

Л.Я.Джоган, Е.М.Гусев
L.Ya.Dzhogan, Ye.M.Gusev
Институт водных проблем РАН
Institute of water problem Russian academy of sciences

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ
ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОСЕВОВ**

MODELLING DIFFERENT AGRICULTURAL TECHNOLOGIES FOR IMPROVEMENT OF WATER SUPPLY OF
VEGETATION

Аннотация. Разработана модель формирования водного режима сельскохозяйственного поля, покрытого слоем соломенной мульчи. Модель предназначена для количественной оценки эффективности мульчирования с точки зрения повышения эффективности посевов и их урожайности в широком диапазоне почвенных и климатических условий. Проверка расчетов по предложенной модели выполнена для ряда станций степной, лесостепной и лесной зон Европейской территории России. Использование модели показало, что мульчирование почвы растительными остатками в целом более эффективно для засушливых территорий как в плане экономии поливной воды, так и прибавки урожая зерновых. Кроме того, разработана методика оценки энергетической эффективности применения различных агротехнологий в сельскохозяйственных ценозах, учитывающая влияние этих приемов на изменение запасов энергии в почве. Методика применена для сравнительной оценки эффективности четырех агротехнологий, используемых при выращивании пшеницы в различных районах степной и лесостепной зон европейской части России: (1) отвальной вспашки, (2) отвальной вспашки с применением орошения, (3) безотвальной обработки почвы и (4) мульчирования растительными остатками в сочетании с ее безотвальной обработкой. Высокую энергетическую эффективность для всех выбранных пунктов дает использование мульчирования почвы в сочетании с ее минимальной обработкой.

Abstract. A model of formation of a water regime in an agricultural field covered with a straw mulch layer (both with irrigation and without it) has been developed. The model was designed to quantitatively evaluate mulching efficiency in terms of increasing the water supply of crops and their yield capacity in a wide range of climatic and soil conditions. The verification of the proposed model was performed for some locations of the steppe and forest-steppe zones of European Russia. Application of the model showed that such technology as mulching was more efficient in more arid regions with respect to conserving irrigation water and increasing crop yields on unirrigated lands. In addition, a technique for estimation of energetic efficiency of different agricultural technologies, taking into account the impact of these technologies on change of soil energy, was developed. The technique is applied for intercomparison of efficiency of four agricultural modes which are used for the wheat production in various areas of steppe and forest-steppe zones of a European part of Russia: (1) mouldboard tillage of soil without irrigation, (2) mouldboard tillage with the use of irrigation, (3) reduced cultivation of soil, (4) reduced cultivation with mulching soil by plant remains. High energy efficiency was observed for soil mulching in combination with minimal tillage in all sites under investigation.

Введение. Отрицательные последствия традиционных систем земледелия (деградация почв, ухудшение их структуры и др.) можно преодолеть, опираясь на нетрадиционные приемы обработки почвы (адаптивные, почвозащитные, водосберегающие, природоохранные), важнейшим из которых является мульчирование ее поверхности пожнивными остатками. Однако вопрос о количественных оценках такого перехода (повышение водообеспеченности посевов, уменьшение дефицитов их водопотребления и оросительных норм, увеличение урожайности зерновых) до сих пор исследовался фрагментарно и оставался открытым, поскольку те или иные выводы об эффективности

мульчирования получены на основе результатов разрозненных экспериментальных исследований, проведенных на агрономическом уровне, лишь для отдельных пунктов и за короткие временные интервалы наблюдений [1, 2, 21, 22, 25]. Ограниченность результатов таких исследований, обусловленная как нечеткостью показателей эффективности мульчирования, отрывочностью их оценок, так и отсутствием информации об определяющих указанную эффективность факторах, делает эти результаты практически непригодными для обобщения и использования их в других почвенных, климатических и физико-географических условиях, а также для других видов растительности. Указанное обстоятельство ставит на повестку дня задачу создания достаточно универсальной методики расчета повышения водообеспеченности агроэкосистем и их урожайности, способной прогнозировать эффективность мульчирования для любых природных условий.

В России, так же как и в других странах мира, к настоящему времени накоплен и вводится в практику довольно богатый и разнообразный опыт научно обоснованных агротехнологий, касающихся минимальной, безотвальной, плоскорезной, “нулевой” обработки почвы и мульчирования почвы растительными остатками [1, 2, 18]. Эти технологии направлены не только на актуальное в данный момент увеличение урожая, но и на снижение эрозии на пахотных землях, сохранение плодородия почв, являющегося залогом будущих урожаев. Выбор того или иного агротехнического приема в конкретном месте может быть основан на сравнении эффективности его применения с эффективностью других технологий, в том числе и традиционных, в значительной мере использующих отвальную глубокую вспашку и орошение сельскохозяйственных посевов. Сформирован подход к решению этой проблемы и проведена оценка энергетической эффективности различных сельскохозяйственных технологий, принимая во внимание воздействие этих технологий на изменение энергии почвы.

