

## МУЛЬЧИРОВАНИЕ КАК ВАЖНЫЙ ЭЛЕМЕНТ СТРАТЕГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ЕСТЕСТВЕННОГО УВЛАЖНЕНИЯ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ СТЕПНОГО КРЫМА

© 2019 г. Е. М. Гусев<sup>1</sup>, \*, Л. Я. Джоган<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем РАН, Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, 3

\*e-mail: sowaso@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.04.2018 г.

После доработки 14.06.2018 г.

Принята к публикации 26.09.2018 г.

На основе использования разработанной ранее модели тепловлагообмена в системе почва–мульчирующий покров–растительный покров–прилегающий слой атмосферы MULCH показано, что технология нулевой (минимальной) обработки почвы в сочетании с мульчированием поверхности почвы растительными остатками является наиболее перспективным путем повышения влагообеспеченности и урожайности посевов пшеницы в степных районах Крымского полуострова. Установлено, что при использовании слоя растительной мульчи на богарных полях под посевами пшеницы оптимальная толщина слоя мульчи равна 4–5 см. Показано, что при использовании минимальной обработки почвы в сочетании с мульчированием ее поверхности растительными остатками слоем в 5 см влагообеспеченность посевов пшеницы (определяемая отношением реальной транспирации посевов к потенциальной) на богарных полях степных районов Крыма возрастает в среднем на 13%. При этом урожайность пшеницы увеличивается по сравнению с использованием традиционной технологии обработки почвы (с учетом повышения содержания гумуса в почве при долговременном (порядка 8–10 лет) мульчировании ее поверхности) в среднем на 12% (5.3 ц/га). Полученные результаты могут быть использованы при разработке путей использования ресурсов естественного увлажнения в агроэкосистемах степного Крыма.

*Ключевые слова:* влагообеспеченность пшеницы, урожайность, физико-математическое моделирование, минимальная обработка почвы

DOI: 10.1134/S0032180X19010052

### ВВЕДЕНИЕ

Равнинная степная часть Крыма является важным районом по выращиванию различных сельскохозяйственных культур, в первую очередь, зерновых. В настоящее время из общей площади сельскохозяйственных земель посевные площади под зерновыми культурами занимают в этом регионе более 70%, а площади под озимой пшеницей – более 55%. Высокому уровню сельскохозяйственного производства во многом благоприятствуют плодородные почвы (в основном, черноземные и каштановые), обилие тепла и продолжительный вегетационный период. Однако вся территория степной части Крыма подвержена сильным засухам. По условиям увлажнения Крым относится к зоне рискованного земледелия, коэффициент увлажнения Высоцкого–Иванова равен 0.4–0.5, 3–4 года из 10 бывают засушливыми [1]. Большая часть посевных площадей республики находится на богаре, где без обеспечения растений достаточным количеством влаги

невозможно получать гарантированные урожаи сельскохозяйственных культур. Поэтому задача получения высоких и стабильных урожаев зерновых до 2014 г. решалась в основном за счет орошения с использованием воды из Северо-Крымского канала. В настоящее время такого источника нет. С 2014 г. Украина перекрыла поступление днепровской воды в Северо-Крымский канал, после чего приток воды на территорию Крымского полуострова почти полностью прекратился.

Для решения проблемы водообеспеченности посевов зерновых в новых условиях рассматривались различные проекты. Анализировались возможности создания источника воды на базе построения водовода Кубань–Крым, опреснения морской воды, питания водохранилищ Крыма из подземных источников и т. д. Реализация указанных проектов требует огромных капитальных затрат (например, создание водовода Кубань–Крым по последним оценкам может стоить 200 млрд рублей [4]) и порождает много новых экологических проблем.

