

УДК 631.459.01:551.58

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ЭРОЗИОННО ОПАСНЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ С УЧЕТОМ ТЕКУЩИХ И ОЖИДАЕМЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ

А.И. БЕЛОЛЮБЦЕВ

(Кафедра земледелия и агрометеорологии)

Представлены результаты длительных исследований процессов эрозии почв на склоновых землях южной экспозиции Центрального Нечерноземья. Установлено, что мульчирование почвы растительными остатками, особенно на фоне минимализации, является важным агротехническим и биологическим приемом, мощным средством комплексного воздействия на почвенные процессы и функционирование эрозионно опасных агроландшафтов. Мульчирующая обработка в современных неблагоприятных почвенно-климатических и погодных условиях способствует сохранению и восстановлению плодородия эродированных почв, обеспечивая надежный режим защиты от эрозии. В полной мере она проявляется на склоне крутизной 4°, где величина поверхностного стока талых вод составляет лишь 1,5 мм, при отсутствии существенных потерь смытой почвы. Это имеет важное агроэкологическое значение в адаптации эрозионно-опасных сельскохозяйственных территорий к текущим и ожидаемым изменениям климата.

**Ключевые слова:** изменения климата, склоны южной экспозиции, эрозия почв, адаптация, мульчирующая обработка, минимализация.

Нарастающая экологическая разбалансированность окружающей среды и климата стала для современного общества важнейшей проблемой, требующей кардинального изменения самой философии отношения к среде обитания. Конфликт с природой, сопровождаемый ростом числа экологических катастроф и их глобализацией, остро ставит вопрос о сохранении устойчивости биосферы. Поэтому представляется совершенно оправданным подписание в конце 2009 г. главой государства климатическая доктрина России, где дана оценка возможных последствий для

страны глобального потепления климата. Прогнозируемые ведущими учеными и специалистами в ближайшие 10—20 лет изменения климата, в целом, продолжают тенденции, наблюдавшиеся в последние десятилетия, а по своим масштабам и интенсивности с высокой степенью вероятности будут их превосходить. В этой связи в доктрине предлагаются способы повысить эффективность экономики не в ущерб экологии. Одной из ключевых задач государства в этом направлении станет разработка мероприятий по адаптации основных отраслей экономики страны к текущим

и ожидаемым климатическим изменениям.

Сельское хозяйство является одной из самых климатозависимых сфер производственной деятельности человека. Состояние и продуктивность агроландшафтов и их функционирование, многие технологические процессы в агрофере напрямую зависят от развития и сочетания погодных условий. Поэтому глобальное потепление климата и связанное с этим снижение устойчивости аграрного производства [3, 8, 9] обуславливают острую необходимость поиска, разработки и применения различных мероприятий по ландшафтно-экологической адаптации систем использования земель с.-х. назначения. Наиболее уязвимыми в данном отношении являются склоновые территории, особенно южных экспозиций с низким естественным плодородием и высокой природной и антропогенной нагрузкой.

### Методика

Исследования выполнены в 1981 — 2005 гг. в стационарном многофакторном полевом опыте М-01-18-ОП, который был заложен осенью 1980 г. в Подольском районе Московской обл.

История ведения опыта включает в себя два периода. В первый период (1980-1989) на двух смежных склонах южной экспозиции развернут трехфакторный опыт; во второй (с 1990 до 2009 г.) — с учетом дальнейшего совершенствования систем земледелия, комплексного изучения принципов разноглубинности, минимализации, почвозащитной целесообразности и экологической адаптивности приемов обработки почвы, построения на этой основе принципиально новых ландшафтных систем земледелия для эрозионно-опасных территорий полевой опыт был модернизирован:

Схема двухфакторного опыта 6х2

А. Обработка почвы	В. Склон
1. Вспашка на глубину 20–22 см, поперек склона (контроль)	1. 8° 2. 4°
2. Вспашка + щелевание на 40–50 см и нарезанием щелей через 7–8 м	
3. Плоскорезная на 18–20 см + щелевание через 1,4 м	
4. Плоскорезная + чизелевание на 38–40 см	
5. Поверхностная (дискование на 6–8 см) + щелевание через 3–4 м	
6. Поверхностная	

На опытном участке развернут пятипольный почвозащитный зерно-травяной севооборот во времени: 1 — овес; 2 — ячмень с подсевом многолетних трав; 3 — многолетние травы 1-го года пользования; 4 — многолетние травы 2-го года пользования; 5 — озимая пшеница.