Теоретические основы оценки основных показателей водного режима агроэкосистем. Одним из важнейших элементов почвозащитной системы обработки почвы является мульчирование поверхности почвы пожнивными остатками. Мульчирующий слой на поверхности почвы защищает ее от вредного влияния метеорологических факторов - засух, холода, прямых ударов дождевых капель, а от также водной и ветровой эрозии [10, 16, 22]. Мульча снижает непродуктивный расход влаги (испарение с поверхности почвы), особенно в предвегетационный период. 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. Повышается коэффициент полезного использования ресурсов почвенных вод (показывающий, какая доля суммарного испарения расходуется на продуктивное испарение – транспирацию) $\eta_e = E_T / E$, где E_T и E - соответственно транспирация агроэкосистемы и ее суммарное испарение за период вегетации. Это обусловлено увеличением доли транспирации за счет снижения испарения воды почвой. В результате возрастает и влагообеспеченность посевов η_w , которая характеризуется отношением фактической транспирации растительного покрова

за вегетационный период (продуктивного испарения) к величине

потенциальной транспирации [4, 5, 6, 14], т.е.

$$\eta_w = E_T / E_{PT} \tag{1}$$

Указанные выше критерии η_w и η_e являются удобными наглядными показателями

использования ресурсов почвенных вод. Так, в случае значительного отклонения η_w от 1, растительный покров находится в состоянии водного стресса, понижающего его продуктивность. В районах Нижнего Поволжья, например, среднеголетняя величина η_w для посевов зерновых лежит в диапазоне 0.3 - 0.7 [7, 15], что означает существенный дефицит водообеспеченности агроценозов.

В то же время величина η_e , отражающая эффективность использования ресурсов почвенных вод, в указанных районах часто не достигает и 40% [5], что означает неэффективность традиционных сельскохозяйственных технологий (в естественных поликультурных многоярусных ценозах $\eta_e, \approx 90-95\%$ [21]) и наличие значительного резерва не использованных ресурсов почвенных вод, затраченных на непродуктивное испарение воды почвой.

Второй аспект рассматриваемой в работе задачи связан с разработкой метода расчета выбранных критериев. Как было отмечено выше, ни одно из проведенных к настоящему времени полевых экспериментальных исследований не дало и в принципе не может дать ответ на вопрос о влиянии мульчирования (или другого агротехнического приема) на изменение критериев η_w и η_e . Последнее связано с тем, что при оценке данных критериев необходима раздельная оценка транспирации E_T и испарения воды почвой E_S , что в полевых условиях практически неосуществимо. Постановка этой задачи и один из вариантов ее решения были рассмотрены в [5], где использован ряд допущений, снижающих точность количественных выводов об эффективности мульчирования.

Поэтому возникла задача разработки теоретического метода оценки η_w и η_e за счет применения физически более адекватных параметризаций процессов испарения воды почвой, использования экспериментально определенных параметров мульчи, а кроме того, создание приближенной методики оценки влияния мульчирования на повышение урожайности посевов, обусловленной улучшением их водообеспеченности.

Разработанная модель [14, 17] рассчитывает с суточным шагом динамику составляющих водного баланса корнеобитаемого слоя почвы (толщина которого принималась равной 1 м) с момента схода снежного покрова и до наступления отрицательных температур воздуха. Она включает в себя описание следующих процессов: перехват части атмосферных осадков слоем мульчи и их последующее испарение, транспирацию, физическое испарение воды почвой, покрытой мульчирующим слоем, водообмен с нижележащими слоями, изменение влагозапасов корнеобитаемого слоя почвы.

При оценке количества осадков, перехваченных мульчей, использовалась концепция “ведра”, которая состоит в следующем. Предполагается, что для выпадающих осадков мульча служит некоторым резервуаром постоянной емкости $V_{m,max}$, равной $\varepsilon\delta_m$, где ε - водоудерживающая способность мульчи, а δ_m - толщина мульчирующего покрытия. Пока резервуар не заполнен, количество воды в нем V_m уменьшается вследствие ее испарения и увеличивается по мере выпадения осадков. Часть выпавших за сутки осадков (если они есть) идет на смачивание мульчи, доводя ее влагосодержание до $V_{m,max}$, оставшиеся пополняют корнеобитаемый слой почвы. Кроме указанных критериев, на основе предложенного алгоритма можно оценить и величину дефицита испарения агроэкосистемы D (отождествляемого часто с дефицитом ее водопотребления), который определяется следующим образом:

$$D = E - E_{ir} \quad , \quad (2)$$

где E_{ir} - суммарное испарение агроэкосистемы в условиях достаточного увлажнения (обычно соответствующее случаю орошения фитоценоза в моменты достижения влагозапасов почвы критического значения V_{cr}). Кроме того, данная модель в комбинации с упрощенной методикой оценки урожайности агроэкосистем, представленной в [11], может быть использована для оценки эффективности мульчирования с точки зрения повышения урожая зерновых.

