

СМЫВ ПОЧВ ТАЛЫМИ ВОДАМИ НА ПАШНЕ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Представлены результаты полевых исследований смыва почв талыми водами на пахотных землях лесостепной зоны Средней Сибири в 2009–2011 гг. Рассмотрены основные факторы и закономерности, влияющие на объем талого стока и процесс смыва почв.

Ключевые слова: снегонакопление; снеготаяние; сток талых вод; смыв почвы; склон; агрофон.

В 2009–2011 гг. автором проведены исследования смыва почв на пахотных землях северной части Красноярской лесостепи в районе с. Ковригино, в 70 км севернее г. Красноярска. Измерения высоты слоя смыва (аккумуляции) проводились на типичном для данной территории опытном участке (урочище Долгий Лог) методом шпилек, а также методом обмера ручьев и конусов выноса. Описание участка и модернизированного метода шпилек представлены в [1]. Участок Долгий Лог используется в основном под пашню. Агрофон пахотных земель опытного участка в 2009 г. представлен стерней, в 2010 г. – стерней и озимыми (последние в восточной части южного массива); в 2011 г. на южном массиве – стерня и озимые, на северном – залежь и озимые. Распашка проводится преимущественно вдоль склона, в период снеготаяния талые воды стекают со склона по пахотным бороздам. Работа водных потоков приводит к образованию струйчатых размывов, характерных для продольной вспашки [2]. В условиях стерни высотой 12–15 см на вершинах склонов рассматриваемого урочища скорость потоков в разгар снеготаяния составляет 0,15–0,35 м/с, мутность – 0,4–0,6 г/л; в средней части склона скорости возрастают до 0,5 м/с, мутность увеличивается до 1,5 г/л. В нижней части склона эти показатели увеличиваются до 0,70–1,0 м/с и 17,5 г/л соответственно. На залежи скорости течения ниже (0,60–0,70 м/с).

Механический состав почвенного покрова на участке преимущественно средне- и тяжелосуглинистый. Крупные фракции песка в процессе разгрузки потоков талых вод при перенасыщении их делювием откладываются в днищах струйчатых размывов и промоин. В сформировавшихся в нижней части склонов конусах выноса преобладают ил (до 32%), пыль крупная (до 21,6%) и средняя (до 20,0%), наименьшую долю составляет песок (до 1,2%). Доля остальных фракций (песок мелкий, пыль мелкая) в сумме составляет до 26%.

Значение допустимых неразмывающих скоростей (ДНС), по данным разных исследователей [3], для супесей и легкосуглинистых почв составляет 0,65–0,70 м/с. Подчеркнем, что размыв почв увеличивается с увеличением степени их смывости. Этот фактор в расчетах ДНС недостаточно исследован. Из приведенных данных видно, что скорости талых вод приближаются к ДНС или превышают их. Основная эрозионная работа продельвается талыми водами в средних и нижних частях склонов, где скорости течения выше.

Глубина промерзания почвы в рассматриваемые годы составляла 1,2–1,5 м. Глубина оттаивания почв ко времени измерения величин смыва (конец апреля – начало мая) составляет в среднем 15–17 см.

Участок Долгий Лог окаймлен по всему периметру лесом, что увеличивает накопление снега у его кромки. Высота и запас воды в снеге на участке ежегодно в

среднем на 25–30% превышают аналогичные данные ближайшей метеорологической станции (Сухобузимо). В многоснежный 2010 г. средний запас воды в снеге на участке Долгий Лог перед снеготаянием составил 137 мм, на полевом снегомерном участке станции Сухобузимо – 101 мм; высота снега – соответственно 52 и 42 см. Исследования многих авторов [2, 4 и др.] показывают, что склоны северной экспозиции аккумулируют большее количество снега. Согласно результатам снегосъемок (февраль – март 2008–2011 гг.) на склонах северной экспозиции величина снегонакопления в 1,5–2 раза выше, чем на южных. Максимальное снегонакопление на опытном участке ежегодно фиксировалось в восточной части северного массива у кромки леса – высота достигала 100 см, запас воды в снеге – 280 мм.

