

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Институт географии Российской академии наук
Ассоциация геоморфологов России
Алтайский государственный университет
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Посвящается
100-летию Института географии Российской академии наук,
60-летию Геоморфологической комиссии Российской академии наук,
30-летию Ассоциации геоморфологов России

XXXVI ПЛЕНУМ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ КОМИССИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Всероссийская научно-практическая конференция
с международным участием

ГЕОМОРФОЛОГИЯ – НАУКА XXI ВЕКА



Барнаул

Издательство
Алтайского государственного
университета
2018

**Н.С. Евсева, А.И. Петров, М.А. Каширо, З.Н. Квасникова, А.С. Батманова,
Е.А. Кириченко**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
E-mail: geography@ggf.tsu.ru*

РАСЧЕТНЫЕ И НАТУРНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭРОЗИИ ПОЧВ ОТ ТАЛЫХ СНЕГОВЫХ ВОД

Аннотация Проведен сравнительный анализ данных полевых исследований водной эрозии тальми снеговыми водами (обмер струйчатых размывов через 1–2 до 10 м) с материалами оценки потенциального смыва почв по региональной модели, предложенной Д.А. Бураковым, Е.Э. Марковой. Объект исследования – пахотные угодья в бассейне малой реки Басандайка, расположенной в зоне подтайги юго-востока Западно-Сибирской равнины.

Ключевые слова пахотные угодья, интенсивность водной эрозии, снежный покров, сток талых вод, расчетный метод

**N.S. Evseeva, A.I. Petrov, M.A. Kashiro, Z.N. Kvasnikova, A.S. Batmanova,
E.A. Kirichenko**

*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia
E-mail: geography@ggf.tsu.ru*

CALCULATED AND FIELD EVALUATIONS OF THE SOIL EROSION INTENSITY CAUSED BY SNOW MELT WATER

Annotation. The article contains the comparative analysis of field research data of water erosion induced by snow-melted waters (the rill washes was measured every 1-2 meters, sometimes every 10 m, depending on the form of rill erosion) and data of potential soil erosion assessment according to the regional model proposed by D. A. Burakov, E.E. Markova. The object of study is arable lands in the basin of the small river Basandaika located southeast in the subtaiga zone of the West Siberian plain

Keywords arable land, intensity of water erosion, snow cover, melt water runoff, calculation method

Водная эрозия почв – одна из важнейших экологических и экономических проблем, которые реально определяют национальную безопасность многих стран мира. По данным Продовольственной сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) ежегодные потери продуктивных земель из-за эрозии составляют 5–7 млн га [6]. Актуальна данная проблема

и для территории России, где водной эрозией почв подвержено 39,3 млн га (18,8 %) сельскохозяйственных угодий [2], а ущерб от эрозии достигает 10% дохода, произведенного сельским хозяйством [7].

Пахотные земли России сосредоточены в основном в степной и лесостепной зонах. В европейской части страны они изучались В.В. Докучаевым, С.А. Козменко, С.И. Сильвестровым, С.С. Соболевым, М.Н. Заславским, Г.И. Швобсом, Г.П. Сурмачем, Л.Ф. Литвиновым, В.Н. Голосовым и др. В Западной Сибири изучение эрозионных процессов началось в 60-е гг. XX в. в зонах степи и лесостепи – это работы А.Д. Орлова, А.Н. Каштанова, В.Е. Мусохранова, А.А. Танасиенко, В.П. Герасименко и др. На пахотных землях зоны подтайги юго-востока Западно-Сибирской равнины эрозионные процессы изучены слабо.

Цель и методы исследования. Цель – анализ результатов исследования эрозионной работы талых вод в агроландшафтах зоны мелколиственных лесов юго-востока Западно-Сибирской равнины. Наблюдения за процессом водной эрозии проводятся ежегодно в период снеготаяния и во время формирования склонового талого стока на пашне близ с. Лучаново, в 20 км к юго-востоку от Томска (рис. 1) начиная с 1988 г. по настоящее время. Площадь изучаемого участка – около 100 га, из них 56 га – пашня, расположенная на склонах разной экспозиции и крутизны. Наибольшая доля пашни приходится на прямые, выпуклые склоны южной экспозиции [4], осложненные понижениями глубиной до 1,0 м, ложбинами (до 2-3 м), а также суффозионно-просадочными депрессиями глубиной от 0,3 до 5,0 м. В результате на склонах пашни формируются микробассейны.



