

АГРОБИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ РИСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ РИСОВОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

© 2018 А.Х. Шеуджен^{1,2}, О.А. Гуторова²

¹Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар

²Всероссийский научно-исследовательский институт риса, г. Краснодар

Статья поступила в редакцию 06.07.2018

Изучена продуктивность почв рисовых полей Кубани и проведена оценка агробиоэнергетической эффективности возделывания риса в севообороте и бессменном посеве в зависимости от мелиоративного состояния оросительной системы. Наибольшая урожайность риса достигается на высоких чеках и выше на 12,4 ц/га, чем на низких. Выращивание риса на высоких чеках способствует большему накоплению энергии в урожае (115,29 против 95,46 ГДж/га на низких чеках), получению высокого чистого энергетического дохода (26,94 против 4,87 ГДж/га) и является наиболее энергетически эффективным ($K_e=1,30$ против $K_e=1,05$ на низких чеках). Урожайность риса на бессменном участке меньше в 3,5-4,0 раза, или на 42,2-54,6 ц/га по сравнению с полями рисового севооборота. Бессменное возделывание риса энергетически не эффективно – количество энергии, накопленной в урожае, не сопоставимо с затратами антропогенной энергии ($K_e=0,45$).
Ключевые слова: Кубань, продуктивность рисовых почв, урожайность, севооборот, бессменный посев риса, агробиоэнергетическая эффективность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и министерства образования, науки и молодёжной политики Краснодарского края в рамках проекта № 16-44-230473.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из ведущим фактором возделывания риса, влияющий на морфологические, физические и физико-химические, а также биологическую активность почвы, является длительное ежегодное затопление в течение 4-5 месяцев. В почве развиваются восстановительные процессы, возникновение которых способствуют миграции органических и минеральных веществ нисходящим током воды в нижележащие горизонты. Интенсивность этого процесса в значительной степени зависит как от природы выщелачиваемых соединений, так и от свойств почвы, особенно от ее фильтрационных показателей и степени дренированности. Строительство оросительных систем неизбежно связано с террасированием природного рельефа с превращением его склонов в огромное множество горизонтально спланированных и ступенчато расположенных рисовых чеков [1, 2]. Многие исследователи отмечают [2-4], что одной из причин снижения урожайности риса является

неудовлетворительное гидромелиоративное их состояние, выражающееся в близком залегании грунтовых вод к поверхности почвы и интенсивном развитии в ней восстановительных глеевых процессов, способствующих образованию и накоплению токсичных веществ. После затопления рисового поля смежные чеки вступают в гидравлическое взаимодействие, фильтрационные воды со стороны высоких чеков движутся к низким, вовлекая в это движение водорастворимые соли и продукты восстановительных процессов [5]. И по сравнению с повышенными участками на низких чеках существенно снижается урожайность риса – на 5,3-13,3 ц/га [2-4]. Так, И.В. Подлесный [3] в зоне приазовских плавней Кубани показал снижение ее в условиях слабой дренированности чеков на 24,5 % по сравнению с повышенными участками. Р.Н. Смирнов и Г.Н. Шумейкина [4] на почвах солонцового комплекса Сарпинской низменности выявили зависимость урожайности риса от высотного положения чеков, которая на низких была меньше на 20-30 %, чем на чеках среднего и высокого уровня.

Целью работы являлось изучение продуктивности почв рисовых агроландшафтов Кубани, и оценка агробиоэнергетической эффективности возделывания риса в севообороте и бессменном посеве в зависимости от мелиоративного состояния оросительной системы.

Шеуджен Асхад Хазретович, академик РАН, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой агрохимии КубГАУ, заведующий отделом прецизионных технологий ВНИИ риса. E-mail: ashad.sheudzhen@mail.ru
Гуторова Оксана Александровна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела прецизионных технологий ВНИИ риса. E-mail: oksana.gutorova@mail.ru

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования были проведены на рисовой оросительной системе ЭСП ФГУ «Красное» Красноармейского района Краснодарского края. По почвенно-географическому районированию территория предприятия относится к Приазово-Предкавказской почвенной провинции степной зоны обыкновенных и южных чернозёмов, почвенного округа низовьев реки Кубани с распространением почв лугово-степного и лугового типов. На основной территории лугово-степной тип почвообразования представлен лугово-черноземной почвой, расположенной на повышенных элементах рельефа (высокие чеки). Болотный тип почвообразования представлен лугово-болотной почвой, сформированной в замкнутых понижениях, западинах, в условиях избыточного увлажнения, характеризующейся наличием глеевых процессов (низкие чеки). Почвенно-климатические условия территории проведения исследований, а также морфологические, физические, физико-химические и биологические свойства почв опубликованы ранее [6-8]. Учет валового урожая проводили в полях рисового севооборота и бессменного посева риса. Рис в севообороте выращивался согласно технологии, принятой в ЭСП «Красное» в соответствии с рекомендациями ВНИИ риса. Схема опыта бессменного посева риса следующая:

1. Рис по рису с 1937 г. без внесения удобрений (контроль).