Существенное влияние на накопление и распределение снега оказывает микрорельеф пашни. Его характер предопределяет образование ручейкового стока [4]. Между гребнями пахотного слоя высота снежного покрова повышается примерно на величину высоты борозд. В процессе таяния снег на гребнях сходит быстрее, задерживаясь в низинах. Талая вода после насыщения водоудерживающей емкости почвы скапливается в понижениях и бороздах пашни. С момента переполнения замкнутых микропонижений начинается поверхностный сток, формирующий ручейковую сеть на поверхности пашни. На плакорах и южных склонах снег тает быстрее, чем на склонах северной и восточной экспозиции (северный массив) [4]. В зимний период в нижней части склонов северной экспозиции у кромки леса образуются сугробы, которые в весенний период сохраняются дольше, чем основная масса снега, что при наступлении теплой погоды увеличивает интенсивность снеготаяния и смыва. Этому способствуют протаивание и прорывы снежных перемычек, преграждавших путь скоплениям воды, временно задержанной в начальный период снеготаяния в снежной толще и в лужах под снегом.

Рассмотрим результаты оценки эрозии и причины, определяющие различия величин смыва. Измерения смыва проводились на пяти склонах, два из которых располагались на северном массиве участка, три – на южном [1].

Северный массив представляет собой слабовыпуклое водораздельное плато с общим уклоном в направлении с запада на восток. Рельеф преимущественно пологий, средний уклон 1,1°. В северной части вдоль опушки леса рельеф представлен сетью ложбин шириной 50–100 м. В центральной и восточной частях плато присутствуют слабовыраженные депрессии. Массив делится водораздельной линией на склоны № 1 и 2 северо-восточной и юго-восточной экспозиций [1]. Вдоль грунтовой дороги в южной части северного массива

проходит придорожная канава. В процессе снеготаяния поверхностный сток со склона № 1 поступает в примыкающий с севера участок леса, а со склона № 2 – в придорожную канаву. Склон № 1 выпуклой формы, северо-восточной экспозиции, имеет среднюю длину 400 м, ширину 3 150 м, уклон 1,7°. Склон № 2 выпуклой формы, юго-восточной экспозиции, имеет среднюю длину 300 м, ширину 3 140 м, среднюю крутизну 1,7°. Оба склона смежные и имеют общую вершину, представляя собой северную и южную части водораздельного плато.

На склоне № 1 и восточной части склона № 2 наблюдается повышенное снегонакопление, связанное с близостью к кромке леса. Так, в 2010 г. средний снегозапас на всем участке составил 136 мм, максимальный – на склоне № 1 (226 мм). В 2011 г. зафиксированы значения 89,5 и 148 мм соответственно. Вследствие образования сугробов у кромки леса на данных территориях формируются повышенные сток и эрозия от талых вод. Ежегодно на рассматриваемых частях склонов местами наблюдались максимальные значения смыва: в 2009 г. – 40 мм, в 2010 – 10 мм, в 2011 – 24 мм. Данные полевых наблюдений на северном массиве показывают, что с общим понижением плато с запада на восток возрастает и интенсивность смыва (см. таблицу).

Южный массив представляет собой обширный склон преимущественно юго-восточной экспозиции со средним уклоном около 2,3°. В западной части массива рельеф более расчлененный, присутствуют отдельные ложбины, которые, соединяясь, образуют лощины. В период весеннего половодья в днищах ложбин и лощин формируется сток талых вод. Талые воды в зонах концентрации обладают высокой кинетической энергией, образуя в днищах лощин промоины шириной до 120 см и глубиной до 70–80 см.

Средний уклон восточной части рассматриваемого массива составляет 2,5°. На водораздельных поверхностях, где рельеф более пологий, интенсивность эрозии минимальна. В центральной части рельеф становится более расчлененным, на склонах возникают струйчатые размывы. В нижней части массива вдоль кромки леса присутствует сеть ложбин шириной до 70 м, на дне которых образуются промоины.