Информационное обеспечение модели формирования водного режима агроэкосистемы при мульчировании почвы. Наряду с разработкой расчетного алгоритма важным элементом создания модели является подготовка ее информационного обеспечения. К последнему в настоящем случае относятся (1) информация о входных гидрометеорологических факторах - осадках, скорости ветра, значениях потенциального испарения воды почвой и потенциальной транспирации, начальных (весенних) влагозапасах почвы; (2) гидрофизические параметры почвы; (3) данные о динамике относительной площади листьев рассматриваемого посева; (4) параметры мульчи.

В качестве начальных влагозапасов почвы использовалось их значение, наблюдаемое на соответствующей агрометеорологической станции в ближайший день после схода снежного покрова. Динамика индекса площади листьев пшеницы была вычислена в соответствии с моделью его формирования, описанного в [11]. Согласно этой модели предполагается, что эволюция относительной площади листьев конкретной культуры в течение периода вегетации определяется, во-первых, некоторой заданной ("генетической") программой [23], во-вторых, режимом увлажнения корнеобитаемого слоя почвы. Параметры мульчи были определены при полевых экспериментах [11, 13]. Часть гидрофизических параметров почвы бралась из данных наблюдений агрометеорологических станций, другая определялась расчетным путем на основе эмпирических уравнений, в которых предиктором является такая характеристика механического состава почвы как процентное содержание глины CLAY (в %), взятое в соответствии с Трехчленной классификацией США [9].

Некоторые результаты экспериментальной проверки методики расчета водного режима агроэкосистем при наличии и отсутствии мульчирующего покрытия. Невозможность прямой экспериментальной проверки принятой модели формирования водного режима почвы из-за отрывочных опытных данных вынудили нас использовать косвенную ее проверку, связанную с апробацией модели на отдельных частных случаях. Поскольку мульчирование, прежде всего, сказывается на испарении воды непосредственно почвой, важным является работоспособность модели для случая испарения воды оголенной почвой. Так, на рис. 1-(а), показаны примеры сопоставления измеренных (E_s изм) и рассчитанных (E_s рас) суточных величин испарения воды оголенной почвой (мм/сутки).

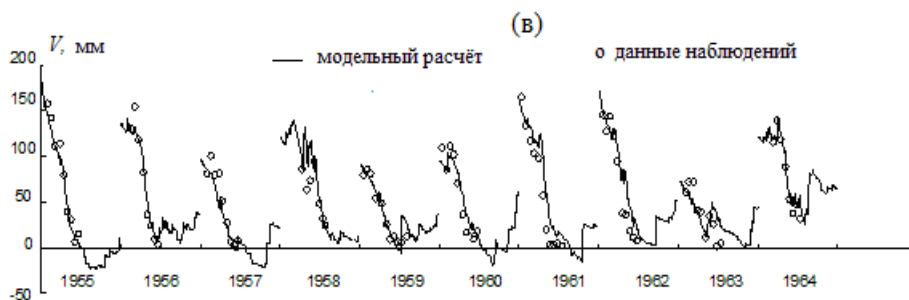
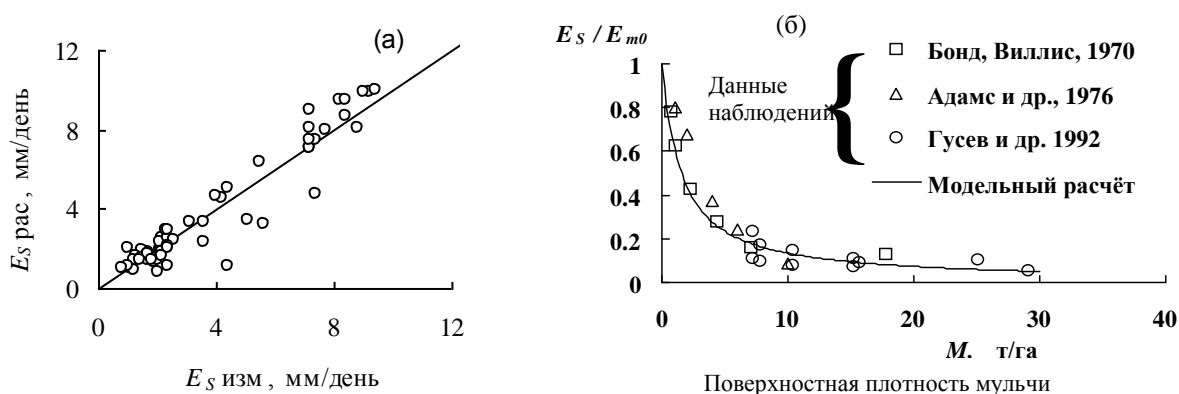


Рис. 1. Сопоставление измеренных (E_S изм) и рассчитанных (E_S рас) суточных величин испарения воды оголенной почвой (мм/сут) (а), связь испарения воды почвой, покрытой соломенной мульчей, с поверхностной плотностью мульчи по экспериментальным данным и модельному расчету [26, 27] (б), многолетняя динамика полученных и рассчитанных для теплого периода года (апрель-октябрь) продуктивных влагозапасов метрового слоя почвы на полях пшеницы в районе ст. Ершов (в).