2. Рис по рису с 1937 г. с внесением $N_{180}P_{120}K_{60}$.

*3. Рис по сидератам с 1966 г., без внесения минеральных удобрений.

*4. Рис по сидератам с 1966 г. с внесением $N_{150}P_{90}K_{60}$.

*В 1966-1999 и 2001-2002 гг. сидераты в вариантах 3 и 4 запахивали в почву ежегодно. В 2000 г. и 2003-2004 гг. – не вносили. С 2005 года разделение рисового поля на 4 варианта прекращено. До настоящего времени рис выращивается бессменно без внесения удобрений. Данные урожайности бессменной культуры риса за 1974 год были взяты из годового отчета ВНИИ риса [9].

Исходными документами для расчета агробиоэнергетической эффективности возделывания риса являлись технологические карты и нормативные энергетические эквиваленты [1, 10-12]. Принцип используемого метода сводится к определению совокупных энергетических затрат на выполнение отдельных технологических операций, включая прямые затраты энергоносителей и косвенные (овеществленные) материально-технических ресурсов, и энергетической ценности полученного урожая. Основные критерии оценки агробиоэнергетической эффективности [13, 14]:

- чистый энергетический доход – разница между содержанием энергии в урожае и общими затратами на возделывание риса, ГДж/га;

- коэффициент энергетической эффективности – отношение чистого дохода к общим энергетическим затратам;

- биоэнергетический коэффициент (КПД) посева (K_p) – отношение полученной с урожаем энергии к затраченной;

- энергетическая себестоимость продукции – общие затраты энергии на единицу урожая, ГДж/т.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Продуктивность почв рисовых полей непосредственным образом зависит от высотного положения чека. Высоту чека нельзя отнести к энергетическим или материальным факторам, влияющих на рост и развитие растений. Она лишь создает обстановку равных условий произрастания всех растений на рисовом поле. В зависимости от высоты чека почвенные процессы протекают по-разному, которые и определяют продуктивность почвы. На низких чеках восстановительные процессы выражены интенсивнее, распространяясь на значительную глубину почвы, в результате чего в ней образуется большое количество недоокисленных соединений, накопление которых приводит к снижению эффективного плодородия и урожая риса [8].

Результаты исследований показали, что на высоких чеках лугово-черноземной почвы урожайность риса в первый год возделывания после многолетних трав достигает 75,2-80,3 ц/га, во второй и третий год снижается до 70,0-74,2 и 67,8-70,4 ц/га соответственно. После выращивания суходольных культур (сои, озимой пшеницы) урожайность риса в первый год возделывания составляет 67,0-71,2 ц/га. В последующий год – уменьшается на 2,6-4,8 ц/га.

На низких чеках лугово-болотной почвы, где менее благоприятные окислительно-восстановительные условия [8], урожайность риса в первый год возделывания по многолетним травам составляет 62,0-67,5 ц/га, то есть в среднем на 13,3 ц/га меньше, чем на высоких чеках. При выращивании рис по рису второй год урожайность снижается до 59,7-61,8 ц/га, а в третий год – до 52,0-58,1 ц/га. После занятого пара урожайность риса первого года возделывания составляет 59,8-62,3 ц/га, что меньше в среднем на 8,9 ц/га, чем на высоких чеках, ко второму году уменьшается на 3,2-5,3 ц/га.

Таким образом, наибольшая урожайность риса формируется на высоких чеках лугово-черноземной почвы, характеризующейся наиболее благоприятными окислительно-восстановительным режимом, физическими и физико-хи-

мическими свойствами, а также биологической активностью [7, 8]. В среднем за 5 лет, на высоких чеках урожайность риса больше на 12,4 ц/га, чем на низких (рис. 1). При этом наибольшие показатели достигаются при возделывании риса в первый год после многолетних трав.