Предпосевная обработка почвы под возделываемые культуры, за исключением многолетних трав, включает в себя дискование (БДТ-3) и обработку РВК-3,6 на глубину заделки семян. Основные обработки применяли дифференцированно. Нарезание щелей (ЩН-2-140) по вспашке и поверхностной обработке (зять) проводили в позднесенний период при устойчивом промерзании почвы на глубину 3–5 см; при возделывании озимой пшеницы — перед посевом культуры; многолетних трав — в осенний период до промерзания почвы. В вариантах, включающих в себя плоскорезную обработку в сочетании со щелеванием и чизелеванием, основную обработку проводили в обычные сроки комбинированным агрегатом ПЩН-2,5. Для усиления почвозащитной эффективности поверхностной обработки после первого у коса многолетних трав 2-го года пользования (один раз в ротацию севооборота) применяли чизе-

левание на глубину 38-40 см плугом ПЧ-4,5М.

С целью повышения почвозащитной эффективности изучаемых приемов и систем обработки почвы, ее плодородия, влагосбережения и более рационального использования пожнивных остатков во время уборки урожая озимой пшеницы и овса начиная с 1990 г. дополнительно применяли мульчирование поверхности почвы измельченной соломой и половой.

Почвенный покров участка представлен сочетанием дерново-слабо- и среднеподзолистых почв с преобладанием первых. Гранулометрический состав — от легко- до тяжелосуглинистого, с преобладанием легко- и среднесуглинистого. По степени смывтости — от намытых до сильносмывтых, однако преобладают в основном слабо- и среднесмывтые. Почвообразующая порода — покровный суглинок.

### Результаты и их обсуждение

Анализ температурного и водного режимов последних десятилетий дает все основания утверждать, что с начала 1990-х гг. происходят самые заметные изменения климата за весь более чем вековой срок непрерывных инструментальных наблюдений. Они характеризуются значительным повышением температуры холодных сезонов года, увеличением испаряемости при сохранении и даже снижении количества атмосферных осадков за теплый период, возрастанием повторяемости засух, при одновременном увеличении интенсивности экстремальных осадков и температуры [2, 3]. Завершающий первое десятилетие нового века 2010 г. войдет в историю метеорологических наблюдений как самый драматичный по своим социальным, экологическим и экономическим последствиям для современного общества и экономики страны.

Важным свидетельством смены глобальной экологической обстановки и усиления ее роли в нынешних условиях землепользования служит

характер и динамика эрозии почв склоновых земель южной экспозиции. Накопление и распределение зимних осадков, запасы воды в снеге, сроки и особенности снеготаяния, состояние почвы и физические процессы, протекающие как на ее поверхности, так и в глубине почвенного профиля, во многом обуславливают интенсивность и направленность экологических изменений таких территорий.

Процесс весеннего снеготаяния и разрушения устойчивого снежного покрова в Центральном Нечерноземье, как правило, начинается в конце марта — начале апреля. В зависимости от развития глобальных циркуляционных процессов даты начала и продолжительность снеготаяния могут колебаться в больших пределах.

Самое раннее разрушение снежного покрова на склонах в основном приходится на 1990-е гг. Так, в 1990 г. процессы активного снеготаяния отмечены 23 февраля, 1991 г. — 26 февраля, 1995 и 2008 гг. — 27 февраля, 1998 г. — 28 февраля, что раньше обычных сроков более чем на месяц. При этом в последние годы существенно возрастает размытость переходных периодов между холодным и теплым сезонами (рис. 1).

Поступление воды на водосбор, количественные и качественные характеристики стока определяются интенсивностью таяния и запасами воды в снеге. Они обусловлены термическим режимом как в период снеготаяния весной, так и в холодный сезон в целом. Отмечается достаточно устойчивая обратная связь ( $r = -0,61$ ) между температурой воздуха холодного сезона и количественной характеристикой водноэрозийного процесса (слой стока) в первые десять лет наблюдений и заметная их разбалансированность ( $r = -0,33$ ) в последние десять лет (рис. 2).

