

УДК 632.125

ПРОГНОЗ ДОЖДЕВОЙ ЭРОЗИИ ТУНДРОВЫХ ПОЧВ
ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ

© 1995 г. В. Я. Григорьев, А. Ю. Сидорчук

Факультет почвоведения МГУ

Поступила в редакцию 19.05.93 г.

Изложены результаты изучения и прогноза дождевой эрозии почв в районах освоения тундры. Составлен алгоритм расчета интенсивности дождевой эрозии почв и проведена его апробация на примере Бованецковского газово-конденсатного месторождения Ямала. Дана простая номограмма для определения величины возможного смыва нарушенных почвогрунтов.

Всеобщее беспокойство по поводу ускоренного возрастания концентрации газов в атмосфере и потенциального воздействия этого фактора на климат вызывает необходимость разработки и использования глобальных моделей прогноза "тенденций" или "сценариев" развития различных природных процессов, в том числе почвенно-эрозионных, при потенциальном изменении климатических условий.

Северные территории в наибольшей степени будут подвержены глобальному потеплению климата за счет так называемого "парникового эффекта". При увеличении среднегодовой температуры в среднем по северному полушарию на 2°C, на полуострове Ямал потепление составит 8 - 10°C, что приведет к интенсификации эрозионных процессов.

Уже в настоящее время территория полуострова Ямал неустойчива по отношению к эрозионным процессам даже в естественном состоянии. Значительные перепады высот (20 - 40 м) способствуют развитию быстрой солифлюкции, криопланации, русловых процессов, которые приводят к дальнейшему увеличению вертикального расчленения, к появлению участков, лишенных растительного покрова, интенсификации ручейковой и овражной эрозии при дождевом и талом стоке.

Техногенные нагрузки, связанные с освоением газово-конденсатных месторождений (ГКМ), привели к антропогенной активизации термоэрозионных и эрозионных процессов. Происходит увеличение площади тундры, лишенной растительного покрова и органогенного слоя почвы, защищающего ее от всех видов эрозии. В результате в районах освоения широкое распространение имеют процессы ручейковой и овражной эрозии, которые в ближайшее время могут привести к катастрофическим последствиям (изменению почвенного покрова и всей природной среды, авариям, повреждению сооружений инженерных объектов). Назрела острая необходимость в раз-

работке и проведении мер предупреждения и предотвращения негативных последствий эрозионных процессов. Решение этой достаточно сложной проблемы осложняется еще и возможным глобальным потеплением климата.

В такой сложной ситуации, сложившейся в районах освоения, разработка и выбор (оптимизация) противоэрозионных мероприятий должны проводиться на основе использования моделей количественного прогноза развития почвенно-эрозионных процессов с учетом антропогенного воздействия и потенциального изменения климатических условий. Для этих целей наиболее перспективно использование физически обоснованных уравнений, описывающих размывающую и транспортирующую способности водных потоков, а также системы уравнений гидромеханики для расчета баланса масс взвешенного потока. Все эти уравнения, составляющие основу моделей, должны содержать в качестве своих аргументов количественные показатели влияния отдельных или группы факторов эрозии, которые могут быть изменены в результате техногенного воздействия или потепления климата. Для применения моделей при прогнозных расчетах опасности и форм проявления эрозионных процессов на осваиваемых территориях необходимо провести верификацию их и выбрать наиболее эрозионно-опасный "сценарий" влияния антропогенных факторов эрозии и климатических условий.

Все виды эрозии тесно взаимосвязаны между собой и представляют единый сложный эрозионно-аккумулятивный процесс. Однако в зависимости от интенсивности их проявления в разные периоды времени они могут находиться в разных взаимоотношениях и представлять разную степень опасности. Поэтому они требуют как отдельного, так и комплексного изучения.