Исследования смыва проведены на профилях склонов № 3, 4 и 5 (таблица).

Склон № 3 прямой, юго-западной экспозиции, длиной 126 м, имеет наибольшую крутизну 6,3°. Смыв на данном участке возрастает вдоль склона по мере увеличения уклона, достигая максимального значения в нижней части, где в 2009 г. было зафиксировано максимальное (21,8 мм) значение смыва. Интересно, что в 2010 и 2011 гг. в этом месте была отмечена аккумуляция наносов, что, как будет показано ниже, объясняется разными гидрометеорологическими условиями в рассматриваемые годы.

На склоне № 4 юго-восточной экспозиции, средней крутизны 2,0°, в пределах лощины длиной 1270 м и средней шириной 400 м представлены два вида угодий – пастбище и пашня. На дне лощины, в зоне концентрации стока, располагается промоина шириной 70–110 см и глубиной до 70 см. Из полученных величин смыва по группам шпильек в верхней части этого скло-

на (в 2009 г. – 6,8 мм, в 2010 – 2,9 мм, 2011 – 2,7 мм) видно, что на кормовых угодьях под естественной растительностью значения эрозии заметно ниже, чем на пашне. На пахотных землях данного склона шпильки устанавливались на расстоянии 1,5–3 м от зоны концентрации стока (промоины) и показали смыв в 2009 г. до 20,1 мм, в 2010 – до 17,7 мм, в 2011 – 16,3 мм.

Склон № 5 вогнутый, юго-восточной экспозиции, имеет средний уклон 2,4° и длину 226 м. В нижней части у кромки леса в зоне с максимальным снегонакоплением наблюдаются наибольшие значения смыва – 25,5 мм в 2009 г. В 2011 г. в этом месте отмечена незначительная аккумуляция наносов (см. таблицу).

Территориальное обобщение данных наблюдений выполнено путем распространения характеристик смыва на неизученные участки, находящиеся в сходных условиях, с учетом уклона, длины, экспозиции, местоположения и формы склонов. На рис. 1 приведена карта смыва и аккумуляции со средними значениями смыва за 2011 г. Общие закономерности распределения величины смыва почв состоят в следующем.

В условиях одинакового агрофона эрозия увеличивается вниз по склонам опытного участка, в направлении возрастания удельных расходов воды. Например, на склоне № 5 в 2010 г. в условиях посева озимых культур происходило увеличение смыва вдоль всего профиля от 3,0 до 5,2 мм (таблица). При прочих равных условиях с повышением крутизны склона возрастает и величина смыва. Существенное влияние оказывает протяженность склона, например, на склоне № 4 наибольшей протяженности величина смыва выше, чем на более крутом, но коротком склоне № 3 (см. таблицу).

Отличительной характеристикой участка Долгий Лог является преобладание склонов со значительной длиной – от 500 до 1 300 м. Поскольку средний уклон на опытном участке невысокий (2,5°), значительный смыв может происходить за счет увеличения длины склона в результате возрастания удельных расходов воды и скоростей течения. Еще одна особенность опытного участка – окаймление лесом и образование сугробов по всему периметру. Таяние снежного покрова на участках высокого снегонакопления затягивается, и в заключительной фазе может происходить при высокой температуре и, соответственно, интенсивности снеготаяния. В этих условиях величина смыва выше на северных склонах с наибольшим снегонакоплением.

Анализируя результаты полевых наблюдений, можно сделать вывод, что максимальные значения эрозии наблюдались в 2009 г., минимальные – в 2010. В 2011 г. величина смыва была средней.