В связи с резким усилением прямого воздействия внешних факторов на процессы эрозии и общее функционирование агроландшафтов, особенно южной ориентации, а также сохраня-

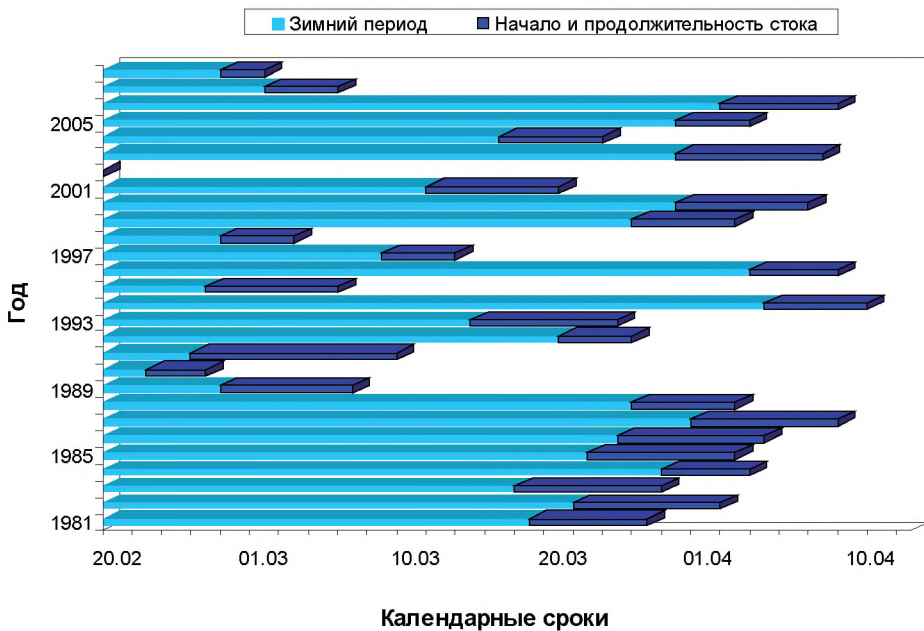


Рис. 1. Начало и продолжительность стока талых вод, 1981–2008 гг.

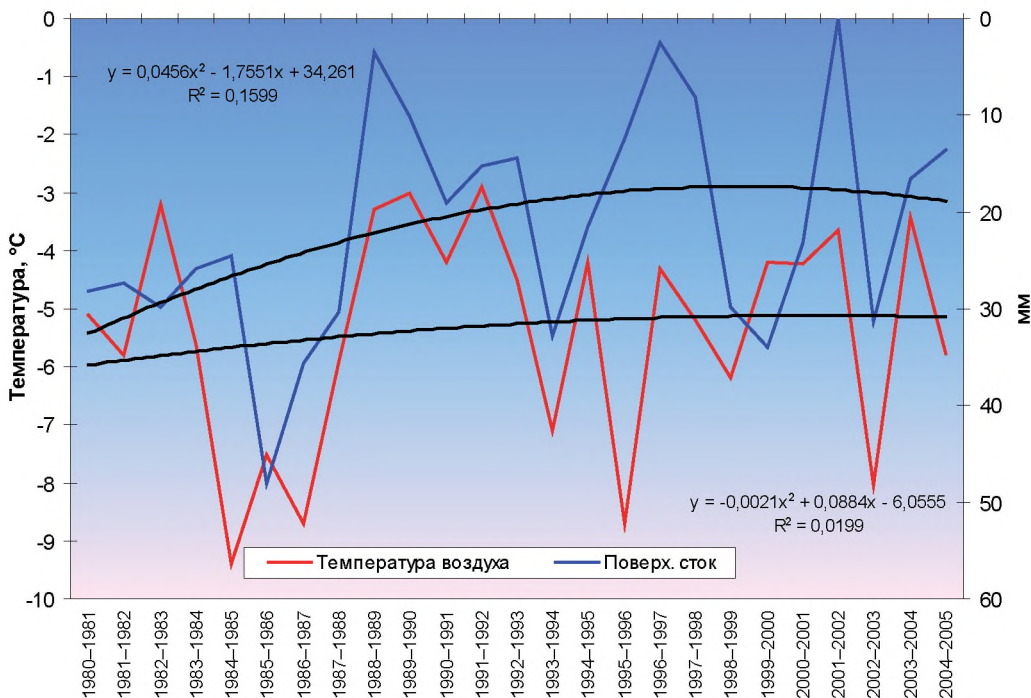


Рис. 2. Тренд температуры воздуха холодного сезона и поверхностного стока талых вод. Склон крутизной 8°