Эти положения определили концепцию и структуру исследований, связанных с созданием и апробацией гидрофизической модели прогноза

Таблица 1. Слой и средняя за 30 мин интенсивность осадков 7 - 8 августа 1990 г. в районе поселка КЭХ Бованенковского ГКМ п-ова Ямал

Показатель	7 августа				8 августа				
	Время								
	10 ⁰⁵	10 ²⁰	10 ³⁵	10 ⁵⁰	8 ⁰⁵	8 ³⁵	9 ⁰⁵	9 ³⁵	10 ⁰⁵
Суммарный слой осадков, мм	1.4	2.1	2.8	3.2	3.2	10.6	23.7	28.3	31.8
Интенсивность за 30 мин, мм/мин	0.093		0.037		0.25	0.44	0.15	0.12	

ручейковой эрозии тундровых почв при дождевом стоке с учетом почвенных и рельефных условий, а также техногенных воздействий. Эти исследования проведены на типичном по эрозионной опасности сильно расчлененном участке территории полуострова Ямал в районе Бованенковского ГКМ.

Натурные наблюдения показали, что на территории Бованенковского ГКМ дождевая эрозия проявляется локально и эпизодически в периоды дождей на склонах, лишившихся растительного покрова в результате естественных склоновых деструктивных процессов (оплывания, оползания и т.д.) или техногенного воздействия. Интенсивность дождевой ручейковой эрозии в этих случаях существенно ниже, чем интенсивность других эрозионных процессов (ручейковой при снеготаянии и овражной эрозии). В то же время на искусственных отсыпках под сооружение поселков и дорог, выполненных, в основном, из мелкозернистого песка, дождевая ручейковая эрозия развита широко и ее интенсивность велика. Поверхность отсыпок покрыта густой сетью эрозионных борозд, в устьях которых наблюдаются характерные конуса смытого материала.

Для количественной оценки дождевой эрозии были проведены исследования интенсивности смыва почв и грунтов в период осенних дождей на территории Бованенковского ГКМ вблизи поселка комплексного энергетического хозяйства (КЭХ). Они проводились на нарушенных антропогенной деятельностью склонах водосборов 3-х действующих оврагов. Замеры величин смыва и стока проведены в замыкающих створах водосборов в вершине оврагов в период выпадения обложных дождей 3 - 10 августа 1990 г.

В этот период над исследуемой территорией выпадали обложные дожди в основном малой интенсивности. Однако локально они характеризовались повышенной интенсивностью. Так, сравнение полученных результатов (табл. 1) с данными суточного максимума осадков различной обеспеченности по метеостанции Марре-Сале показало, что дождь, прошедший 8 августа, по сумме осадков имеет обеспеченность 5 - 3% и близок к наблюдавшемуся на этой территории максимуму, равному 39 мм.

Высокая водонасыщенность и низкая водопроницаемость нарушенных почвогрунтов на водосборе привела к быстрому формированию поверхностного стока, так, что все дожди, даже самые небольшие, оказались стокообразующими и эрозионноопасными. Обложные дожди 5 - 7 августа привели к формированию суммарного слоя стока 0.3 мм, основная часть осадков пошла на насыщение водой почвогрунтов и заполнение микрорельефа на водосборе. Смыв почвогрунтов с водосбора 1-го оврага площадью 1.0 га в результате ручейковой эрозии за время паводка составил всего 1.2 кг. Максимальные расходы воды в вершине оврага не превышали 0.09 л/с, мутность воды - 0.76 кг/м³, расход наносов - 0.0033 кг/с. Сток воды с водосбора 2-го оврага, так же как и с водосбора 1-го оврага, не производил существенной эрозионной работы. Общий смыв почвогрунтов сопоставим со смывом на водосборе 1-го оврага (табл. 2).

Паводок 8 августа со слоем стока 11.1 мм вызвал интенсивную эрозию на водосборе 1-го оврага. Основная часть стока воды сошла в период с 9⁰⁰ до 14⁰⁰ часов. За это время с части водосбора площадью 1.0 га, примыкающей к вершине оврага было снесено 4.3 т (2.7 м³) материала (или 0.27 мм в слое). Ручейковая эрозия на водосборе, примыкающем к вершине 2-го оврага площадью 2.83 га составила 15.82 т или смыв 0.35 мм в слое (табл. 2).