Сравнивая средние и экстремальные характеристики смыва за рассматриваемые годы, можно заключить, что основные причины различий связаны с неодинаковыми гидрометеорологическими условиями. Подчеркнем, что изменения из года в год показателя осеннего увлажнения на степных и лесостепных реках оказывают значительное влияние на сток весеннего половодья. Например, согласно [5], сток талых вод р. Б. Уря (Красноярский край, северная лесостепь) при запасах снега 100 мм в условиях наиболее низкого осеннего увлажнения составляет 10 мм, для наиболее высокого –

80 мм (т.е. в 8 раз больше). Отметим, что величина показателя осеннего увлажнения на территории Красноярской лесостепи нами определялась по количеству осадков и слою растаявшего снега за октябрь – ноябрь. Рассмотрим особенности снегонакопления и осеннего увлажнения почв в исследуемые годы.

2009 г. характеризовался высоким снегонакоплением (123 мм) и наивысшим за 20 лет осенним увлажнением (57,6 мм). Этот фактор, наряду с рано установившимися (начало апреля) и постоянно высокими положительными температурами, обеспечил высокую вели-

чину поверхностного стока и максимальные величины смыва почв (таблица). 2010 г. отличался весьма низким осенним увлажнением (28,9 мм) и максимальным снегонакоплением (137 мм). Низкое осеннее увлажнение способствовало усилению впитывания талых вод, снижению поверхностного стока и, соответственно, интенсивности смыва (в 2010 г. отмечен наименьший смыв почв). 2011 г. отличался минимальным снегонакоплением (88 мм), средним осенним увлажнением (41,8 мм), дружным снеготаянием. Величина эрозии в этом году характеризуется средними значениями.

Результаты исследования слоя смыва (аккумуляция) почв от талых вод с применением метода шпилек (1 мм слоя смывтой почвы составляет около 10 т/га за период половодья)