В настоящее время основным направлением решения проблемы водообеспеченности зерновых в Крыму является путь более рационального использования собственных водных ресурсов. Во-первых, в межсезонье воды на полуострове очень много — реки, которые летом пересыхают, зачастую срывают мосты и размывают плотины. Зимой и осенью вода здесь идет потоками, и достаточно грамотно собрать ее в миниводохранилища. Во-вторых, возможно переключение на выращивание культур, которые более устойчивы к воздействию засухи. И наконец, в-третьих, важной стратегией развития рациональных агротехнологий является ориентация на нетрадиционные (адаптивные, почвозащитные, природоохранные) системы земледелия. Ориентация человеческой цивилизации на подобные технологии становится все более актуальной [19, 21]. В сельском хозяйстве в противовес традиционным, так называемым “серым” (“gray” [19]) технологиям управления потребностями в воде, жестко ориентированным только на сиюминутную экономическую целесообразность, нетрадиционные природоохранные (“green” [19]) агротехнологии характеризуются более экономичными способами обработки почвы: частичным или полным отказом от отвальной вспашки, отсутствием вертикального перемешивания пахотного слоя, минимальным нарушением почвенного покрова сельскохозяйственными машинами и обязательным мульчированием почвы (no-till или mulch tillage) с целью сохранения почвенной влаги и уменьшения эрозии почвы. Система нулевой обработки почвы (no-till — “не пахать” — отсутствие вмешательства в естественные процессы почвообразования) — современная система земледелия, при которой почва не обрабатывается, а ее поверхность укрывается специально измельченными остатками растений — мульчей [6]. Следует отметить, что в Крыму технология прямого посева no-till и мульчирования внедряется с 2006 г. и применяется в девяти районах на разных площадях. При этом используют мелкое, поверхностное рыхление или даже полный отказ от обработки. Тем не менее, для агроклиматических условий Крыма эта технология еще недостаточно изучена и слабо научно обоснована. Поэтому задачей настоящей работы явилось проведение теоретической оценки повышения влагообеспеченности посевов пшеницы и их урожайности на территории степного Крыма в результате использования почвозащитных агротехнологий, основным элементом которых является мульчирование поверхности почвы растительными остатками.

**Объектом исследования** явились посевы озимой пшеницы в степной части Крымского полуострова. Влияние эффективности рассматриваемой в работе агротехнологии оценивалось для посевов озимой пшеницы с использованием



**Рис. 1.** Расположение агрометеорологических станций Крыма (серые кружки), данные наблюдений которых использованы в работе.

данных наблюдений четырех агрометеорологических станций (Ишунь, Черноморское, Клепилино, Нижнегорск) (рис. 1). Физико-географические условия в районах этих станций близки, но все же имеют некоторые отличия. Степной континентальный климат наблюдается на станциях Ишунь, Нижнегорск, Клепилино, в районе же станций Черноморское — климат степной приморской, для которого характерна более высокая относительная влажность воздуха, меньшая облачность в сравнении с территориями степных континентальных станций. Почвы в районах выбранных станций — разные подтипы южных черноземов (Chernozems) и темно-каштановые (Kastanozems). Используемая в работе методика количественной оценки эффективности мульчирования почвы растительными остатками и других агротехнологий представлена в литературе [6, 11, 12, 14, 18]. Следует отметить, что методы расчета водного режима посевов с использованием мульчирования рассматриваются и в ряде зарубежных работ [17, 20]. Однако эти работы, как правило, основаны на концептуальных или эмпирических подходах, не позволяющих систематизировать полученные результаты и обобщать их для разных природных условий. В отличие от указанных работ, используемая в настоящей работе методика основана на физико-математическом моделировании процессов тепловлагообмена в системе почва—мульчирующий покров—растительный покров—прилегающий слой атмосферы.

Основным методическим инструментом исследования является разработанная авторами модель тепловлагообмена в агроэкосистемах MULCH [11, 18]. Подробное описание модели MULCH, воспроизводящей процессы формирования водного режима на сельскохозяйственных полях, покрытых слоем соломенной мульчи, представлено в работе [6]. Модель позволяет рассчитывать динамику

ку составляющих водного баланса в корнеобитаемом слое почвы (его глубина принята равной 1 м), а также урожайность посевов с суточных временным шагом для периода от таяния снежного покрова до момента возникновения отрицательных температур воздуха. При этом для степных регионов условие водообмена на нижней границе корнеобитаемой зоны выглядит следующим образом: 1 – восходящей к ней поток снизу равен нулю (поскольку в степных районах грунтовые воды залегают достаточно глубоко и подток грунтовых вод к корнеобитаемой зоне отсутствует); 2 – при превышении в расчетах влагозапасов почвы значений, соответствующих наименьшей влагоемкости (**НВ**), происходит сброс излишка влаги в нижележащий горизонт, который далее не рассматривается (считается, что влага медленно перераспределяется в нижележащем слое, не возвращаясь в корнеобитаемую зону). Это небольшая неточность, но такие случаи на выбранных станциях крайне редки не только летом, но даже в период весеннего снеготаяния (из-за теплого климата достаточно малы накапливающиеся к весне снегозапасы).