Наблюдения за стоком наносов на водосборе 3-го оврага производились эпизодически. Основные закономерности эрозионных процессов здесь совпадают с таковыми на водосборе 2-го оврага.

Для прогноза ручейковой эрозии почвогрунтов сделана попытка разработать схему расчета дождевого стока и смыва при предельно малом объеме исходных данных и провести ее апробацию на примере Бованенковского ГКМ п-ова Ямал. В основу схемы расчетов положены известные эмпирические и экспериментально-теоретические зависимости [2 - 7].

Рекомендуемая методика прогноза (расчета) дождевого стока и смыва состоит из следующих этапов расчета: оценки изменения размера водопрочных агрегатов почвогрунтов при воздействии дождевых капель [2]; оценки инфильтрации

Таблица 2. Смыв почвогрунтов при осенних дождях в районе пос. КЭХ Бованенковского ГКМ п-ова Ямал (крутизна 0.04 - 0.06, проективное покрытие растительности 20 - 30%)

Дата паводка	Время	Расход воды	Мутность воды, г/л	Расход наносов, кг/с	Смыв, кг	Смыв за паводок, кг
Водосбор 2-го оврага площадью 1.0 га						
05.08.90	8 ⁰⁰	0.07	0.74	5.2×10^{-5}	0.19	1.18
	10 ⁰⁰	0.09	0.76	6.8×10^{-5}	0.74	
	14 ⁰⁰	0.06	0.26	1.6×10^{-5}	0.22	
	18 ⁰⁰	0.03	0.074	0.2×10^{-5}	0.03	
08.08.90	9 ⁰⁰	11.4	25.0	0.285	1026	4258
	10 ⁰⁰	10.7	44.5	0.476	2570	
	12 ⁰⁰	3.0	23.6	0.071	511	
	14 ⁰⁰	0.98	21.0	0.021	151	
Водосбор 2-го оврага площадью 2.8 га						
08.08.90	9 ⁰⁰	22.9	50.0	1.15	4140	15817
	10 ⁰⁰	26.7	50.0	1.34	6030	
	11 ³⁰	12.1	48.0	0.58	4176	
	14 ⁰⁰	2.29	50.7	0.116	1148	
	17 ³⁰	0.73	16.8	0.0123	144	
	20 ³⁰	0.47	1.4	3.5×10^{-3}	123	

дождевого стока в почву [3, 4]; прогнозирования дождевого стока и скорости его стекания [3, 7]; оценки противоэрозионной стойкости почв и расчета возможного смыва [5 - 7].

Алгоритм расчета и прогноза дождевого стока и смыва включает в себя следующие вычисления:

1. Средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов в момент стабилизации разрушения агрегатов почвогрунтов дождевыми каплями рассчитывается по формуле:

$$d_y = 0.28 \sqrt{\bar{d}} \exp(0.26 \bar{d}).$$

2. Сила ударов капель дождя определяется по формуле:

$$F = 0.033 r v_k^2 / d_k \text{ или } F \approx 0.557 r.$$

3. Расчетная средняя величина средневзвешенного диаметра водопрочных агрегатов в диапазоне силы ударов капель дождя от 0 до F находится по формуле:

$$\bar{d}_{cp} = d_y + (\bar{d}_0 - d_y) \beta_1.$$

4. Значение параметра β_1 рассчитывается по формуле:

$$\beta_1 = [1 - \exp(-3F)] / (3F).$$

5. Максимальная интенсивность дождя, не вызывающая стока, рассчитывается по формуле:

$$r_d = 0.41 \bar{d}_{cp} [(\rho - \rho_2) / \rho (100 - c_r) / c_r]^{2.56}.$$

6. Длительность дождя до образования стока находится по формуле:

$$t_0 = k_1 k_2 / [(r - r_d) \exp(F)].$$

7. Коэффициент k_1 , учитывающий влияние уклона на t_0 , устанавливается по формуле:

$$k_1 = 1.34 (1 - 5J).$$

8. Максимальная интенсивность дождя (r'_d), не вызывающая стока на капиллярно-увлажненной почве, рассчитывается по формуле (см. п. 5) при

$$\bar{d}_{cp} = \bar{d}_0.$$

9. Значение параметра k_2 определяется по следующей зависимости:

$$k_2 = \frac{1.8 (\rho - 1)^{-1}}{1 + r'_d - 0.32 k_y^{0.74}} \times [\bar{d}_0^{0.5} (\rho - \rho_1) - 0.05 W (\rho - 1)].$$

10. Средняя интенсивность инфильтрации воды в почву на межручейковых пространствах рассчитывается по формуле:

$$p_x = [Arx / 2.14 + r_d (1 - A)] / [1 + A (x / 2.14 - 1)].$$

11. Величина аргумента A рассчитывается по формуле:

$$A = \beta_2 + 0.36 r_d^{0.5} (1 - \beta_2).$$

12. Значение параметра β_2 находится по зависимости:

$$\beta_2 = t_0 [1 - \exp(-1.63 (t - t_0) / t_0)] / [1.63 (t - t_0)].$$

13*. Интенсивность инфильтрации воды в почвогрунт из ручейков определяется по формуле:

$$p_p = \frac{A [r - p_x (1 - zB)] + r_n (1 - A) B^2}{B [B (1 - A) + zA]}.$$

14*. Доля ширины склона, занятой ручейковой сетью, устанавливается по формуле:

$$B = 31.6 \sqrt{q / \sqrt{J}}.$$

15*. Удельный расход стока рассчитывается по формуле:

$$q = (r - p_{cp}) x \times 1.67 \times 10^{-5}.$$

16*. Средняя скорость инфильтрации воды в почвогрунт на всем склоне находится по формуле:

$$p_{cp} = p_p zB + p_x (1 - zB).$$

17. Величина коэффициента стока находится по соотношению:

$$\sigma = (r - p_{cp}) / r.$$

18. Слой стока определяется по формуле:

$$Q_{ст} = \sigma r (t - t_0) x.$$

19**. Донная скорость стекания потоков в ручейках рассчитывается по формуле:

$$v_{\Delta x} = 22.2 (\sigma r x n)^{0.30} m_1^{0.70} J^{0.35}.$$

20**. Донная размывающая скорость потока для почв определяется по следующей зависимости:

$$v_{\Delta p} = 1.55 \times \sqrt{\frac{g}{\rho_0 n}} [(\rho - \rho_0) \bar{d}_n (1 - P/100) + 1.25 C_y^n].$$

21. Средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов почвогрунта в момент образования стока находится по формуле:

$$\bar{d}_n = d_y + (\bar{d}_0 - d_y) \exp(-0.1 F t_0).$$

22. Приближенная величина сцепления (C_y^n) определяется по формуле:

$$C_y^n = 0.31 \left[\frac{0.5 (1 + 0.025 \exp(14.0R))}{708 \epsilon / W_{нп}^{1.2} - 10} \right]^{2.25}.$$

* Расчет средней инфильтрации воды в почвогрунт проводится по формулам (пп. 13 - 16) методом последовательного приближения.

** r - в м/с; \bar{d}_n - в м.

23. Величина смыва почв за один дождь ($Q_{см}$, кг) рассчитывается по формуле:

$$Q_{см} = 66 \times 10^{-5} \rho_1 \omega \bar{d}_n \times \left[\frac{1.25 v_{\Delta x}^2}{v_{\Delta p}^2} + \frac{0.12 v_{\Delta p}^{3.32}}{v_{\Delta x}^{3.32}} - 1 \right] (t - t_0).$$

24. Ожидаемая величина стока и смыва за год определяется суммированием за все дожди:

$$Q_{ст \text{ год}} = \sum_{i=1}^n Q_{ст i}; \quad Q_{см \text{ год}} = \sum_{i=1}^n Q_{см i}.$$

Для апробации и реализации составленной схемы расчета необходимо было иметь следующие исходные данные:

1. Параметры дождей: интенсивность (r , мм/мин), длительность (t , мин), скорость падения (v_k , м/с) и средний размер капель (d_k).