Более убедительным доказательством работоспособности модели по понятным причинам могут служить результаты сопоставления рассчитанных и измеренных значений продуктивных влагозапасов почвы V в метровом слое почвы рис. 1-(в).

Третьим частным случаем формирования водного режима почвы, на котором была произведена проверка работоспособности предлагаемой модели, является испарение воды оголенной почвой при наличии на ее поверхности растительной мульчи, но с нелимитированной водоподачей, т.е. при условии отсутствия просохшего слоя на поверхности почвы – рис.1-(б), где E_{m0} – величина потенциального испарения воды мульчей.

Приложение предложенной модели к оценке влияния мульчирования почвы соломой на повышение водообеспеченности сельскохозяйственных посевов для ряда районов Европейской части России. Исследования показали, что толщина слоя растительной мульчи оказывает заметное влияние на водообеспеченность посевов яровой пшеницы лишь в пределах 4-5 см (рис.2-а).

Как и следовало ожидать, улучшение всех показателей водного режима агроэкосистемы при мульчировании ее поверхности растительными остатками в большей степени проявляется в засушливых районах (рис.2). Так, при мульчировании полей пшеницы слоем соломы толщиной 5 см, показатель водообеспеченности растительного покрова η_ω (рис.2-а) возрастает в районе ст. Петринка (лесостепная территория с наибольшим увлажнением) с 0.84 до 0.90, в то время как для ст. Ершов (сухая степь) с 0.49 до 0.61. При тех же условиях коэффициент использования ресурсов почвенных вод η_e (рис.2-б) повышается в районе ст. Петринка от 0.60 до 0.77, в районе ст. Ершов от 0.42 до 0.68.

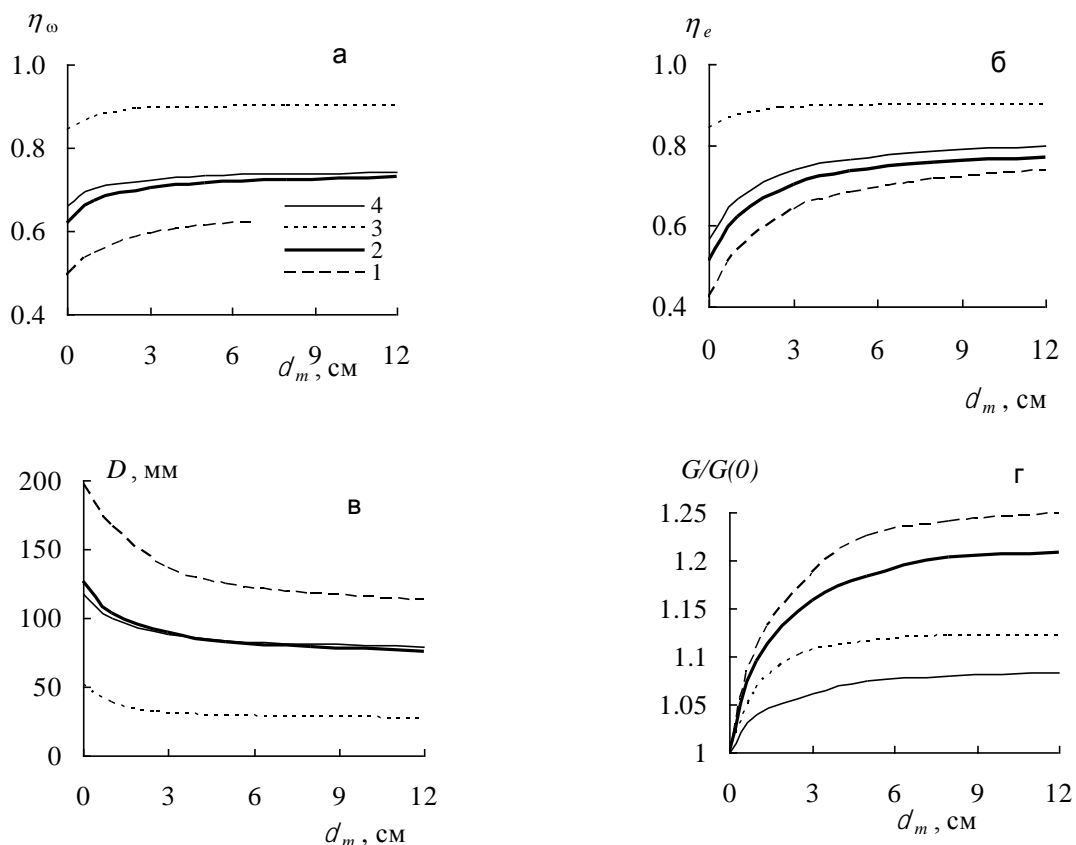


Рис. 2. Связь среднесуточных характеристик водного режима посевов яровой пшеницы: показателя водообеспеченности (а), коэффициента использования ресурсов почвенных вод (б), дефицита испарения (в), относительных урожаев (г) с толщиной мульчирующего покрытия воды (δ_m) в районах ст. Ершов (1), Безенчук (2), Петринка (3), Каменная Степь (4).