Модель MULCH предназначена для оценки эффективности мульчирования с точки зрения увеличения водообеспеченности и урожайности сельскохозяйственных культур в степной и лесостепной зонах планеты. Мульчирующий покров уменьшает непродуктивный расход влаги (испарение с поверхности почвы), особенно в предвегетационный и послеуборочный периоды. При этом не нарушается естественная структура гидрологического цикла, так как ресурсы других составляющих вод суши не переводятся в ресурсы почвенных вод, как это, например, происходит при орошении. Увеличивается и значение коэффициента полезного использования ресурсов почвенных вод (показывающего, какая доля суммарного испарения расходуется на продуктивное испарение – транспирацию):

$$\eta_e = E_T / E, \quad (1)$$

где  $E_T$  и  $E$  – соответственно транспирация агроэкосистемы и ее суммарное испарение за безморозный период [3, 11, 12, 14]. Повышение  $\eta_e$  при мульчировании обусловлено увеличением доли транспирации за счет снижения испарения воды почвой. В результате возрастает и влагообеспеченность посевов  $\eta_w$ , то есть отношение фактической транспирации растительного покрова за вегетационный период (продуктивного испарения)  $E_T$  к величине его потенциальной транспирации  $E_{PT}$  [2, 3, 11, 12, 14]:

$$\eta_w = E_T / E_{PT}. \quad (2)$$

Оценка критериев  $\eta_e$  и  $\eta_w$  для ситуаций покрытия поверхности почвы слоем соломенной муль-

чи различной толщины и при отсутствии мульчи также осуществлялась с использованием модели MULCH, алгоритм которой воспроизводит динамику водного режима в агроэкосистеме почва–растение–атмосфера, позволяет оценить все компоненты ее водного баланса, включая транспирацию, испарение воды почвой и мульчирующим слоем, а также урожайность посевов зерновых в степных и лесостепных зонах [6, 7, 12, 14]. Отметим, что показатель  $1 - \eta_w$  может быть рассмотрен как характеристика уровня метеорологической (а также почвенной) засухи.

Важным этапом работы является подготовка информационного обеспечения модели. Оно включает информацию о: 1 – входных гидрометеорологических характеристиках: количестве осадков, скорости ветра, температуре и влажности воздуха, радиационном балансе и начальных (весенних) запасах почвенной влаги; 2 – гидрофизических параметрах почвы; 3 – параметрах мульчи и 4 – типе растительности [6, 12]. В настоящей работе для задания необходимых для проведения расчетов (с суточным шагом) метеорологических характеристик использовались данные указанных выше четырех агрометеорологических станций за период 1970–1989 гг.

Гидрофизические параметры почв были получены на основе имеющейся на выбранных станциях информации о некоторых свойствах почвы. Для осуществления моделирования на основе MULCH необходимо иметь традиционные гидрофизические характеристики: зависимость капиллярно-сорбционного потенциала почвы от ее влажности (ОГХ) и связь коэффициента влагопроводности почвы с влажностью или ОГХ. Эти зависимости на агрометеорологических станциях не определяются. Но на них имеются данные по почвенным константам: полной влагоемкости, полевой влагоемкости (**ПВ**), влажности завядания (**ВЗ**), максимальной гигроскопичности (**МГ**). Наряду с тем, что эти характеристики и сами использовались в расчетах, на их основе с помощью педотрансферных функций [6] были получены параметры, описывающие указанные выше ОГХ и связь коэффициента влагопроводности с влажностью почвы. При этом данные характеристики аппроксимировались на основе параметризации Клэппа и Хорнбергера [6].

Для описания переноса воды в почве во время ее физического испарения с поверхности почвы использовалась разработанная авторами модель формирования просыхающего слоя [5]. При расчетах влагопереноса на основе данной модели использовалась информация о пористости почвы и МГ, а также данные о коэффициенте диффузии пара в поровом пространстве почвы, которые приведены в [5].

Динамика относительной площади листьев пшеницы  $LAI$ , а также урожайность посевов, рассчитывались с помощью модельного блока формирования  $LAI$  в модели MULCH, описанного в [6, 7, 9].