2. Характеристики склона: длина (x), ширина (b , м), уклон (J), коэффициент (m_1), учитывающий характер микрорельефа: ровный ($m_1 = 1$), слабовыраженный ($m_1 = 2$), сильновыраженный ($m_1 = 3$).

3. Характеристики почвенного покрова: состояние поверхности почвы (нарушенное, ненарушенное); наличие растительности, агрофизические свойства почв (средневзвешенный диаметр агрегатов воздушно-сухой (\bar{d} , мм) и капиллярно-увлажненной (\bar{d}_0 , мм) почвы, плотность твердой фазы почвы (ρ , т/м³), плотность верхнего оттаявшего слоя (ρ_1 , т/м³), и наиболее уплотненного мерзлого слоя почвы (ρ_2 , т/м³), исходная влажность верхнего слоя (W , % об.), содержание физической глины (c_r , %), установившаяся скорость инфильтрации воды в почву (k_y , мм/мин), установленная методом заливаемых площадей, содержание корней растений (R , г в 100 см³ почвы), влажность нижней границы пластичности ($W_{нп}$, %), пористость агрегатов (P , %) и коэффициент пористости ($\epsilon = \hat{p} / \rho_1 - 1$)).

Цель проверки заключалась в выявлении степени соответствия расчетных и установленных экспериментально значений искомым характеристикам и установлении коэффициентов, корректирующих схему расчета для исследуемой территории, так как практически все входящие в нее зависимости установлены и апробированы для иных почвенно-климатических условий.

Для проверки предлагаемой схемы расчета были привлечены результаты полевых исследований интенсивности стока (q , л/с) и мутности дождевых потоков (μ , г/л), на малых водосборах

Таблица 3. Характеристики почвогрунтов, необходимые для проведения расчетов

Почва, грунт	Содержание фи- зической глины, %	Средневзвешенный диаметр водопроч- ных агрегатов, мм		Плотность, г/см ³			Исходная влаж- ность, % от объема	Установившаяся скорость инфильт- рации, мм/мин	Сцеп- ление, тс/м ²
		воздуш- но- сухой почвы	предвари- тельно ка- пиллярно- увлажнен- ной почвы	твер- дой фазы почвы	верхнего слоя мощ- ностью 50 см*	наиболее уплотнен- ного мерз- лого слоя**			
Тундровая глеевая почва	88.24	0.52	3.1	2.75	1.31	2.75	52	0.0	0.11
Пойменная почва	32.71	0.15	0.24	2.72	1.30	2.72	52	0.0	0.09
Мелкозернистый песок (грунт из карьера)	24.15	0.14	0.35	2.70	1.37	2.70	49	0.0	0.06

* Мощность верхнего слоя определена как наиболее часто встречающаяся глубина оттаивания почвогрунтов.

** Принята равной плотности твердой фазы почвогрунта.

Бованенковского ГКМ во время обложных дождей 7 - 8 августа 1990 г.

Почвенный покров в районе исследований достаточно разнообразен. Разнообразие и эволюция почв тундровой зоны в значительной степени обусловлена эволюцией форм рельефа и мерзлотными условиями (наличие озерных котловин, оврагов и речных долин, вытаивание подземных льдов и т.д.) [1]. Дополнительную и существенную пестроту вносит техногенное воздействие. Исследованиями установлено, что в районе Бованенковского ГКМ практически не сохранился естественный растительный и почвенный покров. В большей или меньшей степени он подвергался техногенному нарушению при освоении. Наиболее уязвимыми к антропогенным воздействиям оказались верхние органогенные горизонты почв. В зависимости от степени их нарушения почвогрунты характеризуются разными противозрозийными свойствами. Существенное влияние на пространственную изменчивость противозрозийных свойств почвогрунтов оказывает неоднородность их по гранулометрическому составу. Определения гранулометрического состава показали, что русла временных водотоков (ручьев) сложены почвогрунтами: от пылеватых песков, размываемых при выклинивании на поверхность песчаных линз или использованных песков для отсыпки насыпей и зимних подъездных дорог, до тяжелосуглинистых и глинистых горизонтов почв и материнских пород. Необходимые для расчетов свойства этих почв и почвогрунтов приведены в табл. 3.