ющейся высокой опасностью ускоренной деградации эродированных почв, возникла необходимость в дополнительных агротехнических мероприятиях по повышению их экологической устойчивости. Важным этапом в этом направлении стало применение мульчирующей обработки поверхности почвы измельченной соломой во время уборки озимой пшеницы и овса.

Мульчирование не относится к числу принципиально новых агротехнических приемов. На протяжении своей истории, которая корнями уходит в 20–30-е годы прошлого века, оно имело разные отзывы: от позитивных, каких большинство [4, 6, 7], до весьма сдержанных [5] и даже негативных [1]. Противоречивость оценок роли мульчирующей обработки в функционировании агроландшафтов обусловлена большим разнообразием, сложностью и неоднозначностью идущих при этом в почвенной толще и на ее поверхности процессов. Работ, посвященных изучению роли мульчирования в условиях современного устойчивого потепления климата в зоне эродированных дерново-подзолистых почв, нам обнаружить не удалось.

Мульчирующая обработка растительными остатками в условиях опыта применялась общим фоном в качестве дополнительного агроприема. Сравнительный анализ результатов многолетних исследований различных способов использования соломы показал неоднозначную агроэкологическую эффективность мульчирования и его последствие на состояние эродированной почвы.

Почвозащитная эффективность мульчирования, как и его влияние на внутрипочвенные процессы, во многом зависит от способов размещения растительных остатков в пахотном слое. Перемешивание измельченной соломы с почвой (вертикальное мульчирование) при вспашке со щелеванием и обычной вспашке в слое 0–20 см, поверхностной со щелеванием и поверхностной обработке в слое 0–10 см

(вертикально-горизонтальное мульчирование) способствует, прежде всего, дополнительному, а зачастую избыточному насыщению верхних ее горизонтов влагой. Солома придает почве рыхлое мелкопористое строение с большим количеством и высокой аккумулярующей емкостью небольших пустот и промежутков, которые удерживают воду длительное время. Высокая влажность верхнего слоя отмечена и на плоскорезных обработках со щелеванием и чизелеванием (горизонтальное мульчирование). Несмотря на другой способ размещения соломы, характер и динамика процессов накопления и сохранения влаги в этих вариантах были почти такие же, как и при вертикальном мульчировании. Это особенно отчетливо проявляется в позднелетний период после проведения основных обработок и выпадения обильных атмосферных осадков, а также в зимний сезон во время интенсивных оттепелей.

Мульчирующая обработка оказывает существенное и разностороннее влияние на условия развития, интенсивность и характер процессов эрозии почв при снеготаянии. Растительные остатки при горизонтальном и/или неглубоком вертикальном размещении (в слое 0–10 см) способствуют дополнительному накоплению снежной массы, запасов воды в снеге, изменению его свойств и снижению глубины промерзания почвы. Вместе с тем избыточное увлажнение верхнего горизонта при мульчировании повышает степень ее промерзания, способствует образованию ледяной корки, что в итоге может снизить стокорегулирующую эффективность противоэрозионных приемов обработки и самой почвы в ранневесенний период (табл. 1).

Таяние снега на склонах, мульчированных соломой, на первом этапе формирования стока проходит одинаковыми темпами; на втором — отмечаются заметные различия по вариантам. При активном радиационном режиме стерня и солома способству-