При расчетах переноса водяного пара через слой мульчи, а также испарения с увлажненной мульчи используются такие физические характеристики, как водоудерживающая способность мульчи и коэффициент турбулентной диффузии (учитывающий влияние скорости ветра) водяного пара в ней [8, 10]. Указанные характеристики для соломенной мульчи были определены авторами настоящей статьи на основе полевых экспериментов [8, 10].

Проверка модели MULCH была выполнена ранее с использованием различных экспериментальных данных [5, 6, 12]. Была исследована способность модели воспроизводить: 1 – испарение оголенной почвы без мульчирующего слоя; 2 – испарение с почвы, покрытой растительной мульчей, при достаточном увлажнении почвы; 3 – динамику влагозапасов почвы для сельскохозяйственных экосистем без мульчи на полях ряда агрометеорологических станций, расположенных в ползасушливых и засушливых районах степной и лесостепной зон европейской части РФ.

При проведении расчетов в настоящей работе учитывалось, что применение долговременной мульчи (сохраняющейся на поверхности почвы несколько лет) сказывается и на увеличении весенних влагозапасов почвы. Для этого к величине измеренных начальных влагозапасов почвы (измеренных в отсутствии мульчи) прибавлялась разница между предзимним значением влажности, полученной при расчетах для разных толщин мульчи первого года мульчирования, и ее значением, вычисленном при отсутствии мульчирующего покрытия (при этом учитывалось, что полученные весенние влагозапасы не должны превышать значений, соответствующим НВ).

При расчете урожайности использовалась ее функциональная связь с фотосинтетическим потенциалом и числом дней с недостаточным увлажнением посевов между цветением и уборкой урожая [7]. При этом коэффициент пропорциональности между указанным функционалом и урожайностью уточнялся на основе реальных данных об урожайности озимой пшеницы на выбранных станциях.

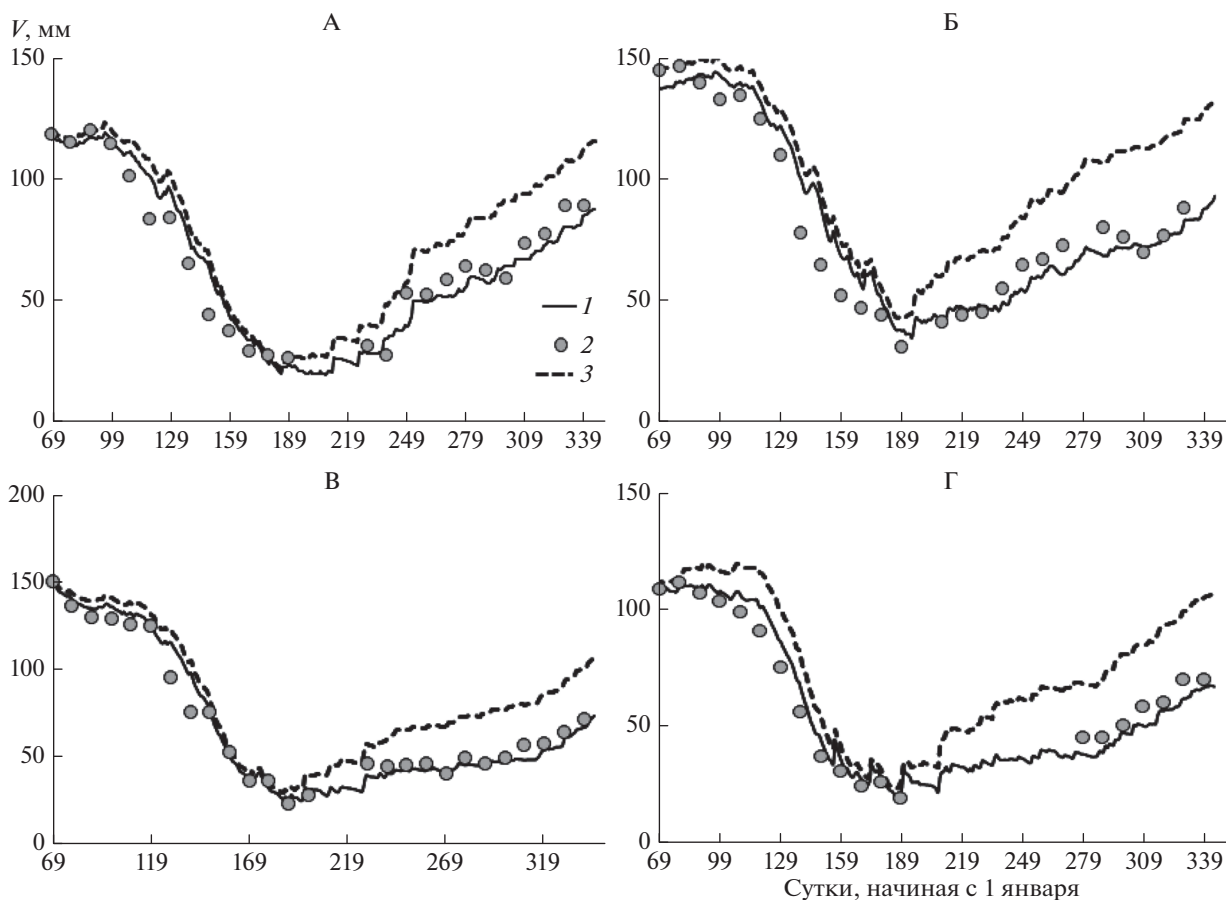
Кроме того, было учтено, что солома – это ценное органическое удобрение. Ежегодное разбрасывание измельченной соломы обеспечивает повышение содержания гумуса примерно на 0.2% [13, 15]. При этом, согласно [16], прирост урожайности пшеницы на 1% гумуса равен ~6.2 ц/га. Таким образом, полагая, что и в крымских степях,