Во время паводков почвогрунты находились в экстремальном (эрозионноопасном) состоянии: верхние слои были предельно насыщены водой и имели наименьшую водопроницаемость. Активная водопроводящая пористость залегающего близко к поверхности мерзлого слоя также близ-

ка к нулю. Следовательно, величина установившейся скорости фильтрации в расчетах может быть принята равной нулю.

Площадь водосборов (S) составляла от 1 до 6 га. Уклон и длина склонов изменялись соответственно от 0.04 до 0.061 и от 115 до 284 м. Микрорельеф поверхности ровный, поэтому величина коэффициента микрорасчлененности (m_1) в расчетах принята равной 1. Коэффициент шероховатости по Маннингу равен 0.025.

Интенсивность дождя (r) изменялась во время дождя в широких пределах. В связи с отсутствием синхронных определений r с взятием проб на мутность установлены расчетные ее значения. Во время наблюдений почвогрунты были предельно водонасыщены и коэффициент стока практически равен единице. выпадающие дождевые осадки полностью стекали. Поэтому расчетные значения интенсивности дождя (мм/мин) были установлены по соотношению $6 \times 10^{-3} q/S$. Экспериментально установленные величины интенсивности смыва (Q , кг/га/мин) определены по соотношению $6 \times 10^{-2} q\mu/S$. Расчетные ее значения рассчитаны по вышеизложенной схеме расчетов.

Сопоставление полученных результатов показало удовлетворительное соответствие измеренных и вычисленных значений интенсивности смыва почвогрунтов (табл. 4). Следовательно в первом приближении рекомендуемая методика расчета может быть использована для оценки дождевой эрозионной опасности исследуемой территории без корректирующих коэффициентов. В качестве примера практического приложения она была применена для оценки опасности дождевой эрозии почвогрунтов, слагающих искусственные насыпи (отсыпки).

Энергетические характеристики возможных дождей были установлены расчетным путем.

Таблица 4. Сопоставление измеренных и расчетных величин интенсивности смыва почвогрунтов со склонов

Преобладающий гранулометрический состав почвогрунтов	Расход воды, л/с	Мутность воды, г/л	Площадь водосбора, га	Длина склонов, м	Уклон	Интенсивность смыва, кг/га мин	
						измеренная	расчетная
Легкосуглинистый	32.0	34.0	6.0	284	0.04	11.0	19.0
	12.1	48.0	2.8	190	0.05	12.0	14.0
	23.0	50.7	2.8	190	0.05	25.0	23.0
	1.00	16.8	2.8	190	0.05	0.4	1.6
	0.6	7.4	2.8	190	0.05	0.1	0.3
Глинистый	0.03	0.5	1.0	115	0.06	0.001	0.0
	11.4	25.1	1.0	115	0.06	17.0	22.2
	10.7	44.6	1.0	115	0.06	29.0	22.0
	6.0	23.6	1.0	115	0.06	3.0	0.0

В основу расчета была положена общеизвестная формула Г.А. Алексеева:

$$r_{\text{макс}} = \frac{A + B \lg N}{(1 + T)^{2/3}},$$

где $r_{\text{макс}}$ – максимальная интенсивность дождя продолжительностью T , повторяющегося в среднем раз в N лет. A и B – географические параметры, зависящие от географических условий исследуемой местности.

