \quad (11)$$

Согласно выражению (11), с возрастанием стадии рекреационной дигрессии водоохраных лесов увеличивается эрозия, так как при этом уплотняется верхний слой почв одновременно с истиранием и передвижением вниз по уклону большей части ЛП и ЖНП. Меньшая их часть втаптывается в почву. Поэтому запишем:

$$R_{ст} = 4,56\gamma - 0,35m - 0,9 \quad \text{при } R = 0,877 \pm 0,059. \quad (12)$$

Подставляя уравнение (12) в равенство (11), получаем

$$\mathcal{E} = 2,05\gamma - 0,16m - 1,24. \quad (13)$$

С использованием полученных уравнений определяли основные диагностические признаки стадии рекреационной дигрессии лесов на серо-коричневых почвах и щебенистых черноземах КМВ по следующей схеме:

– согласно формуле (10) рассчитали воздушно-сухую массу (m) ЛП и ЖНП по стадиям рекреационной дигрессии;

– подставив значения воздушно-сухой массы (m) в равенство (12), получили значения плотности почв (γ) для каждой стадии рекреационной дигрессии;

– подставив полученные m и γ в уравнение (13), для каждой стадии рекреационной дигрессии определили прогнозируемые объемы эрозии почв;

– используя уравнение (9) и рассчитанные объемы эрозии почв для каждой стадии рекреационной дигрессии, нашли соответствующие значения рекреационных нагрузок (Rd , чел./га) на пологих (до 10°), покатых (20°) и крутых (30°) склонах.

Результаты расчетов представлены в табл. 3. Как следует из данных таблицы, плотность верхнего слоя почв может служить одним из основных диагностических признаков стадий рекреационной дигрессии горных лесов. По этому признаку, с учетом лесной подстилки и живого

Таблица 3

Стадия рекреационной дигрессии	γ , г/см ³	m , т/га	Ξ , т/га	Rd , чел./га, при уклонах		
				0,1763 (10°)	0,3640 (20°)	0,5774 (30°)
Первая	1,01	7,8	0	2,5	1,3	0,03
Вторая	1,10	6,0	0,06	2,8	1,7	0,40
Третья	1,18	4,2	0,52	4,8	3,6	2,30
Четвертая	1,26	2,4	0,97	6,8	5,6	4,30
Пятая	1,34	0,6	1,42	8,8	7,6	6,30

напочвенного покрова, можно прогнозировать эрозию почв по стадиям рекреационной дигрессии лесов и рассчитывать соответствующие рекреационные нагрузки.

Известно, что в лесах допустимы нагрузки, при которых не превышает вторая стадия рекреационной дигрессии [2]. Поэтому на серо-коричневых почвах и щебенистых черноземах лесов КМВ допустимая рекреационная плотность составит: на пологих склонах – $2,5 \pm 2,8$; покатых – $1,3 \pm 1,7$; крутых – $0,4$ чел./га. На склонах круче 30° в лесах КМВ бездорожная рекреация недопустима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ивонин, В.М.* Эрозия почв на вырубках горных склонов [Текст] / В.М. Ивонин, В.А. Тергерян, С.М. Водяной. – Ростов н/Д, 2001. – 150 с.
2. *Ивонин, В.М.* Рекреационные ресурсы лесов Кавказских Минеральных Вод [Текст] / В.М. Ивонин, И.С. Ковалева, О.В. Перфильев. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. – 216 с.
3. *Ивонин, В.М.* Сток и эрозия почв на вырубках в горных лесах [Текст] / В.М. Ивонин, И.В. Каляда // Лесн. хоз-во. – 2003. – № 4. – С. 35–39.
4. *Ивонин, В.М.* Лесомелиорация ландшафтов (науч. исследования) [Текст] / В.М. Ивонин, Н.Д. Пеньковский. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – 152 с.

5. Кузнецов, М.С. Противоэрозионная стойкость почв [Текст] / М.С. Кузнецов. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 136 с.
6. Кузнецов, М.С. Эрозия и охрана почв [Текст] / М.С. Кузнецов, Г.П. Глазунов. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 335 с.
7. Мирцхулава, Ц.Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии [Текст] / Ц.Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1970. – 240 с.
8. Мирцхулава, Ц.Е. Основы физики и механики эрозии русел [Текст] / Ц.Е. Мирцхулава. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 304 с.
9. ГОСТ 56–100–95. Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные комплексы: стандарт отрасли. – 14 с.

Новочеркасская государственная
мелиоративная академия

Главное управление природных ресурсов
и охраны окружающей среды
Министерства природных ресурсов РФ
по Ставропольскому краю

Поступила 25.02.04

V.M. Ivonin, O.V. Perfiljev, I.V. Voskoboynikova

On Influence of Soil Density on Erosion under Anthropogenic Digression of Mountain Forests

It is shown that water impermeability decreases, drainage and erosion intensity grow under the compression of brown forest soils on cutting areas on mountain slopes. Water impermeability could determine the interrelation of erosion with surface landslides. Erosion of grey-brown soils and ballast black earth is directly linked with density that serves as a diagnostic indicator of the recreational digression stage.