долговременное (порядка 8–10 лет) мульчирование увеличивает содержание гумуса на 0.2%, получаем, что урожайность пшеницы только за счет этого фактора увеличивается в районе выбранных станций примерно на 1.2 ц/га.

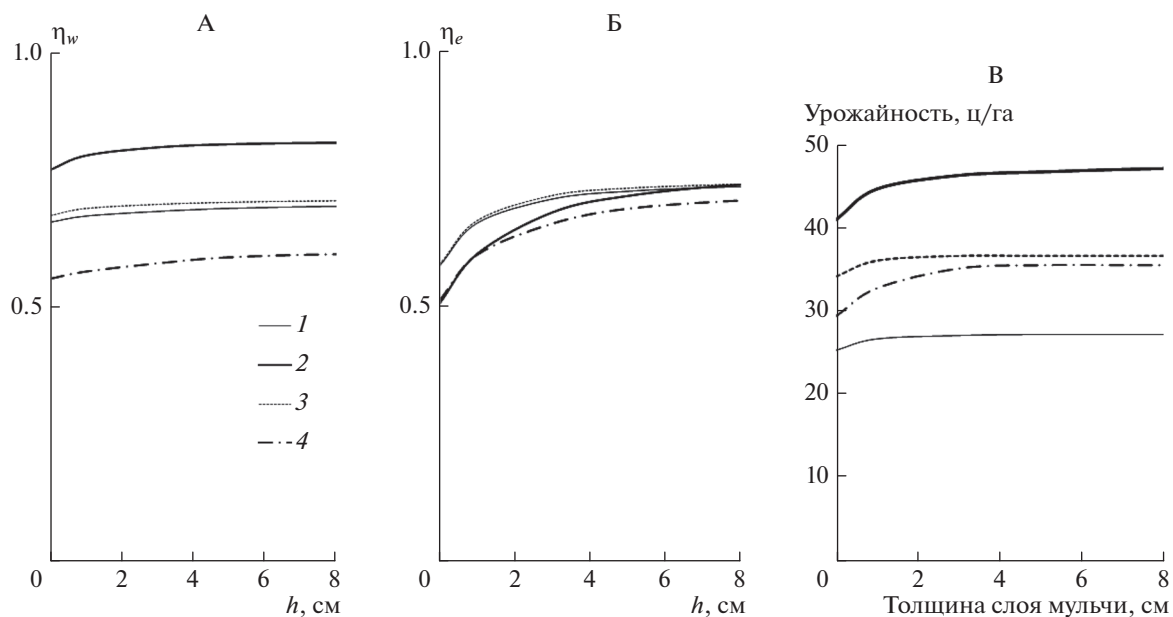
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Расчеты водного режима посевов озимой пшеницы на выбранных агрометеорологических станциях проведены для полей с многолетним слоем мульчирующего покрытия толщиной  $h$  от 0 (традиционная технология отвальной обработки почвы с отсутствием мульчи на ее поверхности) до 12 см. Проведенные расчеты показали, что при толщине слоя мульчи более 4–5 см водный режим агроценоза почти перестает зависеть от  $h$ . Поэтому дальнейший анализ влияния мульчи на водный режим посевов пшеницы будет проведен далее в основном для  $h \approx 5$  см, поскольку дальнейшее увеличение слоя мульчи требует увеличения массы растительных остатков, не приводя при этом к заметному росту влагообеспеченности посевов. На рис. 2 показана динамика рассчитанных среднемноголетних значений продуктивных влагозапасов метрового слоя почвы под посевами пшеницы  $V$  (равных разности между влагозапасами в корнеобитаемом слое почвы и ее влагозапасами, соответствующими влажности завядания) для случая отсутствия мульчирующего покрытия и при его наличии с  $h = 5$  см. При этом для варианта с отсутствием мульчи на рис. 2 приведены данные наблюдений за влагозапасами почвы на соответствующих агрометеорологических станциях, сравнение которых с результатами расчетов очередной раз иллюстрируют работоспособность модели MULCH по воспроизведению водного режима почвы. В этом случае среднеквадратические отклонения рассчитанных и измеренных влагозапасов метрового слоя почвы для конкретных лет для разных станций лежат в диапазоне 25–30 мм. Эта же характеристика для среднемноголетних влагозапасов меньше 7–9 мм.