Умножив обе части уравнения на T и заменив аргумент $\frac{T}{(1 + T)^{2/3}}$ на $kT^{0.36}$, получаем зависимость максимального слоя (M) от длительности дождя (T):

$$M = kT^{0.36}.$$

Величину коэффициента k определили по непосредственным измерениям характеристик дождей, наблюдаемых 7 - 8 августа 1990 г. Для ядра дождей длительностью (T) 21 и 93 мин установлены следующие значения максимального слоя (M) – 14.4 и 24.9 мм при интенсивностях дождя (r) 0.69 и 0.27 мм/мин. Средняя величина k равна 4.855. Тогда приближенные расчетные значения пара-

метров дождей могут быть установлены по следующим зависимостям:

$$M = 4.855T^{0.36}; \quad T = 0.0124M^{2.77};$$

$$r = \frac{4.855}{T^{0.64}}.$$

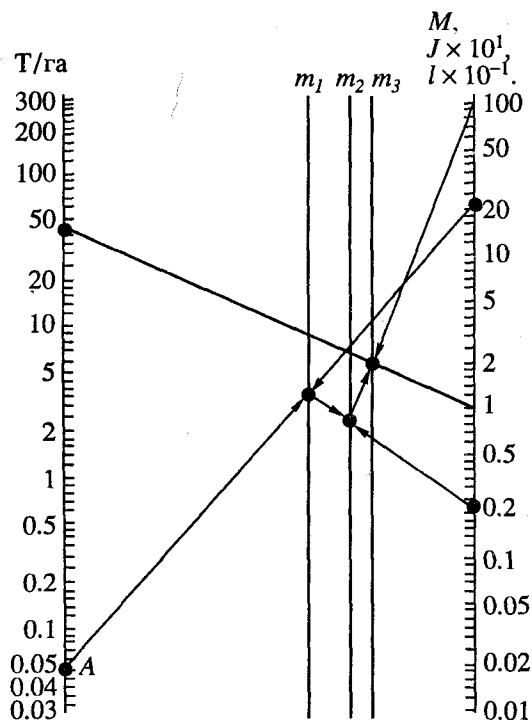
Используя эти формулы, были установлены необходимые для расчетов параметры дождя в зависимости от слоя осадков (табл. 5).

В целом полуостров Ямал представляет собой низменную, местами холмистую равнину. Однако обилие озерных котловин, оврагов и речных долин создает местами серьезные рельефные условия для формирования стока и развития эрозии почв при дождевых осадках. В условиях исследуемой территории на характеристики рельефа существенное влияние оказывают механические техногенные воздействия; срезка почвогрунтов, подсыпка, устройство насыпей, устройство зимников и т.д. В результате этих воздействий частично или полностью изменяются или могут быть изменены характеристики рельефа. Поэтому выбор необходимых для расчета оптимальных характеристик склонов и искусственных сооружений представляется затруднительным. Очевидно в этих случаях расчеты целесообразно проводить для широкого диапазона возможных изменений размеров и уклонов искусственно созданных водосборов. Анализ характеристик рельефа исследуемой территории и искусственных сооружений позволил выделить следующие значения уклонов (0.005; 0.01; 0.015; 0.02; 0.025) и длин склонов (200; 400; 600; 800; 1000 м).

Расчеты показали, что для исследуемой территории при характерных параметрах насыпей и нарушенном состоянии почвогрунтов практически все дожди являются стокообразующими и эрозионноопасными. Величина смыва почвогрунтов в зависимости от уклона и длины насыпных площадок в наиболее эрозионноопасные периоды составляет от 1 до 50 т/га за один дождь. На основе результатов

Таблица 5. Энергетические характеристики дождей

Слой осадков, мм	Длительность дождя, мин	Интенсивность дождя, мм/мин	Сила ударов капель дождя, кН/(м ² с)
15	22.4	0.66	0.37
20	50.9	0.39	0.22
25	94.5	0.26	0.15
30	156.8	0.19	0.11
35	240.6	0.15	0.08
40	348.6	0.11	0.06
45	483.4	0.09	0.05



Номограмма для приближенного определения возможной дождевой эрозии. Объяснения – см. текст.

