

УДК 556.16«321»«324»(470.31)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ТАЛЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ НЕУСТОЙЧИВЫХ ЗИМ

А.И. БЕЛОЛЮБЦЕВ, С.И. ЧЕБАНЕНКО, И.С. КОЧЕТОВ

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

Установлена возрастающая роль метеорологических условий как внешних факторов формирования поверхностного стока талых вод при их существенных отклонениях от средних многолетних значений в проявлении процессов водной эрозии почв. В неустойчивые зимы эродирующее воздействие на почву склонового потока талой воды при общем сокращении его объема увеличилось более чем в 2,5 раза.

В основе развития современных процессов водной эрозии почв лежат, как правило, антропогенные факторы: интенсификация земледелия, все возрастающее уплотнение почвы, резкое снижение содержания гумуса, отсутствие комплексной защиты склоновых земель [2, 3, 5, 7, 9]. Однако в последние годы отмечается усиление влияния на эти негативные процессы внешнего, независимого фактора — метеорологических условий, и прежде всего их существенных отклонений от средних многолетних значений [1, 6, 8].

Цель наших исследований заключалась в изучении влияния метеорологических условий на внешние и внутренние факторы поверхностного стока талых вод, обуславливающих степень развития эрозионных процессов (рисунки).

Методика

Исследования выполнены в 1989—1995 гг. в стационарном полевом опыте, заложенном в 1980 г. на Конаковском поле учхоза ТСХА «Михайловское» Подольского района Московской области на среднеэродированной среднесуглинистой дерново-подзолистой почве в почвозащитном 5-польном севообороте: овес — ячмень с подсевом многолетних трав — многолетние травы 1-го года пользования — многолетние травы 2-го года пользования — озимая пшеница.

Изучали противоэрозионные обработки (фактор А): вспашку на глубину 20—22 см (контроль); вспашку + щелевание на 40—50 см; плоскорезную обработку на 18—20 см + щелевание; плоскорезную обработку + чизелева-



Схема взаимосвязей факторов поверхностного стока

ние на 38—40 см; поверхностную обработку на 8—10 см + шелевание; поверхностную обработку — при крутизне склона (фактор Б) 4 и 8°. Варианты размещены методом организованных повторений, повторность 3-кратная. Экспозиция склона — южная.

Предпосевная обработка почвы включала дискование для заделки удобрений и пожнивных остатков и обработку РВК-3,6. В вариантах, включающих плоскорезную обработку в сочетании со шелеванием и чизелеванием, основную обработку почвы проводили

ПЩН-2,5. Щелевание по вспашке и поверхностной обработке осуществляли при устойчивом промерзании почвы на глубину 3—5 см. Для усиления противозрозной эффективности поверхностной обработки после 1-го укоса многолетних трав 2-го года пользования применяли чизелевание на 38—40 см плугом ПЧ-4,5 М. Для повышения почвозащитной способности изучаемых противозрозных обработок почвы и более эффективного использования пожнивных остатков в 1990 и 1991 гг. дополнительно применяли мульчирование поверхности почвы измельченной соломой.

Анализы проводили по соответствующим методикам и ГОСТам. Программа исследований включала: измерение мощности снежного покрова и количества влаги в нем, глубины промерзания и оттаивания почвы; учет поверхностного и внутрипочвенного стока; определение смыва почвы по мутности стоковой воды и объему водоросли, содержание питательных элементов в продуктах твердого и жидкого стока, а также определение макро- и микроагрегатного составов, твердости, плотности, влажности, водопроницаемости почвы и урожайности. Образцы отбирали по горизонтам 0—10, 10—20, 20—30 и 30—40 см.