Мульчирующее покрытие в определенной степени сохраняет влагозапасы почвы, поскольку уменьшает непродуктивное испарение с поверхности почвы, что дает возможность увеличить “продуктивное” испарение – транспирацию, повышая при этом коэффициент использования агроценозом ресурсов почвенных вод. На рис. 3, А, Б приведены зависимости от толщины мульчирующего покрытия  $h$  показателя влагообеспеченности посевов пшеницы  $\eta_w$  и коэффициента полезного использования ресурсов почвенных вод  $\eta_e$ . Представленные результаты показывают, что при использовании мульчи толщиной 5 см увеличение влагообеспеченности посевов  $\eta_w$  по сравнению со случаем отсутствия мульчи лежит в диапа-



**Рис. 2.** Динамика среднееголетних (за 1970–1989 гг.) значений продуктивных влагозапасов верхнего метрового слоя почвы под посевами озимой пшеницы  $V$  при отсутствии мульчи (1 – расчет, 2 – измерение) и при наличии мульчирующего покрытия толщиной 5 см (3) на богарных полях агрометеорологических станций Ишунь (А), Клепилино (Б), Нижегородск (В), Черноморское (Г).



**Рис. 3.** Зависимости рассчитанных среднееголетних (за 1970–1989 гг.) значений показателя влагообеспеченности посевов пшеницы  $\eta_w$  (А), коэффициента полезного использования ресурсов почвенных вод  $\eta_e$  (Б) и изменения урожайности пшеницы (связанного только с изменением ее влагообеспеченности) (В) от толщины слоя соломенной мульчи на полях агрометеорологических станций Ишунь (1), Клепилино (2), Нижегородск (3), Черноморское (4).

зоне 8–22% для разных агрометеорологических станций. Коэффициент полезного использования ресурсов почвенных вод  $\eta_e$  при этом возрастает на 39–65%. Все это сказывается и на урожайности посевов пшеницы, увеличение которой только за счет повышения влагообеспеченности ее посевов варьирует в диапазоне 7–21% для разных станций (рис. 3, В), составляя в среднем около 4.1 ц/га. Влияние мульчи при долговременном ее использовании на гумификацию почвы увеличивает урожайность пшеницы, как было отмечено выше, еще на 1.2 ц/га. Таким образом, при многолетнем мульчировании полей с посевами пшеницы на богарных полях можно ожидать среднее повышение ее урожайности в степных районах Крыма в целом ~ на 5.3 ц/га (на 12%) по сравнению с использованием технологии традиционной отвальной вспашки.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при отсутствии дешевого источника воды, необходимого для ирригации, технология мульчирования почвы растительными остатками в сочетании с безотвальной обработкой почвы (культивацией) является альтернативной агротехнологией при производстве зерновых в степной части Крыма. Поскольку, как показано в [9, 11, 18], применение технологий типа no-till или mulch tillage оказывается не дороже использования традиционной технологии отвальной вспашки, система нулевой (минимальной) обработки почвы в сочетании с мульчированием поверхности почвы растительными остатками является наиболее перспективным путем повышения влагообеспеченности и урожайности посевов пшеницы в степных районах полуострова.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях существующей в настоящее время проблемы применения ирригации на полях с посевами пшеницы в степных районах Крыма, необходимо более рациональное использование естественных водных ресурсов полуострова. Наиболее перспективным направлением является ориентация на так называемые нетрадиционные (адаптивные, почвозащитные, природоохранные, “green solutions”) системы земледелия. Ими являются экологически более обоснованные природоподобные агротехнологии, связанные с минимальной обработкой почвы (без несвойственного биосфере оборота пласта) в сочетании с мульчированием ее поверхности растительными остатками (заменяющих присутствующий в естественных степных экосистемах растительный войлок, уменьшающий непродуктивное испарение с почвы и ее эрозию). Эти технологии оказываются не дороже использования агрессивной по отношению к биосфере традиционной агротехнологии, основанной на глубокой вспашке (связанной, как