Использование мульчирования приводит также к увеличению урожая пшеницы на неорошаемых полях во всех рассматриваемых районах. Абсолютный прирост урожая посевов пшеницы G (рис. 2-г) примерно одинаков для всех станций (2-3 ц/га при наличии 5-см слоя соломенной мульчи), что связано с более высоким почвенным плодородием ст. Петринка и Каменная Степь по сравнению с плодородием почв засушливых районов ст. Ершов и Безенчук.

Энергетическая эффективность функционирования агроэкосистемы. Основой эффективности того или иного технологического приема служит отношение получаемого на выходе эффекта к приложенным затратам. В принципе для этой цели могут быть использованы экономические (денежные) оценки. Однако экономические показатели субъективны и нестабильны. С нашей точки зрения при оценке эффективности тех или иных приемов земледелия более приемлемым является эколого-энергетический подход, развитый во многих работах [3, 8, 19, 29.]:

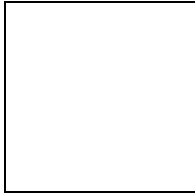
При таком подходе автотрофные растительные сообщества Земли рассматриваются в качестве первичного звена трофической цепи наземных экосистем, т.е. преобразователей солнечной энергии в энергию химических соединений их тканей. Земледелие при этом выступает одновременно как в качестве потребителя поступающей в агроэкосистему энергии (связанной с приходящей солнечной радиацией E_{sn} и с различными источниками антропогенной энергии E_{in}), так и в качестве ее производителя в форме химической энергии продуктов питания и органического сырья E_{out} . Указанная выше совокупная антропогенная энергия E_{in} складывается из энергетических затрат на технологические процессы по выращиванию и сбору урожая, на производство и эксплуатацию техники и оборудования, их амортизацию, капитальные вложения, ирригацию, получение топлива, минеральных удобрений и т. п.

Кроме того, различные агротехнические приемы, оказывая то или иное воздействие на выход конечной продукции с получаемым урожаем, в такой же мере оказывают влияние и на состояние почвы, приводя к уменьшению или увеличению в зависимости от используемой технологии содержания органического вещества (гумуса) в почве. Именно, содержание гумуса, в значительной мере определяя плодородие почвы и, соответственно, условия фотосинтетического использования растительным покровом солнечной радиации и производства первичной органической продукции, напрямую связано с почвенной энергетикой.

Таким образом, чтобы оценить эффективность того или иного агротехнического приема, необходимо, с нашей точки зрения, в энергетический критерий сравнения используемых технологий включить составляющую, отражающую выход энергии не только в вегетирующей биомассе (определяемый получаемым урожаем), но и ее изменение в подсистеме почвы. В этом случае сравнение будет производиться на основе учета не только выхода продукции в данный момент, но и перспектив рассматриваемой технологии в отношении сохранения почвенного плодородия. Один из вариантов такого критерия оценки эффективности соответствующей технологии K может быть представлен в виде:

$$\square,$$

(3)



где ΔE_{in} - изменение за соответствующий временной интервал (например, за год) энергии почвенного покрова. Именно в форме (2) показатель K и был использован в настоящей работе в качестве основного критерия при анализе эффективности различных приемов земледелия.

Оценка различных статей энергетического баланса агроэкосистем. Методика сравнительной оценки эффективности различных систем земледелия в указанных районах (основанная, естественно, на среднемноголетних энергетических показателях) была апробирована на четырех агротехнических приемах: (1) отвальной вспашке (на глубину до 20 см), (2) отвальной вспашке с использованием орошения, (3) безотвальной обработке почвы (на глубину 8-15 см), выполняемой плоскорезами, противоэрозионными культиваторами, луцильниками и т.д., (4) мульчировании почвы соломой в сочетании с безотвальной обработкой. Первые два широко используемых приема составляют основу традиционной системы земледелия, два последних являются наиболее перспективными составляющими нетрадиционной, ресурсосберегающей агротехнологии.

В качестве репрезентативных пунктов были выбраны четыре агрометеорологические станции: Петринка (Курская область), Каменная Степь (Воронежская область), Безенчук (Самарская область) и Ершов (Саратовская область), расположенные в зонах активного земледелия, но различные по условиям увлажнения и типу почвы.

Сумма описанных выше различных статей антропогенных затрат дает (конечно, весьма приближенно) общие антропогенные расходы E_{in} энергии в агроэкосистеме. Полученные для выбранных пунктов и для исследуемых в работе агротехнологий значения E_{in} представлены на рис.3. Здесь же показан и примерный диапазон ошибок E_{in} .