Рис. 1. Схема расположения ключевого участка «Лучаново»

В настоящее время существуют различные полевые методы и приемы исследования эрозии почв, свидетельствующие о темпах эрозии в различных климато-ландшафтных условиях – почвенно-геоморфологический метод, замеры объемов струйчатых размывов, методы шпиклек, микропвеллирования, коротко-дистанционной стереофотометрической съемки, радиоизотопов и коррелятных отложений. Достоинства и недостатки перечисленных методов проанализированы И.Е. Егоровым [3]. Помимо полевых наблюдений, исследователи разрабатывают методы расчетов и прогноза смыва почв, моделирования процесса эрозии [6].

В предлагаемой работе дана краткая характеристика снежного покрова и проведен сравнительный анализ полевых исследований и расчетных значений смыва почв, определенных по региональной методике, предложенной Д.А. Бураковым и др. [1].

Обсуждение результатов. Ежегодно в бассейне Басандайви формируется устойчивый снежный покров (СП). Толщина снежного покрова значительно изменяется как по территории в зависимости от микрорельефа пашни и метелевого переноса, так и во времени от 26 до 74 см, составляя в среднем за многолетний период 53–57 см. В кедровом лесу динамика толщины СП незначительная и изменяется от 46 до 76 см в многолетнем разрезе, при среднемноголетнем значении 58 см. Для различных урочищ по данным материалов наблюдений за период с 1988 по 2017 г. определены среднемноголетние и обеспеченные значения толщины и снегозапаса снежного покрова (табл. 1, 2).

Таблица 1

Толщина снежного покрова на ключевом участке Лучаново за период 1988–2017 гг.

Ключевые участки – урочища	$H_{\text{ср}}$, см	C_v	Значения толщины заданной обеспеченности (H_n), см						
			0,5%	1%	5%	10%	20%	25%	50%
Кедровый лес	58	0,17	87	84	75	71	66	64	57
Поле (южный склон, пашня)	53	0,22	85	83	73	69	63	60	52
Поле (северный склон, пашня)	57	0,29	109	103	87	79	70	66	55
Ложбина (южный склон, пашня)	38	0,32	75	70	60	54	48	46	36

Примечание: $S_{\text{ср}}$ – снегозапас, мм, C_v – коэффициент изменчивости ряда снегозапаса.

Таблица 2

Снегозапас на ключевом участке Лучаново за период 1988–2017 гг.

Ключевые участки – урочища	$S_{\text{ср}}$, мм	C_v	Значения снегозапаса заданной обеспеченности, S_n , %						
			0,5	1	5	10	20	25	50
Кедровый лес	124	0,20	197	188	167	156	144	140	123
Поле (южный склон, пашня)	142	0,27	267	250	210	187	170	165	138
Поле (северный склон, пашня)	153	0,31	300	285	242	217	193	182	148
Ложбина (южный склон, пашня)	104	0,31	204	193	164	148	131	124	101

Плотность снежного покрова в конце зимы перед началом снеготаяния на пашне варьирует от 0,20 до 0,32 г/см³, достигая в разные годы в отдельных точках на склонах южной экспозиции 0,40 г/см³. В кедровом лесу плотность изменяется от 0,19 до 0,25 г/см³. Запасы влаги в снежном покрове по годам колеблются от 61 до 220 мм, составляя в среднем 133 мм. Расчетные значения снегозапаса заданной обеспеченности (табл. 2) мы использовали для прогностической оценки потенциального смыва почвы повторяемостью один раз в 100, 50, 25 и два года. Для полевых участков наблюдается явная закономерность в колебаниях коэффициентов вариации пространственного снегонакопления: в малоснежные зимы коэффициенты вариации в 1,5–2,0 раза и более превышают таковые в многоснежные (см табл. 3).

Таблица 3

Основные характеристики снежного покрова в разные по снежности годы
на ключевых урочищах

Ключевые участки – урочища	H, см	C, мм	ρ , г/см ³	S _в , мм
Многоснежная зима 2016–2017 гг.				
Кедровый лес	67	0,13	0,23	145
Поле (пашня), склон южной экспозиции	70	0,52	0,27	191
Поле (пашня), склон северной экспозиции	81	0,21	0,27	220
Распаханная ложбина склон южной экспозиции	43	0,62	0,27	116
Среднеснежная зима 1992–1993 гг.				
Кедровый лес	63	0,18	0,23	146
Поле (пашня), склон южной экспозиции	55	0,62	0,30	164
Поле (пашня), склон северной экспозиции	54	0,51	0,30	162
Распаханная ложбина склон южной экспозиции	32	0,73	0,30	97
Малоснежная зима 2011–2012 гг.				
Кедровый лес	27	0,18	0,19	51
Поле (пашня), склон южной экспозиции	31	0,36	0,21	67
Поле (пашня), склон северной экспозиции	32	0,49	0,21	67
Распаханная ложбина склон южной экспозиции	31	0,34	0,21	65