Результаты

Метеорологические условия в зимние периоды в годы проведения исследований не соответствовали средним многолетним и характеризовались как неблагоприят-

ные. Это выражалось прежде всего в существенных колебаниях температуры воздуха. Например, средние ее значения в декабре и январе зимой 1989/90 г. были почти в 2 раза выше нормы. Особенно теплым оказался февраль, когда средняя температура составила всего лишь $-0,3^{\circ}\text{C}$ (при норме $-10,3^{\circ}\text{C}$). Амплитуда ее колебаний в период наблюдений — $22...+5^{\circ}\text{C}$, что определяло многократное чередование отрицательных температур и положительных с продолжительными оттепелями. Наиболее заметные потепления отмечались в I декаде января, в начале и конце февраля при общем повышении уровня солнечной активности. В целом радиация солнца большую часть времени зимой и во время стока была рассеянной, отмечалось нарастание ее уровня со второй половины зимы.

По многолетним данным, в Московской области осадки в виде снега составляют 33% их годового объема, что соответствует 160—170 мм. Однако далеко не все это количество снега сохранялось на полях. Часть становалась еще до формирования устойчивого снежного покрова, но в большей степени таяние снега наблюдалось в течение зимы, во время частых оттепелей. Количество осадков также не соответствовало норме, причем основной их недостаток приходился на начало зимы. Выпадали осадки неравномерно по времени и были неоднородными (иногда и в виде дождей) по составу.

В среднем за годы исследований (1989—1995) температура возду-

ха в зимний период была на 4—5°С выше, а количество выпавших атмосферных осадков на 25—30 мм ниже нормы.

На запасы и распределение снежного покрова оказывали влияние рельеф, ветровой режим, характер растительного покрова и особенно метеорологические условия. Положительные температуры и продолжительные оттепели способствовали значительному сокращению запасов снега. Так, уже после первой оттепели в начале января мощность снежного покрова уменьшилась на 20—40%, а в отдельные годы снег ставал более чем на 70%, что способствовало формированию внутриснежных промежуточных стоков и как следствие значительным дополнительным потерям стоки воды. Промежуточные стоки обычно не наносили прямого ущерба плодородию почвы, хотя и наблюдались потери элементов питания, поскольку скорость движения воды в сплошной массе снега была очень мала. Частые оттепели приводили к существенному уплотнению снега (в 2 и более раз), а также формированию слоистой (из ледяных корок и рыхлого снега) структуры снежного покрова.

По элементам склона снегонакопление было неравномерным. Так, на склоне крутизной 4° количество снега возрастало сверху вниз, а на склоне крутизной 8° — снизу вверх, что оказывало заметное влияние на развитие эрозийных процессов. Изучаемые варианты обработки почвы незначительно влияли на запасы снега. В среднем мощность снеж-

ного покрова к моменту весеннего снеготаяния составляла 15—40 см при запасах воды в нем — около 40—50 мм.

Промерзание почвы — решающий фактор формирования стока талых вод. На почве талой, хотя бы местами, сток не формируется [2, 4, 8, 9].

В годы исследований промерзания определялось в основном температурным режимом и количеством осадков. В 1989 и 1990 гг. при чередовании слабых морозов с положительными температурами поверхность почвы находилась фактически в талом состоянии (табл. 1). Лишь в начале зимы и в отдельные ее периоды отмечалось незначительное (до 6—8 см) промерзание пахотного горизонта. В первый день весеннего снеготаяния почва в изучаемых вариантах на обоих склонах была талой.

Зимы 1991—1995 гг. характеризовались более низкими температурами, что способствовало и более существенному промерзанию почвы (табл. 2). Например, резкое похолодание в конце января 1991 г. при сравнительно небольшой (до 16 см) мощности снежного покрова обусловило сильное охлаждение почвы и промерзание до 50—63 см. Менее значительной глубина промерзания была в вариантах с поверхностной обработкой, что, видимо, связано с меньшим водонасыщением почвы в осенние периоды и зимой во время оттепелей. В начале зимы в процессе промерзания влажной почвы наблюдалось передвижение влаги из нижних слоев к верхним, особенно к 10-сантиметрово-

Таблица 1

Поверхностный сток и смыв почвы при крутизне склона 4° (числитель)
и 8° (знаменатель) в среднем за 1989—1990 гг.