расчетов построена простая номограмма для приближенного определения возможного смыва нарушенных почвогрунтов (рисунок). Для этого необходимо иметь сведения о слое дождя, длине и уклоне участков, а также о гранулометрическом составе размываемых почвогрунтов. Различие в противоэрозионной стойкости почв разного гранулометрического состава в этом случае оценивается коэффициентом A_0 (для легких почв $A_0 = 0.065$; для тяжелых – 0.035).

Предлагаемая номограмма состоит из двух рабочих шкал – левой и правой. Левая шкала предназначена для ответной величины возможного смыва почвогрунтов (т/га). На ней наносится фиксированная точка A по ее отметке равной значению $A_0 \times 0.76$. Правая шкала предназначена для независимых переменных (слоя дождя M в мм; уклона J в тангенсе угла наклона и длины l участка в м). Ход нахождения величины возмож-

ного смыва по номограмме показан стрелками ключа ее определения (рисунок).

Допустим, что необходимо определить величину возможного смыва легкосуглинистого нарушенного почвогрунта ($A_0 = 0.065$) на участке длиной 1000 м и с уклоном 0.025 при слое дождя ($M = 25$ мм). Определяем значение точки $A = A_0 \times 0.76 = 0.049$ для левой рабочей шкалы и значение $J \times 10^1 = 0.25$, $l \times 10^{-1} = 100$ для правой рабочей шкалы. Точка A ($A = 0.049$) на ответной (левой) шкале соединяется со значением M ($M = 25$ мм) на правой шкале, и на “немой” шкале m_1 фиксируется точка пересечения (операция 1). Эта точка соединяется со значением 0.25 на правой шкале и фиксируется точка пересечения с “немой” шкалой m_2 (операция 2). Эта точка пересечения соединяется со значением 100 на правой шкале и соответственно фиксируется точка пересечения с “немой” шкалой m_3 (операция 3). Последняя точка пересечения соединяется со значением на правой шкале, равным единице, и фиксируется точка пересечения с левой (ответной) шкалой (операция 4). Значение этой точки пересечения является искомой величиной возможного смыва. Для исходных данных она составляет 46 т/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильевская В.Д., Иванов В.В., Богатырев Л.Г. Почвы севера Западной Сибири. М.: Изд-во МГУ, 1986.
2. Григорьев В.Я., Кузнецов М.С. Оценка изменения водопрочности почвенной структуры при дождевании // Почвоведение. 1986. № 8. С. 89 - 96.
3. Григорьев В.Я., Краснов С.Ф., Маккавеев Н.И. Интенсивность склонового стока в начальной стадии его формирования // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1983. № 1. С. 35 - 45.
4. Григорьев В.Я., Кузнецов М.С., Соловьева О.В. Методика расчета инфильтрации дождевого стока в почву // Экологические аспекты использования и охраны почвенных ресурсов Молдавии. Кишинев, 1990. Т. 2. С. 21 - 22.
5. Кузнецов М.С., Григорьев В.Я., Глазунов Г.П. и др. Противоэрозионная стойкость сероземов при полевых бороздах // Почвоведение. 1988. № 10. С. 91 - 96.
6. Кузнецов М.С. Противоэрозионная стойкость почв. М.: Изд-во МГУ, 1981.
7. Мирцхулава Ц.Е. Инженерные методы прогноза и расчета водной эрозии. М.: Колос, 1970. 239 с.

Forecast of Rain Erosion of Tundra Soils in the Yamal Peninsula

V. Ya. Grigoriev, A. Yu. Sidorchuk

Results of studies and the experience of forecasting the soil erosion caused by rains in tundra areas under reclamation are outlined. An algorithm has been developed for soil rain-induced erosion intensity, and it was tested in a gas-condensate field in Yamal peninsula. A simple nomogram has been proposed for determining the potential erosion of technogenically disturbed sediments.