Массив	№ склона	№ точек со шпильками	Уклон (град.)	Экспозиция склона	Измеренная величина смыва (аккумуляция) по группам шпилек (мм слоя почвы)						
					2009 г.		2010 г.		2011 г.		
					Местоположение и характеристика агрофона	Смыв (-), аккумуляция (+)	Местоположение и характеристика агрофона	Смыв (-), аккумуляция (+)	Местоположение и характеристика агрофона	Смыв (-), аккумуляция (+)	
Северный	1	1	1,8	СВ	Вершина, пашня (стерня)	-9,7	Вершина, пашня (стерня)	-2,4	Вершина, залежь	2,91	
		2	2,6		Средняя часть, пашня (стерня)	-	Средняя часть, пашня (стерня)	-3,2	Средняя часть, залежь		
		3а	2,7		Нижняя часть, пашня (стерня)	-7,7	Нижняя часть, пашня (стерня)	+14,5	Нижняя часть, залежь		
		3в	1,4		Средняя часть, пашня (стерня)	-	Средняя часть, пашня (стерня)	-1,1	Средняя часть, залежь		
		3б	4,1		Средняя часть, пашня (стерня)	-	Средняя часть, пашня (стерня)	-1,2	Средняя часть, залежь		
		11	1,2		Верхняя часть, водораздел, пашня (стерня)	-15,2	Верхняя часть, водораздел, пашня (стерня)	-0,95	Верхняя часть, водораздел, залежь		-8,25
		12	1,4		Средняя часть, пашня (стерня)	-2,1	Средняя часть, пашня (стерня)	-0,4	Средняя часть, залежь		-18,0
		13	3,8		Нижняя часть, пашня (стерня)	-23,7	Нижняя часть, пашня (стерня)	-3,3	Нижняя часть, залежь		+12,0
		16	2,1		Вершина, пашня (стерня)	-19,7	Вершина, пашня (стерня)	-6,6	Вершина, пашня (озимые)		-15,3
		17	2,1		Средняя часть, пашня (стерня)	-20,7	Средняя часть, пашня (стерня)	-1,0	Средняя часть, пашня (озимые)		-24,2
	18	2,2	Нижняя часть, пашня (стерня)	-40,3	Нижняя часть, пашня (стерня)	-5,4	Нижняя часть, пашня (озимые)	-19,7			
	2	11	1,2	ЮВ	Верхняя часть, водораздел, пашня (стерня)	-15,2	Верхняя часть, водораздел, пашня (стерня)	-0,95	Верхняя часть, водораздел, залежь	-8,25	
		14	1,8		Средняя часть, пашня (стерня)	-2,9	Средняя часть, пашня (стерня)	-1,6	Средняя часть, залежь	-21,3	
		15	1,7		Нижняя часть, пашня (стерня)	-21,6	Нижняя часть, пашня (стерня)	-0,4	Нижняя часть, залежь	-20,2	
		16	2,1		Вершина, пашня (стерня)	-19,7	Вершина, пашня (стерня)	-6,6	Вершина, пашня (озимые)	-15,3	
		19	0,6		Вершина, пашня (стерня)	-24,9	Вершина, пашня (стерня)	-6,9	Вершина, пашня (озимые)	-	
		20	1,2		Средняя часть, пашня (стерня)	-9,7	Средняя часть, пашня (стерня)	-10,0	Средняя часть, пашня (озимые)	-4,8	
	Южный	3	8	ЮЗ	Вершина, пашня (стерня)	-8,8	Вершина, пашня (пар)	-4,0	Вершина, пашня (стерня)	-7,8	
9			6,3		Средняя часть, пашня (стерня)	-9,7	Средняя часть, пашня (стерня)	-4,0	Средняя часть, пашня (стерня)	-5,0	
10			7,7		Нижняя часть, пашня (стерня)	-21,8	Нижняя часть, пашня (стерня)	+7,5	Нижняя часть, пашня (стерня)	+7,0	
4		3	ЮВ	Вершина, пастбище	-6,5	Вершина, пастбище	-2,9	Вершина, пастбище	-2,7		
		4		4,0	Средняя часть, пашня (стерня)	-19,0	Средняя часть, пашня (стерня)	-2,35	Средняя часть, пашня (стерня)	-4,2	
		5		2,2		-20,1	Средняя часть, пашня (пар)	-17,7		-16,3	
		6		2,0	-9,1	Средняя часть, пашня (стерня)	-4,6	-			
7		2,0	Нижняя часть, пашня (стерня)	-23,9	Нижняя часть, пашня (стерня)	+9,0	Нижняя часть, пашня (стерня)	-8,8			
5		21	ЮВ	Вершина, пашня (стерня)	-5,6	Вершина, пашня (озимые)	-3,0	Вершина, пашня (пар)	-2,7		
		22		1,8	Средняя часть, пашня (стерня)	-4,4	Средняя часть, пашня (озимые)	-4,0	Средняя часть, пашня (пар)	-1,3	
	23	3,2		Нижняя часть, пашня (стерня)	-25,5	Нижняя часть, пашня (озимые)	-5,2	Нижняя часть, пашня (пар)	+2,7		