Вариант обработки	Промерзание почвы к началу стока, см	Запасы воды в снегу + осадки, мм	Продолжительность стока, дни	Сток, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, т/га
Вспашка	$\frac{0}{0}$	$\frac{43,2}{35,4}$	$\frac{0}{6}$	$\frac{0,0}{7,7}$	$\frac{0,0}{0,21}$	$\frac{0,0}{0,08}$
Вспашка + щелевание	$\frac{0}{0}$	$\frac{42,6}{36,0}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0,0}{5,3}$	$\frac{0,0}{0,15}$	$\frac{0,0}{0,05}$
Поверхностная	$\frac{0}{0}$	$\frac{43,7}{36,7}$	$\frac{0,0}{5,5}$	$\frac{0,0}{6,9}$	$\frac{0,0}{0,19}$	$\frac{0,0}{0,07}$

вому слою, с частым образованием в нем не только отдельных кристалликов, но и прослоек изо льда, что способствовало в отдельные годы существенному уси-

лению стока весной. Наиболее заметное влияние мощности снежного покрова на глубину промерзания почвы отмечалось в начале зимы.

Таблица 2

Поверхностный сток и смыв почвы при крутизне склона 4° (числитель)
и 8° (знаменатель) в среднем за 1991—1995 гг.

Вариант обработки	Промерзание почвы к началу стока, см	Запасы воды в снегу + осадки, мм	Продолжительность стока, дни	Сток, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, т/га
Вспашка	$\frac{34}{40}$	$\frac{49,7}{46,1}$	$\frac{4,5}{8,0}$	$\frac{7,2}{20,7}$	$\frac{0,14}{0,45}$	$\frac{0,40}{0,64}$
Вспашка + щелевание	$\frac{35}{41}$	$\frac{49,9}{46,1}$	$\frac{4,0}{7,0}$	$\frac{9,0}{17,3}$	$\frac{0,18}{0,38}$	$\frac{0,27}{0,53}$
Плоскорезная + щелевание	$\frac{33}{40}$	$\frac{50,9}{47,5}$	$\frac{5,5}{7,5}$	$\frac{10,4}{20,7}$	$\frac{0,20}{0,44}$	$\frac{0,42}{0,67}$
Плоскорезная + чизелевание	$\frac{30}{37}$	$\frac{51,1}{47,7}$	$\frac{4,5}{7,5}$	$\frac{8,3}{20,6}$	$\frac{0,16}{0,43}$	$\frac{0,39}{0,69}$
Поверхностная + щелевание	$\frac{30}{36}$	$\frac{50,6}{46,7}$	$\frac{4,0}{7,0}$	$\frac{7,0}{18,7}$	$\frac{0,14}{0,40}$	$\frac{0,30}{0,60}$
Поверхностная	$\frac{29}{35}$	$\frac{50,5}{46,7}$	$\frac{5,0}{7,5}$	$\frac{10,2}{20,8}$	$\frac{0,20}{0,45}$	$\frac{0,39}{0,74}$

При всей значимости влияния глубины промерзания на просачивание влаги все же объем стока талых вод в основном зависит от степени промерзания почвы, главным признаком которой считается уровень цементации верхних слоев льдом (сопротивление почвы расклиниванию, резанию и т.д.).

Степень промерзания в период исследований была различной и зависела от влажности почвы, отрицательных температур и глубины промерзания. Наблюдения за оттаиванием почвы и при отборе образцов на влажность перед стоком показали, что после продолжительных оттепелей или невысоких отрицательных температур при достаточном снегонакоплении степень промерзания заметно уменьшалась, что, видимо, связано с общим повышением температуры почвы. И, наоборот, при сильном ее охлаждении и высокой влажности цементация льдом верхних слоев значительно возрастала. Сопротивление мерзлой почвы расклиниванию острым стальным стержнем в этом случае было очень большим.

Заметное влияние на степень промерзания оказали также и неблагоприятные предзимние погодные условия, наблюдаемые в большинстве исследуемых лет, когда частые дожди способствовали существенному увеличению влажности верхних горизонтов почвы. В целом для периода наблюдений с неустойчивыми зимами была характерна высокая степень промерзания почвы, что в сочетании с глубиной промерзания явилось одним из решающих

факторов, влияющих на водопроницаемость и в итоге на стокорегулирующую эффективность изучаемых агротехнических приемов.