правило, с оборотом пласта) и применении орошения (приводящего к нарушению естественных структур гидрологического цикла), а в какой-то мере даже дешевле.

Установлено, что при использовании слоя растительной мульчи на богарных полях под посевами пшеницы оптимальная толщина (которая, с одной стороны, обеспечивает заметное влияние на водный режим агроценоза, с другой – минимизирует объем используемой мульчи) слоя мульчи равна 4–5 см. При использовании минимальной обработки почвы в сочетании с мульчированием ее поверхности растительными остатками слоем в 5 см влагообеспеченность посевов пшеницы на богарных полях степных районов Крыма возрастает в среднем на 13%. При этом урожайность пшеницы возрастает по сравнению с использованием традиционной технологии обработки почвы (с учетом повышения содержания гумуса в почве при долговременном мульчировании ее поверхности) в среднем на 12% (на 5.3 ц/га).

Таким образом, при современной ситуации обеспечения Крыма водными ресурсами система нулевой (минимальной) обработки почвы в сочетании с мульчированием поверхности почвы растительными остатками является наиболее перспективным путем повышения влагообеспеченности и урожайности посевов пшеницы в степных районах полуострова.

**Благодарность.** Работа выполнена в рамках темы № 0147-2018-0001 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090056-0) Государственного задания ИВП РАН (разделы “Объект исследования” и “Результаты и обсуждение”) и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-17-10039) (раздел “Методика количественной оценки эффективности мульчирования почвы растительными остатками”).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Багрова Л.А., Боков В.А., Багров Н.В.* География Крыма. Киев: Лыбиль, 2001. 302 с.
2. *Будаговский А.И.* Основы методики расчета оросительных норм и режимов орошения // *Водные ресурсы.* 1989. № 1. С. 38–48.
3. *Будаговский А.И.* Ресурсы почвенных вод и водообеспеченность растительного покрова // *Водные ресурсы.* 1985. № 4. С. 3–13.
4. Водовод Кубань-Крым: насколько это реально? [Электронный ресурс]. 2016. URL: [https://primechaniya.ru/home/news/12080/v\\_krym\\_s\\_materikovoju\\_rossii\\_protyanut\\_vodovod/](https://primechaniya.ru/home/news/12080/v_krym_s_materikovoju_rossii_protyanut_vodovod/) / (Дата обращения 12.01.2018).
5. *Гусев Е.М.* Испарение воды просыхающей почвой // *Почвоведение.* 1998. № 8. С. 921–927.
6. *Гусев Е.М.* Ресурсы почвенных вод и экология наземного растительного покрова. Концепции, экс-