Из таблицы 3 видно, что наименьший запас воды в снежном покрове в конце зимы 2012 г наблюдался в кедровом лесу, а снеготалоходы на пашне (на северном и южном склонах) и в пределах ложбины (южный склон) близки по величине. Наибольший снеготалоход (68 мм) в этом году был определен на пашне южного склона. Небольшое различие, на наш взгляд, обусловлено микрорельефом склона (чередованием повышений и понижений). Колебание величин снеготалохода по годам изменяется существенно и зависит от погодных условий, шероховатости подстилающей поверхности, а также влияния ветра, то есть метелевого переноса.

Объем смыва почв талыми снеговыми водами контролируется экспозицией склона, его крутизной и формой, запасами воды в снежном покрове, интенсивностью снеготаяния, глубиной оттайки почв. Снеготаяние на склонах южной экспозиции происходит раньше, чем на северных и длится 10–15 дней, но в отдельные годы продолжается 5–7 дней (2012 г.), а на северных склонах достигает 56 дней (2002 г.), составляя в среднем 30–32 дня. Интенсивность снеготаяния, рассчитанная по методу температурных коэффициентов [5], изменяется от 5,4–8,0 мм до 55–88,6 мм/сут.

Наши 30-летние наблюдения за процессами в агроландшафтах показали, что эрозия почв от стока талых снеговых вод на пашне развивается ежегодно, наиболее интенсивно

протекает в годы с коротким периодом снеготаяния по зяби и оказывается значительной даже в годы с относительно небольшими запасами влаги в снежном покрове. Смыв почв определяется нами с помощью замеров объема струйчатых размывов, частота замеров в зависимости от формы размыва изменялась от 1–2 м до 10 м, кроме того, применялся почвенно-геоморфологический метод. Результаты исследования показали, что смыв почв в микробассейнах (ложбина, промоина) на прямых участках склонов изменялся по годам от 0,5–1,0 до 50–80 м³/га в зависимости от вышеперечисленных факторов.

В конце 50-х годов XX в исследователи в США предложили универсальное уравнение смыва, формулу Уишмейера – Слэпта [1], имеющую следующий вид:

$$\mathcal{E} = E \cdot P \cdot PL \cdot I \cdot C \cdot CI, \quad (1)$$

где \mathcal{E} – смыв почвы с единицы площади за год, E – фактор осадков, P – фактор эродуемости (смываемости) почвы; PL – фактор длины склона; I – фактор уклона; C – хозяйственно-агрономический фактор; CI – фактор противоэрозионных мер.

Д. А. Бураковым и Е. Э. Марковой [1] разработана региональная методика расчета смыва почв тальными и дождевыми водами для территории Красноярского края и сопредельных территорий зон степи и лесостепи, в основе которой лежит универсальное уравнение (1), но формула имеет следующий вид

$$\mathcal{E}_m = K_m \cdot P \cdot PO \cdot P \cdot F, \quad (2)$$

где \mathcal{E}_m – потенциальный смыв почвы, т/га, K_m – эрозионный потенциал талых вод, P – смываемость почв, PO – коэффициент относительной смываемости почвы; P – эрозионный потенциал рельефа, F – коэффициент влияния формы склона

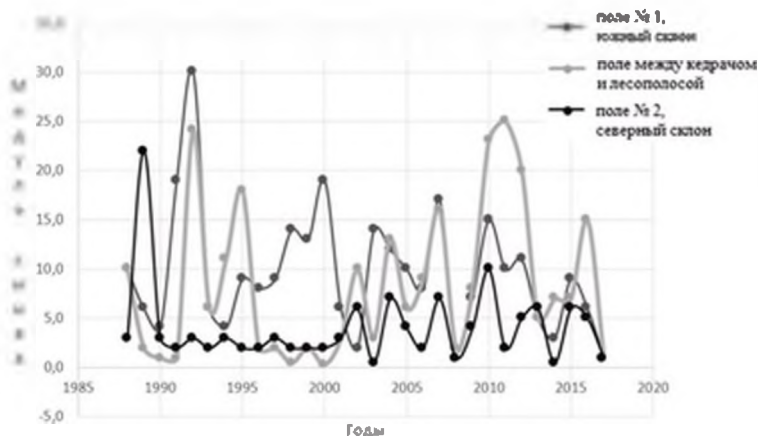


Рис. 2. Динамика модуля смыва почв (м³/га) за период 1988–2017 гг.