Таблица 1

**Влияние почвозащитных обработок на развитие процессов эрозии почв  
в годы применения мульчирования**

Вариант	Глубина промерзания почвы перед стоком, см	Запасы воды в снеге перед стоком + осадки во время стока, мм	Сток, мм	Смыв почвы, т/га	
				при мульчировании	в среднем за период (1991–2005 гг.)
<i>Склон крутизной 8°</i>					
Вспашка (контроль)	27	75,8	9,3	0,24	0,40
Вспашка + щелевание	24	71,2	9,7	0,17	0,29
Плоскорезная + щелевание	23	76,4	10,9	0,15	0,34
Плоскорезная + чизелевание	22	72,9	12,3	0,18	0,35
Поверхностная + щелевание	23	73,7	11,6	0,15	0,33
Поверхностная	21	72,6	13,4	0,26	0,40
<i>Склон крутизной 4°</i>					
Вспашка (контроль)	22	73,2	1,3	0,01	0,15
Вспашка + щелевание	22	71,7	1,2	0,01	0,10
Плоскорезная + щелевание	20	76,4	1,6	0,01	0,15
Плоскорезная + чизелевание	18	75,1	1,6	0,01	0,14
Поверхностная + щелевание	19	71,2	1,5	0,01	0,11
Поверхностная	18	74,4	1,7	0,01	0,15
НСР <sub>05</sub> фактор	А		<u>0,52</u>	<u>0,09</u>	<u>0,12</u>
	В		2,22	0,13	0,21

ют большей концентрации солнечного тепла, что увеличивает скорость таяния снега и льда, обеспечивая значительный сход талой воды по неоттаявшей почве.

Большие потери весенней влаги на склоновых землях южных экспозиций в результате мульчирования — явление, безусловно, отрицательное, так как дополнительно накладывает негативную производительную и экологическую нагрузку на агроландшафты. Однако в условиях теплых неустойчивых зим, когда задержать талую воду на полях чрезвычайно сложно, а зачастую просто невозможно, нужно предпринимать меры для безопасного ее сброса. Размещение растительных остатков в необходимых количествах на поверхности почвы полностью отвечает этим требованиям. Кроме того, накопленный объем влаги в почве под мульчей за осенне-зимне-весенний сезон часто нивелирует эти потери.

Объективно оценить почвозащитную эффективность мульчирования

в современных природных условиях, особенно на фоне теплых зимних периодов, представляется задачей довольно сложной. При безотвальных обработках влияние этого агроприема на потери мелкозема неоднозначное и зависит от многих факторов. При неравномерном или недостаточном (менее 2,0 т/га) размещении растительных остатков на поверхности стерня провоцирует смыв, способствуя более быстрому таянию снега, ледяной корки, а соответственно и оттаиванию почвы. Она разжижается и переходит в состояние текучести, а большая кинетическая энергия стекающей концентрированным потоком талой воды по покрытой льдом поверхности легко смывает ее, увеличивая мутность стока и общие потери мелкозема.

При оптимальном размещении мульчи сход талой воды по мерзлому основанию проходит с относительно невысоким ущербом для плодородия почвы. Солома выполняет защитную



функцию, препятствуя быстрому оттаиванию и способствуя дополнительной цементации льдом поверхности почвы. Это особенно важно, когда ее структура разрушена в результате неблагоприятных условий холодного периода года. Помимо этого стерня и солома расплываются, не позволяя ему концентрироваться. Это заметно снижает агрессивность снеговой воды даже в том случае, если она стекает по уже оттаявшей поверхности. При этом время и площадь контакта талой воды и почвы могут быть продолжительными. Следовательно, чем меньше измельченная солома смешивается с почвой и чем больше покрывает ее поверхность, тем почва устойчивее к смыву талыми водами. В то же время даже полное запахивание соломы (вспашка, вспашка со щелеванием) обеспечивает достаточно надежный экологический режим защиты почв от эрозии.

Оценку стабилизирующей роли мульчирующей обработки позволяет дать и анализ противоэрозионной стойкости почв к эродирующему воздействию стока, выраженный через показатели мутности талой воды на

единицу ее объема. Из изучаемых противоэрозионных вариантов на склоне крутизной  $8^\circ$  минимальное содержание мелкозема  $0,013-0,015$  г/л в стекающей воде в объеме  $10,9-12,9$  мм отмечено при плоскорезной обработке со щелеванием и чизелеванием, а также поверхностной со щелеванием, что в среднем на 45% меньше, чем в контрольном варианте. Это свидетельствует о большей устойчивости поверхности почвы в этих вариантах к процессам смыва и разрушения стоком талых вод (рис. 3).