К важным условиям, определяющим способность почвы поглощать талую воду, относится наличие в ней свободных пор. В течение периода наблюдений за формированием поверхностного стока влажность почвы в изучаемых вариантах оставалась высокой, чему способствовали сложные метеорологические условия предзимних и зимних периодов. Осенью увлажнение верхних слоев определяли частые дожди при незначительном испарении и таянии первого снега, зимой — снеговая вода в период оттепелей, которая в свободных порах охлажденной почвы формировала ледяные пробки, а на поверхности нередко и ледяную корку. При крупнопористой структуре пахотного горизонта, в частности в нарезанных щелях, талая вода замерзала пристенно, а в случае продолжительных оттепелей при дальнейшем понижении температуры отмечалось заполнение микрорельефа поверхности почвы льдом и полная нейтрализация щелей. Наиболее активными эти процессы были в 1992 г., когда перед весенним снеготаянием почва во всех вариантах опыта находилась в состоянии полного оледенения при мощной (до 20 мм) ледяной корке на ее поверхности. В таких условиях фильтрация талой воды в мерзлую почву исключалась.

В отдельные годы сочетание высокой влажности с многократ-

ным чередованием оттепелей и отрицательных температур (эффект промораживания — оттаивания) способствовало разрушению свободных от снега структурных агрегатов почвы до мельчайших частиц твердой фазы, что заметно усиливало потери почвы при формировании стока весной.

Мульчирование поверхности почвы изучаемых вариантов измельченной соломой в 1990—1991 гг. способствовало большому переувлажнению пахотного слоя, особенно при плоскорезных обработках. Солома при неблагоприятных метеорологических условиях, в частности осенью, удерживала в себе дополнительную влагу и препятствовала ее испарению из почвы. В среднем влажность верхнего слоя перед весенним снеготаянием колебалась от 40 до 60%.

Процесс оттаивания почвы неоднократно наблюдался еще зимой под толщей снега, что определялось проникновением в почву теплой талой воды во время оттепелей. В 1989 и 1990 гг. благодаря активному оттаиванию почва оставалась талой весь зимний сезон за небольшим исключением. Этому способствовало не только наличие внешних положительных температур, но и тепловая волна, идущая из более глубоких слоев почвы, не успевшей сильно остыть в начале зимы.

В условиях опыта 1991—1995 гг. оттаивание зимой сверху и снизу было менее заметным (1—2 см), что обусловлено более значительным охлаждением почвы и промерзанием ее до 30—40 см. Гораздо более интенсивным про-

цесс оттаивания был весной, в частности на 3—4-е сутки с начала таяния снега и после полного его схода. При этом решающее влияние оказывали температура воздуха, окраска поверхности почвы, наличие пожнивных остатков, а также влажность пахотного и подпахотного горизонтов. Мерзлая переувлажненная почва оттаивала значительно медленнее, чем менее увлажненная, так как в этом случае требовалось гораздо больше тепла. Наиболее быстрыми темпами (до 3 см/сут) оттаивание шло в вариантах со вспашкой и поверхностной обработкой, а гораздо медленнее (до 1,5 см/сут) — при плоскорезных обработках. Особенно медленно оттаивала почва непосредственно под измельченной соломой между проходами лап щелевателя, где она оставалась мерзлой длительное время.