В данной работе А. И. Петровым по региональной методике произведен расчет потенциального смыва почв со склона южной экспозиции в пределах распаханной ложбины. Пло-

щадь водосбора ложбины около 5 га, длина склона 300 м, крутизна склонов от 1–3° до 4–6°, склоны близки по форме к прямым. Агрофон: правобережье, верховье и низовья бассейна – зябь, левобережье – густая дернина трав. Глубина оттайки почв до 35 см. Интенсивность снеготаяния в среднем 5–8 мм/час. Потенциальный смыв почвы с полевого водосбора в районе Лучаново за 2012 г. составил 8,56 т/га (7–8 м³/га).

Результаты обмера струйчатых размывов в ложбине следующие: смыв почвы по зябви с контурным боронованием составил на правобережье ложбины 7–8 м³/га, а на левобережье с неоднородным агрофоном (травы, зябь) в среднем 3–5 м³/га. На краю поля в устье ложбины образовался конус выноса, по форме близкий к треугольной, причем большая его часть терялась в густой прошлогодней траве. Мощность делювия в конусе выноса изменялась от первых миллиметров до 5–7 см.

Таким образом, результаты расчета и обмера водороси оказались одного порядка. Натурные наблюдения показывают, что смыв почв на склонах пашни за годы наблюдений весьма изменчив (см. рис. 2). Средний многолетний смыв почв в водосборе ложбины для отрезков склона разной длины и крутизны изменяется от 0,72 до 9,76 т/га (табл. 4).

Таблица 4

Расчет среднемноголетнего потенциального смыва почв на примере полевого водосбора (распаханная ложбина, южный склон)

n	L, м	L _j , м	i, %	i _{ср} , %	П	П ₀	m	P	S, мм	K _t	F	Э _р , т/га
1	20	20	2	2,0	0,08	1,4	0,3	0,09	89	17,8	1,0	0,72
2	14	34	4	3,0	0,08	1,4	0,4	0,34	89	17,8	1,21	3,32
3	13	47	2	2,7	0,08	1,4	0,3	0,14	89	17,8	0,79	0,86
4	78	125	1,5	2,4	0,08	1,4	0,3	0,17	89	17,8	0,91	1,24
5	43	168	2	2,3	0,08	1,4	0,3	0,23	89	17,8	1,09	2,02
6	16	184	6	2,9	0,08	1,4	0,3	0,90	89	17,8	1,33	9,58
7	24	208	4	3,1	0,08	1,4	0,3	0,60	89	17,8	0,88	4,18
8	22	230	6	3,4	0,08	1,4	0,3	1,09	89	17,8	1,12	9,76
9	16	246	4	3,5	0,08	1,4	0,4	0,73	89	17,8	0,88	5,11
10	21	267	6	3,8	0,08	1,4	0,4	1,53	89	17,8	1,12	13,7
11	14	281	1,5	3,8	0,08	1,4	0,4	0,18	89	17,8	0,58	0,85

Примечание: n – номер отрезка; L – длина отрезка; L_j – расстояние от водораздела до конца отрезка; i – уклон отрезка; i_{ср} – средний уклон от водораздела до конца отрезка

Кроме того, авторами проведены оценки параметров кривых распределения вероятностей ежегодного превышения модулей смыва почвы талыми снеговыми водами (табл. 5). Среднемноголетние значения модуля смыва почв колеблются в диапазоне – от 4,0 до 9,4 м³/га, коэффициенты изменчивости очень высоки – от 0,75 до 1,00, соотношение коэффициентов асимметрии и вариации составляет от 2,0 до 5,0.

В таблице 6 приведены оценки параметров кривых распределений вероятностей ежегодного превышения модулей смыва почв талыми снеговыми водами и рассчитанные модули стока заданной обеспеченности. Модули смыва почв заданной обеспеченности определены один раз в n = 100 лет, составляют 19,9–41,6 м³/га.