Развитие эрозионных процессов на склоне крутизной  $8^\circ$  при применении комплекса агротехнических мероприятий характеризуется относительно невысокими показателями причиняемого ущерба плодородию почвы. Почвозащитная и стокорегулирующая эффективность мульчирования проявляется в полной мере на склоне крутизной  $4^\circ$ , где величина сформированного поверхностного стока в среднем по вариантам составляет лишь  $1,5$  мм, при практически полном отсутствии смыва.

Согласно нашим результатам, слабой противоэрозионной устойчивостью обладает почва при верти-

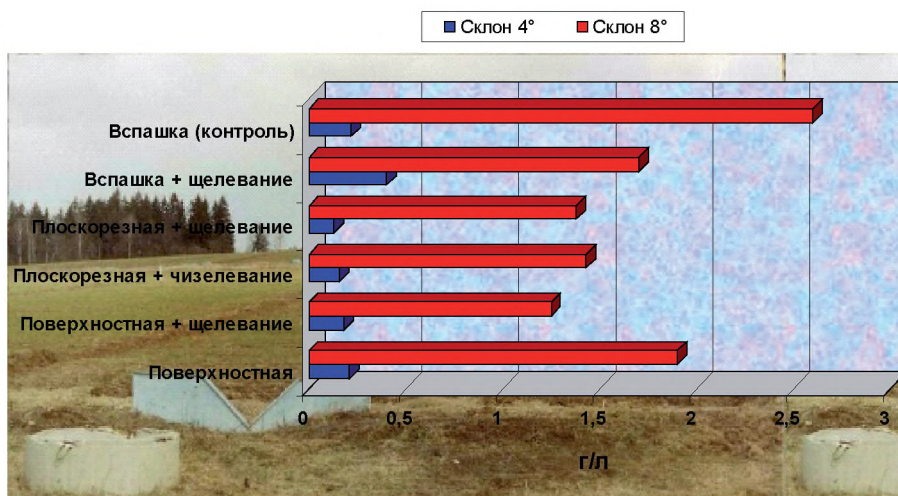


Рис. 3. Эродирующие свойства талого стока в зависимости от противоэрозионных обработок и крутизны склона, 1991-2005 гг.

кальном размещении соломы в слое 0—10 см в варианте с минимальной обработкой. Абсолютные потери мелкозема на склоне крутизной 8° составляют 0,26 т/га при величине стока 13,4 мм, т.е. существенно уступая аналогичным показателям контрольного варианта. Тем не менее, физическое сопротивление почвы эродирующему воздействию талой воды, оцениваемой по мутности стока на единицу его объема, на 25% превышает аналогичные показатели варианта вспашки. Усиление поверхностной обработки почвы щелеванием способствует дополнительному улучшению экологической обстановки на склонах, где мутность талой воды на единицу объема сокращается на 50%, а реальные потери смытого мелкозема — на 38%.

Показатель мутности стока имеет немаловажное практическое значение и его необходимо учитывать при планировании и оценке эффективности почвозащитных мероприятий на склоновых землях. Он характеризует потенциальную устойчивость почвы при различных приемах обработки противостоять разрушительному воздействию поверхностного стока. Это тем более важно при разработке экологически безопасных приемов управления процессами эрозии почв в сложившихся неблагоприятных

почвенно-климатических и погодных условиях последних лет, когда стокорегулирующая эффективность применяемых агротехнических приемов заметно снизилась.

Еще один способ управления экологическими процессами на склоновых землях при помощи растительных остатков, на наш взгляд, заслуживает внимания. Во время уборки ячменя с подсевом многолетних трав было решено оставить стерню высотой не менее 25-35 см, а в нижней части склонов — до 40 см (вместо обычных 15-20 см). Полосное естественное надламывание и прикатывание стерни по следам уборочной техники обеспечивает на участках поля разный по высоте ее фон. Это оказывает заметное влияние на накопление и распределение по склону снежной массы, ее структуру, а также на процессы промерзания почвы, особенно в начале зимы. Высота снега на участках с прямостоячей стерней была на 5-8 см выше, а плотность — на 0,03-0,08 г/см<sup>2</sup> меньше, чем на участках поля с прикатанной стерней. Снег благодаря более быстрому накоплению и рыхлой структуре препятствует интенсивному охлаждению почвы, снижая степень промерзания пахотного горизонта. Этот показатель, как известно, является решающим фактором стока талых вод.