Необходимость чередования сельскохозяйственных культур давно установлено практикой земледелия. Бесменное возделывание риса приводит к снижению почвенного плодородия и урожая. Даже плодородные почвы не могут обеспечить постоянное получение высоких урожаев без пополнения их элементами минерального питания [15, 16, 17]. На рисунке 2 показано, что ежегодное возделывание риса на одном и том же поле приводит к уменьшению урожайности. Так, за 27 лет (1974-2001 гг.) урожайность риса в варианте без внесения удобрений уменьшилась на 3,6 ц/га и значительно снизилась на удобренных вариантах – 21,9-37,8 ц/га. Причем применение минеральных удобрений и сидератов, а также их совместное внесение повышали урожайность риса относительно контроля на 21,1-43,7 ц/га (1974 г.) и на 2,8-14,1 ц/га (2000-2001 гг.) в зависимости от варианта опыта.

Анализ рисунка 3 показал, что урожайность бесменной культуры риса на фоне естественного почвенного плодородия (без внесения удо-

брений) снижалась постепенно: в 1974 году она составила 22,5 ц/га, через 27 лет уменьшилась на 3,6 ц/га, еще через 16 лет – на 1,4 ц/га. В общем, за 43 года бесменного возделывания риса без применения удобрений урожайность уменьшилась на 5,0 ц/га. По сравнению с полями рисового севооборота урожайность риса на бесменном участке была меньше в 3,5-4,0 раза, или на 42,2-54,6 ц/га (рис. 1, рис. 3).

В последние годы наряду с традиционным методом экономического анализа все большее внимание привлекает биоэнергетическая оценка эффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Этот метод получил широкое признание в мире как универсальный способ оценки потоков антропогенной энергии в агроэкосистемах, позволяющий все разнообразие живого и овеществленного труда выразить в единых показателях в соответствии системой «Си» в джоулях (Дж), килоджоулях (КДж), мегаджоулях (МДж) и т.д. При этом в связи с ведущей ролью антропогенных факторов этот метод называют агроэнергетическим [11].

Сельское хозяйство единственная отрасль материального производства, способная не только потреблять, но и, благодаря фотосинтетической деятельности растений, образовывать энергию, заключенную в урожае. Увели-

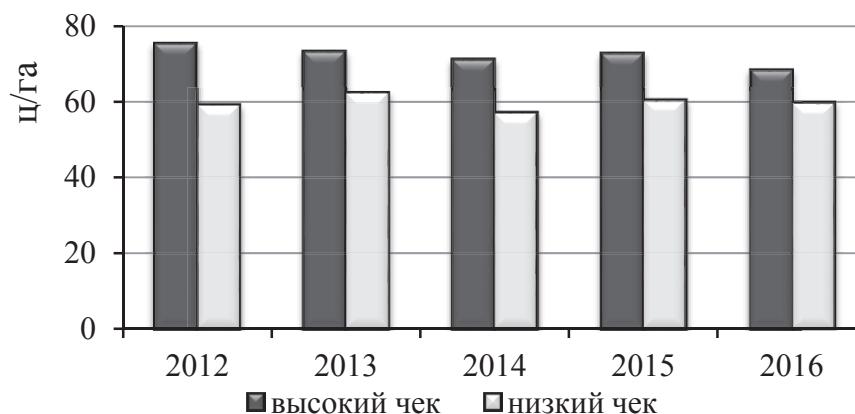


Рис. 1. Сравнительная урожайность риса на высоких и низких чеках (2012-2016 гг.)