Снеготаяние проходило в два этапа: от начала таяния снега до полного его насыщения и от момента, когда весь снег переходил в насыщенное состояние, до окончания стока. Первый этап имел некоторые особенности, связанные с отклонениями метеорологических условий от нормы в период накопления снежной массы. Наличие в толще снежного покрова прослойки из льда препятствовало активной фильтрации воды в глубь снега, что несколько увеличивало протяженность первого этапа. С одной стороны, это имело положительный результат, так как при быстром проникновении воды до охлажденной поверхности почвы возможно образование ледяной корки и фор-

мирование сильного стока. Но с другой стороны, по нашим наблюдениям, ледяные прослойки способствовали определенной концентрации стока, дренажно-снежного покрова и в итоге ускоренному появлению проталин. Следует заметить, что первые проталины были обнаружены еще при отрицательных температурах. В ясную солнечную погоду вытаивание происходило в глубине снежной массы, в местах (на гребнях, крупных глыбах и т.д.), где ее мощность была значительной. Солнечные лучи, свободно проникая через ледяную пленку и тонкий слой снега, концентрировались на отдельных элементах поверхности почвы, повышая их температуру и способствуя вытаиванию снега вокруг. Это ускоряло процесс весеннего снеготаяния.

В первый период темпы таяния снега были одинаковыми в разных вариантах. В дальнейшем они зависели уже от таких факторов, как степень уплотнения снега, выровненность почвы, наличие растительных остатков и др. Таяние снега в изучаемых вариантах чаще носило прерывистый характер. Невысокие положительные температуры днем и отрицательные ночью нередко обеспечивали сход основной массы снега до формирования стока, резко увеличивая потери талой воды на испарение. Так, в 1992 и 1993 гг., по данным учета глубины и степени промерзания почвы, а также по наличию на ее поверхности ледяной корки, можно было предположить формирование сильного стока талых вод.

Однако таким он оказался только на склоне крутизной 8°, а при крутизне 4° практически полностью отсутствовал.

По нашим наблюдениям, при определенных изменениях метеорологических условий становился не совсем точным утверждение о том, что на почве талой (хотя бы местами) сток не формируется. В условиях опыта 1990 г. при отсутствии промерзания почвы: а склоне крутизной 4° сток действительно не наблюдался, тогда как с увеличением крутизны склона до 8° во всех изучаемых вариантах сформировался сильный (свыше 10 мм) сток талых вод. Это было обусловлено прежде всего высокой водонасыщенностью верхнего слоя почвы, заметно ограничившей возможности водопоглощения, а также значительной (более 11 мм/сут) интенсивностью снеготаяния при непрерывном его процессе в течение 3 сут. Аналогичные результаты получены нами и в 1989 г.

В 1992—1995 гг. на втором этапе снеготаяния большая часть талой воды стекала по почве, еще недостаточно оттаявшей, или по ледяной корке, не нанося существенного ущерба ее плодородию. Однако эродирующая способность оставшейся части стока заметно возрастала по мере оттаивания почвы, так как переувлажненная в оттепели и заплывшая ее поверхность с разрушенной структурой не могла существенно противостоять смыву.

Особенно сильное влияние на формирование стока талых вод и смыв почвы оказали неустойчивые метеорологические условия в

1991 г. Процесс снеготаяния был очень растянут во времени и продолжался 14 дней с большим перерывом. Сток начался 26 февраля и длился 2 дня, в основном на склоне крутизной 8°. Дальнейшее резкое понижение температуры приостановило активное таяние снега до 16 марта. Лишь 18 марта сток вновь возобновился и продолжался еще 12 дней с неравномерными темпами таяния снега. Большей частью он проходил в пасмурную погоду, при рассеянной солнечной радиации. При запасах воды в снегу немногим более 30 мм среднесуточная интенсивность снеготаяния на изучаемых склонах составила лишь около 3 мм/сут. Но даже такой незначительный объем талой воды почва не поглощала. Причина этого — высокая степень цементации ее льдом в сочетании со значительным охлаждением, что исключало активную фильтрацию талой воды в глубь почвы.

Эти наблюдения подтверждают полученные нами данные о внутрипочвенном горизонтальном стоке. На него приходилось всего лишь 0,2% общего объема стекаемой снеговой воды. Причем он начал формироваться только на 6-й день второго срока таяния снега. В результате потери общих запасов воды за счет поверхностного стока были максимальными за весь период наблюдений. Коэффициенты стока на склонах крутизной 4 и 8° были равны соответственно 0,37 и 0,62. Частый возврат зимой положительных температур, а также сложные условия прохождения весеннего снеготаяния предопределили и высо-

кое эродирующее воздействие склонового потока на почву. Так, при уклоне 4° потери мелкозема составили в среднем около 1,8 т/га, а с возрастанием крутизны склона вдвое — около 3 т/га.