- перимент, расчеты. *Palmarium Academic Publishing: Saarbrücken*. 2012. 116 с.
7. Гусев Е.М., Бусарова О.Е. Моделирование динамики относительной площади листьев злаковых культур // *Метеорология и гидрология*. 1998. № 1. С. 100–107.
  8. Гусев Е.М., Бусарова О.Е. Определение коэффициента эффективной диффузии водяного пара в соломенной мульче // *Почвоведение*. 1996. № 6. С. 789–792.
  9. Гусев Е.М., Бусарова О.Е. Энергетическая оценка эффективности агротехнологий // *Почвоведение*. 2001. № 7. С. 832–844.
  10. Гусев Е.М., Бусарова О.Е., Шурхно А.А., Ясинский С.В. Влияние соломенной мульчи на термический режим почвы после схода снежного покрова // *Почвоведение*. 1992. № 5. С. 49–59.
  11. Гусев Е.М., Джоган Л.Я. Влияние различных агротехнологий на формирование водного режима, урожайность, эколого-энергетическую и экономическую эффективность посевов пшеницы в степной и лесостепной зонах Русской равнины // *Природообустройство*. 2018. (в печати).
  12. Гусев Е.М., Джоган Л.Я. Методика оценки влияния мульчирования почвы растительными остатками на формирование водного режима агроэкосистем // *Почвоведение*. 2000. № 11. С. 1403–1414.
  13. Двуреченский В.И. Ресурсосберегающие технологии в засушливой степи Казахстана. [Электронный ресурс]. 2009. URL: [http://zarechnoe.ucoz.kz/HTML\\_documents/nashi\\_ststy/Resyrsovlagotehnologii.htm](http://zarechnoe.ucoz.kz/HTML_documents/nashi_ststy/Resyrsovlagotehnologii.htm). (Дата обращения 22.03.2018).
  14. Джоган Л.Я., Гусев Е.М. Оценка влияния мульчирования на водообеспеченность и урожайность яровой пшеницы в центральных и южных регионах Русской равнины // *Почвоведение*. 2003. № 11. С. 1371–1382.
  15. Кудашева Л.М. Пути повышения плодородия почв. Приемы совершенствования аграрного производства Костанайской области. Костанай, 2001. Т. 5. С. 25–39.
  16. Ступина Л.А. Урожайность яровой пшеницы в зависимости от элементов плодородия серых лесных почв. // *Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та*. 2013. № 8(106). С. 10–13.
  17. Balwinder-Singha, Humphreysb E., Gaydon D.S., Eberbach P.L. Evaluation of the effects of mulch on optimum sowing date and irrigation management of zero till wheat in central Punjab, India using APSIM // *Field Crops Res.* 2016. V. 197. P. 83–96. doi 10.1016/j.fcr.2016.08.016
  18. Gusev Y.M., Dzhogan L.Y., Nasonova O.N. Modelling the impact of mulching the soil with plant remains on water regime formation, crop yield and energy costs in agricultural ecosystems // *Proc. IAHS*. 2018. V. 376. P. 77–82. doi 10.5194/piahs-376-77-2018/10.5194/piahs-376-77-2018
  19. Palmer M.A., Liu J., Matthews J.H., Mumba M., D'Odorico P. Water security: Gray or green? // *Science*. 2015. V. 349. № 6248. P. 584–585. doi 10.1126/science.aac7778
  20. Scopel E., Da Silva F., Corbeels M., Affholder F., Maraux F. Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions // *Agronomie*. 2004. V. 24. P. 383–395. doi 10.1051/agro:2004029
  21. WWAP (United Nations World Water Assessment Programme) / UN-Water. 2018. The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water. Paris: UNESCO, 2018. 139 p.

## Soil Mulching as an Important Element in the Strategy of Using Natural Water Resources in Agro-Ecosystems of the Steppe Crimea

Ye. M. Gusev<sup>a</sup>, \* and L. Ya. Dzhogan<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Water Problems, Russian Academy of Sciences, Gubkina St. 3, 119333 Moscow, Russia*

\*e-mail: [sowaso@yandex.ru](mailto:sowaso@yandex.ru)

Using the earlier developed MULCH model of heat-and-water exchange in the “soil–mulch cover–vegetation cover–land-surface atmosphere layer” system, we showed that the zero (minimum) tillage technology in combination with mulching the soil surface with plant residues is the most promising method for increasing the water availability and yield of wheat in steppe regions of the Crimea. It was found that the optimal thickness of the mulching layer on rainfed fields under wheat is ~4–5 cm. It was shown that minimum tillage in combination with mulching the soil surface with a 5-cm-thick layer of plant residues increases the water availability of wheat plants (which is determined by the ratio between the actual and potential transpiration of plants) on rainfed fields in the steppe regions of Crimea by 13% on the average. The yield of wheat increases compared to the conventional tillage practice (with consideration for the increase of humus content in the soil under long-term (about 8–10 years) mulching of soil surface) by 12% (~5.3 dt/ha) on the average. The obtained results can be used in the development of methods for using natural water resources in agroecosystems of the steppe Crimea.

*Keywords:* wheat water availability, yield, physically-based modelling, minimal tillage, soil mulching