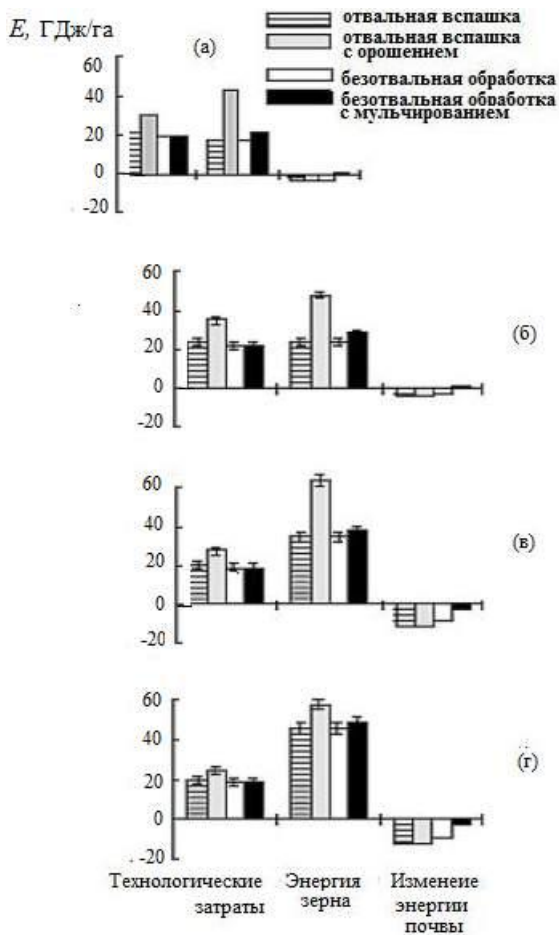
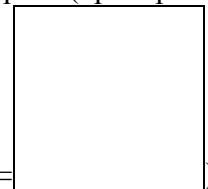


Рис. 3. Основные элементы энергетического баланса агроэкосистем с посевами пшеницы при разных способах обработки почвы в районах агрометеорологических станций Ершов (а), Безенчук (б), Каменная Степь (в) и Петринка (г).

Следует отметить, что при определении энергетических затрат на ирригацию расчет оросительной нормы и числа необходимых при этом поливов на посевах пшеницы производился на базе физико-математического моделирования водного режима агроэкосистем, методика которого и результаты апробации подробно изложены в [11, 14]. Использовались и литературные данные [3, 18, 28, 30].

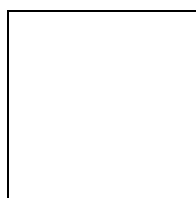
Суммарные затраты антропогенной энергии определяются многими факторами, как природными (климатическими и почвенными), так и экономико-технологическими. Для выбранных районов полные антропогенные энергетические затраты при отсутствии орошения по приближенной оценке можно принять равными 26-32 ГДж/га при применении отвальной пахоты и 24-29 ГДж/га – при минимальной обработке почвы.

Приложение данной модели к расчету ряда характеристик водного режима посевов яровой пшеницы для выбранных станций Ершов, Безенчук, Каменная Степь и Петринка позволило определить, в том числе, и среднемноголетнее число поливов N , необходимое в указанных районах на орошаемых полях и соответствующее поливной норме (критерием



необходимости полива является снижение влагозапасов почвы до $V =$). Полученные значения N дали возможность в соответствии с [24] оценить и необходимые энергетические затраты на проведение орошения. Как правило, полученные в расчетах дополнительные затраты на орошение в рассматриваемых районах оказались лежащими в диапазоне 5-10 ГДж/га в зависимости от количества необходимых поливов.

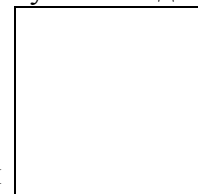
Энергия E_{out} , связанная с выходом конечной продукции, может быть оценена следующим образом:



(4)

где q - калорийность зерна, ГДж/т; Y - хозяйственный урожай, т/га. В основу методики оценки урожая злаковых культур была положена эмпирическая связь Y с фотосинтетическим потенциалом ФП, представляющим собой нарастающую по декадам сумму относительной площади листьев посева ω от всходов до цветения, а также числом декад с недостаточным увлажнением за период от начала цветения до уборки урожая m [11, 12].

Энергетическая эффективность различных приемов земледелия. Полученные для



выбранных станций данные по статьям энергетического баланса E_{in} , ΔE_S и для рассматриваемых агротехнологий позволили рассчитать их энергетическую эффективность. Полученные результаты по K , как с учетом изменения энергии почвы, так и без ее учета, приведены на рис. 4.