Максимальные потери почвы отмечались, как правило, на 3—4-й день с момента формирования стока, при появлении первых проталин. Здесь важное значение имело распределение снега по элементам склона. На склоне крутизной 8° мощность снежного покрова в нижней части была на 2—3 см меньше, чем на других его частях, что способствовало более быстрому стаяванию снега и оттаиванию почвы в этом месте, следовательно, и концентрации талой воды, стекающей сверху, в местах протаивания, образованию водоронн и в целом заметному усилению процессов эрозии. На склоне крутизной 4° большее количество снега скапливалось в нижней части. Это в начальный период снеготаяния способствовало равномерному распределению талой воды по поверхности почвы, что заметно снижало ее скорость и играло важную роль в качестве фильтра для взвешенных в потоке мелких частиц твердой фазы. По окончании стока здесь можно было наблюдать скопление части смытого мелкозема.

Таким образом, многолетние исследования показали, что в сложившихся условиях применение даже эффективных противоэрозионных агротехнических мероприятий в почвозащитном севообороте не гарантирует общего снижения стока талых вод и смыва почвы. Напротив, темпы развития

эрозии почв значительно возросли. Проведенный сравнительный анализ данных поверхностного стока и смыва почвы в годы с разным характером зимних погодных условий свидетельствует о том, что в неустойчивые зимы (1989—1995 гг.) при общем сокращении (в среднем в 2,2 раза) стока талых вод потери смытой почвы увеличились более чем в 2,5 раза [1].

Взаимосвязь внешних и внутренних факторов формирования поверхностного стока очень сложна и многообразна. В период наблюдений метеорологические условия прямо или косвенно оказывали влияние на все главные факторы, определявшие объем стока талых вод: степень увлажнения верхних слоев почвы и запасы воды в снегу; глубину и степень промерзания; сроки и особенности снеготаяния, температурный режим зимних периодов. Поэтому любые изменения каждого из факторов, особенно внешнего, оказывают серьезное влияние на качественные характеристики стока. Знание же закономерностей его формирования, в частности в неустойчивые зимы, значительно облегчит наблюдения, позволит более точно прогнозировать величину стока талых вод, а также определить для конкрет-

ных условий комплекса эффективных почвозащитных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Белолобцев А.И.* Влияние противозерозонных обработок на водно-физические свойства дерново-подзолистой почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. — Автореф. канд. дис. М., 1993. — 2. *Заславский М.Н.* Эрозиеведение. М.: Высшая школа, 1983. — 3. *Каишанов А.Н., Заславский М.Н.* Почвоводоохранное земледелие. М.: Россельхозиздат, 1984. — 4. *Каишанов А.Н.* Почвозащитное земледелие на склонах. М.: Колос, 1983. — 5. *Константинов П.С.* Защита почв от эрозии при интенсивном земледелии. Кипшинев: Штаница, 1987. — 6. *Кочетов П.С., Осипов В.Н., Белолобцев А.И. и др.* Защита почв от эрозии в агроландшафтном земледелии. — Химия в сельск. хоз-ве, 1996, № 5, с. 35—38. — 7. *Лидов В.П.* Процессы водной эрозии в зоне дерново-подзолистых почв. М.: Изд-во МГУ, 1981. — 8. *Ломакин М.М.* Мульчирующая обработка почвы на склонах. М.: Агропромиздат, 1988. — 9. *Сурмач Г.П.* Водная эрозия и борьба с ней. Л.: Гидрометеониздат, 1976.

Статья поступила 25 февраля 1997 г.

SUMMARY

It has been ascertained that meteorological conditions as outward factors in formation of thawing water surface runoff with their substantial deviations from average values of many years play an increasing role in processes of water soil erosion. In unstable winters eroding effect of slope flow of thawing water increased more than 2.5 times, its total volume getting smaller.