Таблица 2

**Величина стока талых вод (мм) и смыва почвы (т/га) по стерневому фону**

Вариант	Глубина промерзания почвы перед стоком, см	Запасы воды в снеге перед стоком + осадки во время стока, мм	Продолжительность стока, сут.	Сток, мм	Коэффициент стока, $K_{ст}$	Смыв почвы, т/га
<i>Склон крутизной 8°</i>						
Вспашка (контроль)	20	58	5	9,6	0,17	0,01
Вспашка + щелевание	21	57	5	8,2	0,14	0,01
Поверхностная	16	56	3	6	0,11	0,01
<i>Склон крутизной 4°</i>						
Вспашка (контроль)	15	57	0	0	0	0
Вспашка + щелевание	15	58	0	0	0	0
Поверхностная	13	59	0	0	0	0



## Заключение

В конце зимы и ранней весной инфляционные потоки, аккумулярованные высокой прямостоячей стерней зерновых культур способствует существенному ускорению процессов стаивания снежной массы. Вытаивание и освобождение почвы от снега в зависимости от крутизны склона происходит на 7–13 дней раньше, чем на участках с прикатанной стерней. Разновременное стаивание снежного покрова и оттаивание почвы снижают опасность непродуктивных потерь влаги и проявление эрозионных процессов (см. табл. 2).

Подводя итог, можно с уверенностью констатировать, что мульчирование почвы, особенно на фоне минимализации обработки, является важным агротехническим и биологическим приемом, мощным средством комплексного воздействия на почвенные процессы и функционирование эрозионно-опасных агроландшафтов. В современных неблагоприятных почвенно-климатических и погодных условиях применение соломы и других пожнивных остатков обеспечивает достаточно надежный режим защиты склоновых земель от эрозии. Это имеет важное агроэкологическое значение в повышении их устойчивости к текущим и ожидаемым изменениям климата.

## Библиографический список

1. Аллен Х.П. Прямой посев и минимальная обработка почвы. М.: Агропромиздат, 1985.
2. Белолобцев А.И. Агроэкологические аспекты современного климата // Труды ГУ ВНИИСХМ, 2010. Вып. 37.
3. Белолобцев А.И. Агроклиматическая оценка продуктивности фитоценозов на склоновых землях // Известия ТСХА, 2010. № 4. С. 31–40.
4. Гавриш В.Г. Массовые опыты по мульчированию посевов. М.-Л.: Сельхозгиз, 1931.
5. Каушанов А.Н., Лисецкий Ф.Н., Швец Г.И. Основы ландшафтно-экологического земледелия. М.: Колос, 1994.
6. Ломакин М.М. Мульчирующая обработка почвы на склонах. М.: Агропромиздат, 1988.
7. Мосолов В.П. Агротехника. М.: Госиздат с.-х. лит., 1952.
8. Alexandrov V.A., Hoogenboom G. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. Agric. For. Meteorol, 2000. 104. 315–327.
9. Tsuji G.Y., Uehara G., Balas S. IBSNAT Project. Department of Agronomy and Soil Science, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, 1994. USA.

Рецензенты: д. с.-х. н. Г.И. Баздырев, д. б. н. М.А. Мазиров

## SUMMARY

Results of long-term research into processes of soil erosion on sloping lands of southern exposure in central black soil area are provided in the article. It has been discovered that mulching soil with plant residues, especially against the background of minimization, is both cultural and biological practice, a power tool for complex effect on both soil processes and functioning of erosion hazardous landscapes. Mulching treatment, under present-day unfavourable both preservation and restoration of eroded soils' fertility, ensuring a reliable barrier against erosion. In full, erosion occurs on slope steepness of 4 degrees, where magnitude of melt water surface runoff is only 1.5 mm., in the absence of significant losses of eroded soils. This is of great agro-ecological importance in adaptation of erosive hazardous agricultural areas to present-day and expected climatic changes.

**Key words:** climatic, change, southern exposure slopes, soil erosion, mulching treatment, minimization.

**Белолобцев Александр Иванович** — д. с.-х. н. Тел. (499) 977-73-55. Эл. почта: belolyubcev@mail.ru