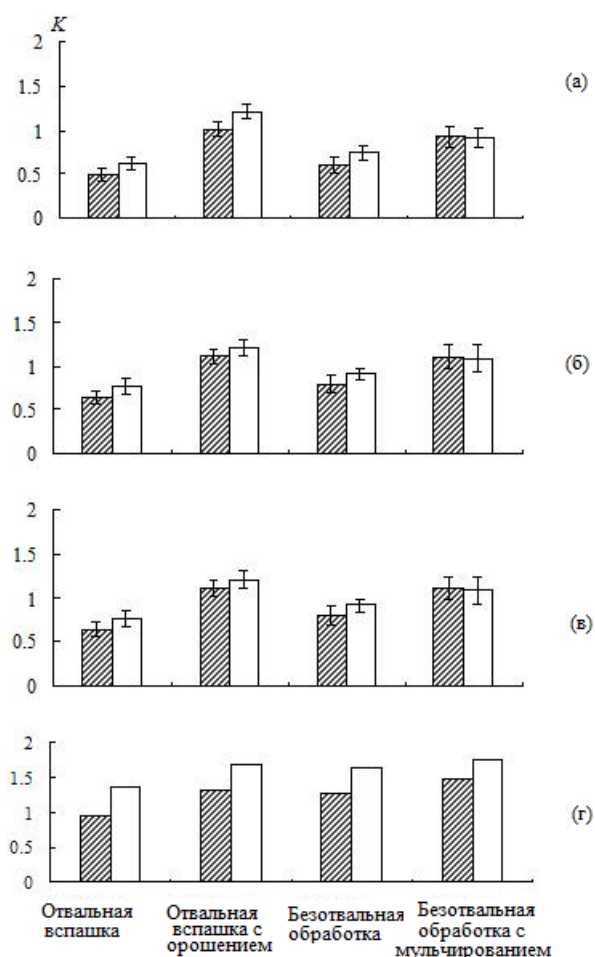


Рис.4. Энергетическая эффективность различных приемов земледелия с учетом изменения энергии почвы (заштрихованные прямоугольники) и без его учета (пустые прямоугольники) в районах агрометеорологических станций Ершов (а), Безенчук (б), Каменная Степь (в), Петринка (г).

Анализ полученных результатов по энергетической эффективности различных приемов земледелия с учетом изменения энергии почвы позволяет сделать следующие выводы:

1. Коэффициент энергетической эффективности, принимающий во внимание изменение энергии почвы, как правило, ниже коэффициента эффективности, не учитывающего почвенную энергетику. Расчеты показали, что величина ΔE_S обычно отрицательна. Причиной

этому является почти повсеместное уменьшение почвенной энергии при всех способах обработки почвы. Исключение из этого наблюдается только на ст. Ершов и Безенчук при применении мульчирования, когда учет почвенной энергии, повышает показатель эффективности технологии.

2. Как и следовало ожидать, энергетическая эффективность всех технологий выше в районах с лучшими почвенно-климатическими показателями. В частности, K возрастает с увеличением показателя увлажненности территории P/E_{pT} (P - осадки, E_{pT} - потенциальная транспирация). Вообще говоря, K растет (хотя и с несколько меньшей корреляцией) и с увеличением плодородия почвы (содержанием гумуса C). Однако, в значительной мере это может быть обусловлено сильной взаимной положительной корреляцией величин C и P/E_{pT} , имеющей место в районах выбранных станций. В связи с этим окончательного вывода о том, какой из факторов (C или P/E_{pT}) является основным по влиянию на рост K , на данных результатах сделать невозможно.

3. Наименьшую энергетическую эффективность на всех станциях дает применение отвальной вспашки без орошения. Обусловлено это тем, что средние по величине антропогенные затраты (по сравнению, например, с затратами глубокой обработки почвы с ирригацией), свойственные данной технологии, приводят к относительно средним урожаям, но при этом к значительному ухудшению почвенного плодородия (рис. 3).

4. Высокую энергетическую эффективность для всех выбранных пунктов дает использование мульчирования почвы в сочетании с ее минимальной обработкой. Эффективность этого приема на 50-60% выше эффективности глубокой отвальной вспашки без орошения и практически равна эффективности вспашки с орошением, а на ст. Петринка даже на 25% выше. Связано это с тем, что при мульчировании значительно снижаются деструктивные процессы в почвенном слое (и, следовательно, сохраняется энергия почвы), урожай пшеницы несколько возрастает за счет лучшей водообеспеченности посевов, а технологические затраты немного снижаются (рис. 3).

5. Безотвальная обработка почвы без мульчирования на 15-20% эффективнее отвальной вспашки, так как при ее использовании снижается эрозионный вынос гумуса и несколько уменьшаются технологические затраты на обработку почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аллен Х.П. Прямой посев и минимальная обработка почв / Х.П.Аллен - М.: Агропромиздат, 1985. - 208 с.
2. Бараев А.В. Почвозащитное земледелие / А.В.Бараев - М.: Колос, 1975. - 304 с.
3. Булаткин Г.А. Эколого-энергетические аспекты продуктивности агроценозов / Г.А.Булаткин // Ин-т почвоведения и фотосинтеза АН СССР, Пушкино, 1986.- 210с.
4. Будаговский А.И. Ресурсы почвенных вод и водообеспеченность растительного покрова / А.И.Будаговский // Водные ресурсы, 1985, N 4. - С.3-13.
5. Будаговский А.И., Григорьева Н.И. Пути повышения эффективности ресурсов почвенных вод / А.И.Будаговский, Н.И.Григорьева // Водные ресурсы, 1991, № 1. - С. 131-142.
6. Будаговский А.И., Лозинская Е.А. Основы теоретической схемы оценки тепло- и влагообмена подстилающей поверхности с атмосферой / А.И.Будаговский, Е.А.Лозинская // Воды суши: проблемы и решения, М.: ИВПРАН, 1994. - С. 97-111.
7. Будаговский А.И., Шумова Н.А. Ресурсы почвенных вод и их роль в решении водохозяйственных проблем / А.И.Будаговский, Н.А. Шумова // Научные основы рационального использования, охраны и управления водными ресурсами., М.: Изд-во МГУ, 1983, Ч.1- С.166-175.
8. Волобуев В.Р. Агроэнергетика - актуальная научная и практическая проблема / В.Р.Волобуев // Почвоведение, 1979, № 10. - С. 5-14.
9. Воронин А.Д. Основы физики почв /А.Д.Воронин // М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. - 244 с.
10. Гавриш В.Г. Массовые опыты по мульчированию посевов / В.Г.Гавриш - М.-Л.: Сельхозгиз, 1931. - 57 с.