Таблица 5

Оценки параметров кривых распределения вероятностей ежегодного превышения модуля смыва почв за период 1988–2017 гг

Ключевые участки – урочища	Ср. М ³ /га	$\delta_{\text{ср}}$	C_v	$\delta C_v, \%$	C_s/C_v	$r(1)$
Поле (пашня), склон южной экспозиции	9,4	12,5	0,75	15,9	3,5	0,12
Поле (пашня) между кедровым лесом и лесополосой, склон южной экспозиции	8,4	16,5	0,96	17,4	2,0	0,23
Поле (пашня), склон северной экспозиции	4,0	18,3	1,0	18,3	5,0	0,15

Таблица 6

Оценка параметров кривых распределения вероятностей ежегодного превышения и обеспеченные значения модулей смыва почвы

Ключевые участки – урочища	q_v , М ³ /га	Модули смыва почв принятой обеспеченности $q_{\text{об.в.}}$, %						
		0,1	1	5	25	50	75	95
Поле (пашня), склон южный экспозиции	9,4	68,9	41,6	26,4	13,8	8,8	5,6	3,0
Поле (пашня) между кедровым лесом лесополосой, склон южной экспозиции	8,4	43,6	29,0	19,1	9,1	4,7	2,1	0,40
Поле (пашня), склон северный экспозиции	4,0	39,6	19,9	10,9	4,9	2,9	1,7	1,1

Сопоставление расчетных данных потенциального смыва почв по формуле (2) и данных обмера струйчатых размывов показывает (см табл. 4, 6; рис. 2), что они достаточно близки и имеют один порядок. Расхождения в данных, на наш взгляд, зависят от не учета микро-рельефа склона, наличия куртин или полос многолетних трав, стерни, формы и крутизны склона на разных его участках, наличия сугробов вдоль лесополос. Так, в 2012 г. на соседнем участке поля вблизи лесополосы смыв в промоине после таяния снега, накопленного за зиму в сугробе, составил до 56 м³/га по язби, крутизна склона на этом участке равна в верхней части 7–11%.

Выводы. 30-летние полевые наблюдения на склонах различной экспозиции показали, что смыв почв неравномерен по годам и при прочих равных условиях зависит от состояния агрофона, наличия сугробов, крутизны склонов. Наименьший склоновый смыв почв наблюдается по многолетним травам, стерне, глубокой поперечной вспашке, наибольший – по язби в годы интенсивного снеготаяния. Из всех факторов, влияющих на интенсивность смыва, наиболее важным на наш взгляд, является состояние агрофона: если он представлен стерней, многолетними травами, глубокой поперек склона вспашкой, то смыв с пашни слабый или умеренный в зависимости от интенсивности снеготаяния.

Рассматриваемая региональная методика расчета потенциального смыва за счет стока талых вод [1] в достаточной мере адаптирована к местным факторам эрозии, так как

учитывает запас воды в снеге, особенности почвенного покрова, уклоны и формы склонов. Результаты расчетов по данной методике отражают преимущественно среднесезонный объем смыва почв, так как агрофон в ней не учитывается, а более точны для прямых и выпукло-прямых склонов.

Многолетние полевые наблюдения позволяют сделать вывод о том, что ни один из известных методов исследования эрозии почв не лишен недостатков, все они требуют усовершенствования, поскольку смыв почв с пашни неравномерен в пространстве вследствие смены микрорельефа, уклонов, агрофона и т.д. Мы поддерживаем мнение И.Е. Егорова, что признавая важность моделирования и проведения различных экспериментов, необходимо все же учитывать, что «... основные количественные данные о темпах эрозии той или иной территории должны быть получены в реальных полевых условиях» [3, с. 158]. Поэтому данные, полученные в ходе полевых исследований, – это основа для представлений об интенсивности проявления эрозии и аккумуляции почв в агроландшафтах, которая может быть коррелирована с результатами, полученными другими методами.

Библиографический список

- 1 Бураков Д.А., Маркова Е.Э. Эрозия почв Красноярск : Изд-во Краснояр. гос. аграр. ун-та, 2009. 160 с.
- 2 О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году : Государственный доклад. М. : Минприроды России, НИИ-Природа, 2017. 760 с.
- 3 Егоров И.Е. Полевые методы изучения почвенной эрозии // Вестник Удмурт. ун-та. Серия Биология. Наука о Земле. 2009. Вып. 1. С. 157–169.
- 4 Кнауб Р.В., Евсеева Н.С., Петров А.И., Краснощеков С.Ю. Рельеф как фактор развития водной эрозии почв // Вестник Том. гос. ун-та. 2003. № 3. С. 58–60.
- 5 Комаров В.Д. Гидрологический анализ и прогноз весеннего половодья равнинных рек. Л. : Гидрометеониздат, 1955. 309 с.
- 6 Лисецкой Ф.Н., Светличный А.А., Черный С.Г. Современные проблемы эрозоведения. Белгород : Константа, 2012. 456 с.
- 7 Путь в XXI век (стратегические проблемы и перспективы российской экономики) / под ред. Д.С. Львова. М. : Экономика, 1999. 793 с.