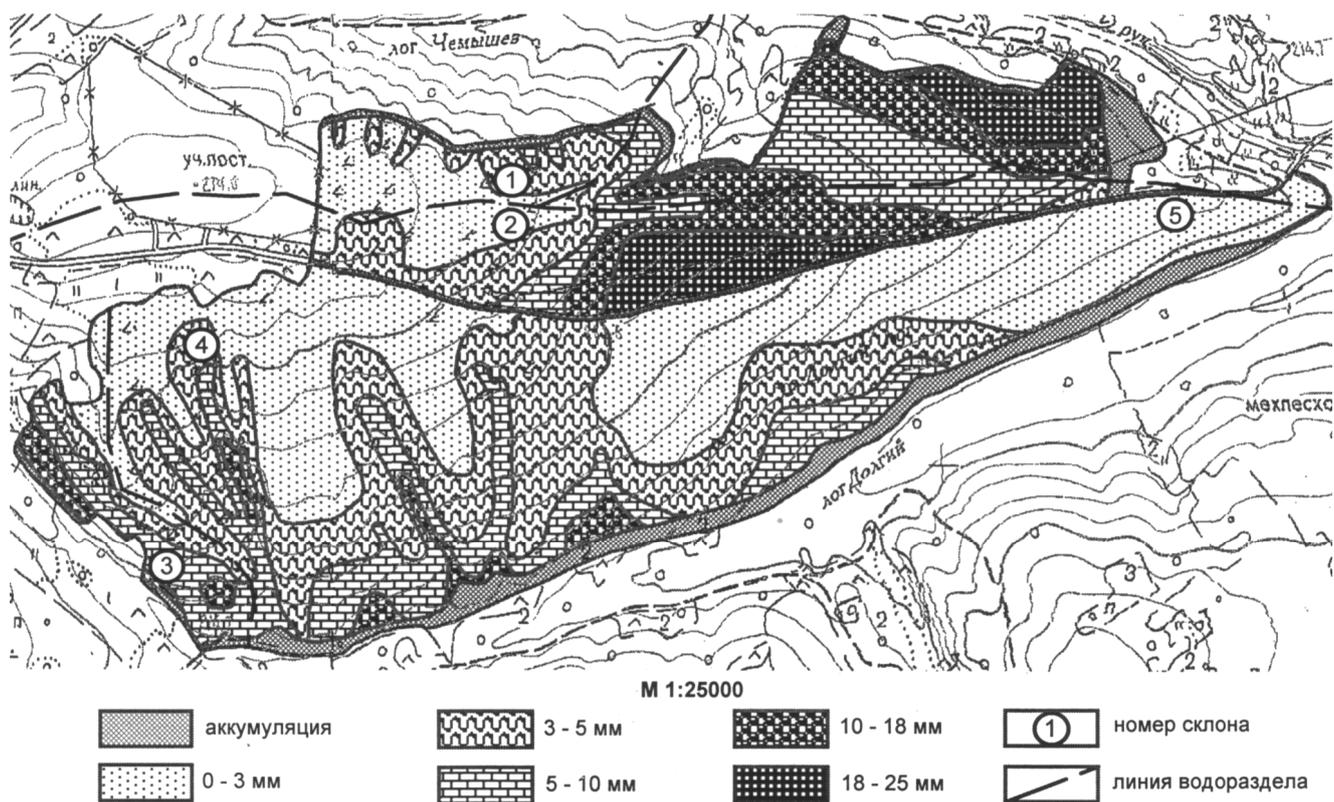


Рис. 1. Карта средних значений слоя смыва (аккумуляции) почв на участке Долгий Лог в 2011 г.

Сопоставив данные по осеннему увлажнению почв с величинами весеннего смыва за 2009–2011 гг., видим, что величина предшествующего осеннего увлажнения почвы коррелирует с интенсивностью эрозии. Этот вывод подтверждается многими авторами [4 и др.]. Согласно классификации [6] интенсивность эрозии на

опытном участке изменяется от слабой до катастрофической для всех рассматриваемых лет. Столь широкий диапазон значений смыва объясняется тем, что участок Долгий Лог характеризуется значительной дифференциацией условий формирования талого стока и смыва почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голубев И.А. Применение модернизированного метода шпильки для оценки смыва почв с пашни талыми водами (на примере Красноярской лесостепи) // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 347. С. 170–173.
2. Евсеева Н.С. Современный морфолитогенез юго-востока Западно-Сибирской равнины. Томск : Изд-во НТЛ, 2009. 484 с.
3. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1957. 242 с.
4. Танасиенко А.А. Специфика эрозии почв в Сибири. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2003. 176 с.
5. Иванова О.И. Гидрологический анализ и прогноз весеннего половодья лесных и лесостепных рек Средней Сибири : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Красноярск, 2010. 24 с.
6. Шкула Н.К., Рожков А.Г., Трегубов П.С. К вопросу картирования территории по интенсивности эрозионных процессов // Оценка и картирование эрозионноопасных и дефляционноопасных земель. М., 1973. С. 30–34.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 25 февраля 2012 г.