11. Гусев Е.М., Бусарова О.Е. Моделирование динамики относительной площади листьев злаковых культур / Е.М.Гусев, О.Е.Бусарова // Метеорология и гидрология, 1998, №1 - С.100-107.
12. Гусев Е.М., Бусарова О.Е. Оценка энергетической эффективности агротехнологий / Е.М.Гусев, О.Е.Бусарова // Водные ресурсы, 2001, № 7. - С. 832-844.
13. Гусев Е.М., Бусарова О.Е., Шурхно А.А., Ясинский С.В. / Влияние соломенной мульчи на термический режим почвы после схода снежного покрова / Е.М.Гусев, О.Е.Бусарова, А.А.Шурхно, С.В.Ясинский // Почвоведение, 1992, № 5. - С.49-59.
14. Гусев Е.М., Джоган Л.Я. Методика оценки влияния мульчирования почвы растительными остатками на формирование водного режима агроэкосистем / Е.М.Гусев, Л.Я.Джоган // Почвоведение, 2000, № 11. - С. 1403-1414.
15. Гусев Е.М., Насонова О.Н. Моделирование годовой динамики влагозапасов корнеобитаемого слоя почвы для агроэкосистем степной и лесостепной зон / Е.М.Гусев, О.Н.Насонова // Почвоведение, 1996, № 6. - С. 1195-1202.
16. Демусенко П.М., Шнеерсон Э.С. Мульчирование за границей / П.М.Демусенко, Э.С.Шнеерсон // Мульчирование почвы: Сельхозгиз, 1935. - С.3-11.
17. Джоган Л.Я., Гусев Е.М. Воздействие мульчирования на водообеспеченность и урожайность яровой пшеницы в центральных и южных регионах Русской равнины / Л.Я.Джоган, Е.М.Гусев // Водные ресурсы, . 2003, № 11. - С. 1371-1382.
18. Картамышев Н.И., Бардунова И.Т. Пути сокращения глубины и обрабатываемой поверхности почвы при возделывании с/х культур / Н.И.Картамышев, И.Т.Бардунова // Минимализация обработки почвы, М.: Колос, 1984.- С.154-165.
19. Ковда В.А. Основы учения о почвах / В.А.Ковда - М.: Наука, 1973, Т.1. - 447с.
20. Лархер Р. Экология растений / Р.Лархер - М.: Мир, 1978. - 384 с.
21. Ломакин М.М. Мульчирующая обработка почвы на склонах / М.М.Ломакин - М.: Агропромиздат, 1988. - 185 с.
22. Моргун Ф.Т. Почвозащитное земледелие / Ф.Т.Моргун – Киев: “Урожай”, 1988. - 254 с.
23. Полуэктов Р.А. Динамические модели агроэкосистемы / Р.А.Полуэктов - Л.: Гидрометеоиздат, 1991. - 312 с.
24. Тейт Р. Ш. Органическое вещество почвы / Р.Ш.Тейт - М.: Мир, 1991. - 400 с.
25. Шабаев А.И. Почвозащитное земледелие: опыт, проблемы / А.И.Шабаев -Саратов: Приволж. книжн. изд-во, 1985.- 94 с.
26. Adams, J.E., Arkin, G.F.and Ritchie, J.T.,: Influence of row spacing and straw mulch on first stage drying / J.E.Alams, G.F Arkin, J.T. Ritchie// Soil Society of Am. J. Science, 1976, V. 40. – P. 436-442.
27. Bond, J.J., Willis, W.O., Soil water evaporation: First stage drying as influenced by surface residue and evaporation potential / J.J.Bond, W.O. Willis // Soil Sci. Soc. Am. Proc, 1970. V.34. - P. 924-928.
28. Gifford R.M. An overview of fuel used for crops and national systems / R.M. Gifford - Search, 1976. V.7, №10. - PP. 412-417.
29. Odum H.T., Peterson N. Simulation and evaluation with energy system blocks / H.T.Odum // Ecological modeling, 1996. V.93, № 1-3 - PP. 155-173.
30. Stout B.A. Handbook of energy for world agriculture / B.A.Stout - London, N.Y., Elsevier, 1990. - 504 p.