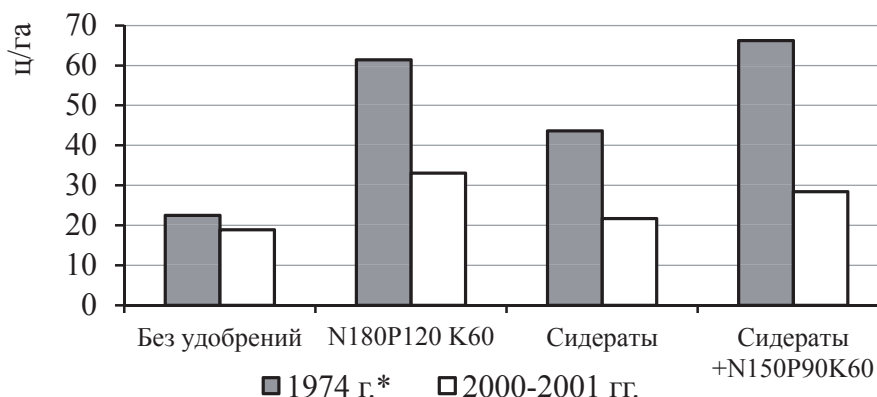


Рис. 2. Изменение урожайности риса в бесменном посеве в зависимости от удобрений

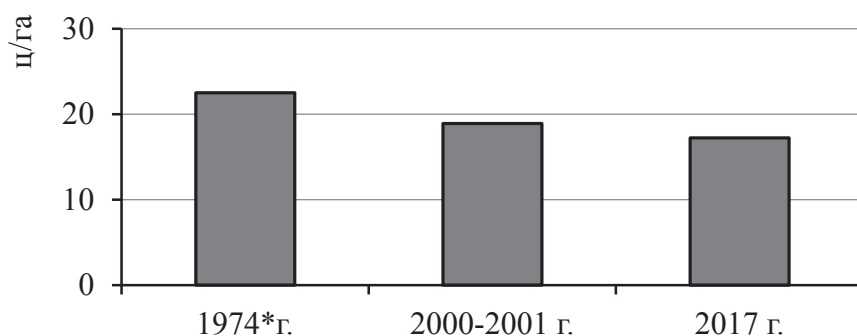


Рис. 3. Изменение урожайности риса в бессменном посеве без применения удобрений

чение урожая сельскохозяйственных культур требует повышение затрат не возобновляемой энергии на единицу производимой продукции. Для оценки энергетической эффективности возделывания сельскохозяйственных культур необходимо сопоставлять количество энергии, накопленной в хозяйственной части урожая, с затратами антропогенной (совокупной) энергии. Это дает возможность в любых экономических условиях наиболее точно учесть и выразить в одинаковых показателях не только прямые затраты на технологические показатели, но также и энергию, воплощенную в средствах производства и выращенной продукции [18]. Необходимо признать, что из-за нестабильности рыночной экономики не всегда можно объективно оценить агротехнические мероприятия в стоимостном выражении, особенно при сравнении эффективности по странам или во времени, так как они зависят от конъюнктуры цен на сырье, курса валют и инфляционных процессов [19, 20]. Конечно, биоэнергетический метод ни в коем случае не заменяет экономический анализ, но дает возможность сравнить эффективность агротехнологий при возделывании сельскохозяйственных культур с полным учетом всех категорий энергозатрат в единых показателях.

Из рисунка 4 видно, что по ресурсным затратам выращивания риса наибольший удельный вес приходится на орошение (55,2-56,6 %), сельскохозяйственную технику (15,5-16,1 %), меньше на удобрения (13,7-14,1 %) и горюче-смазочные материалы (9,6-10,9 %). Наименее энергоемкими оказались затраты трудовых ресурсов, электроэнергии и материальных средств (семена, пестициды). По периодам работ и технологическим циклам наибольшие затраты совокупной энергии приходились на уход за посевом (66,8-68,5 %) и уборку урожая риса (11,6-11,9 %).

Анализ структуры по отдельным статьям технологических работ показал, что в результате увеличения затрат на обработку почвы в условиях низких чеков возросли совокупные

энергетические затраты (прямые и косвенные). Так, при выращивании риса на низких чеках было затрачено энергии 90,59 ГДж/га, что на 22,32 ГДж больше, чем на высоких. Это связано с дополнительными операциями по обработке, необходимыми для быстрого просыхания и хорошего рыхления пахотного слоя почвы, отличающегося повышенной влажностью и плотным сложением (1,34-1,46 г/см³). Остальные статьи затрат совокупной энергии не изменяются и остаются одинаковыми независимо от высоты чека.

Затраты совокупной энергии на бессменное возделывание риса по сравнению с севооборотом значительно снижены на 24,08-26,31 ГДж/га. Это связано с тем, что культура риса, начиная с 2005 года, возделывается на фоне естественного плодородия почвы без применения удобрений и пестицидов. На долю орошения приходится наибольшая часть совокупных энергетических затрат (77,8 %), другие затраты менее энергоемкие (сельскохозяйственная техника 10,6 %; семена 4,5 %, горюче-смазочные материалы 7,1 %; живой труд 0,02 %). По периодам работ больше всего энергии затрачивается на уход за посевом риса 78,7 %, значительно меньше на уборку урожая 8,8 %, внесение удобрений 6,5 % и обработку почвы 6,0 %.

Оценка биоэнергетической эффективности показала, что выращивание риса является энергетически эффективной отраслью растениеводства (коэффициент энергоотдачи $K_e > 1,0$). Однако возделывание риса на высоких чеках, по сравнению с низкими, повышает коэффициент биоэнергетической эффективности на 0,25, отражающий отношение получаемой с урожаем энергии к затраченной. На высоких чеках количество энергии, накопленной в урожае риса, больше на 19,83 ГДж, чистого энергетического дохода – на 22,07 ГДж, а энергоемкость 1 т зерна меньше на 2,92 ГДж, чем на низких.

В урожае бессменного посева риса количество энергии меньше в 3,5-4,0 раза, или на 66,36-86,19 ГДж/га, чем в урожае выдержанно-

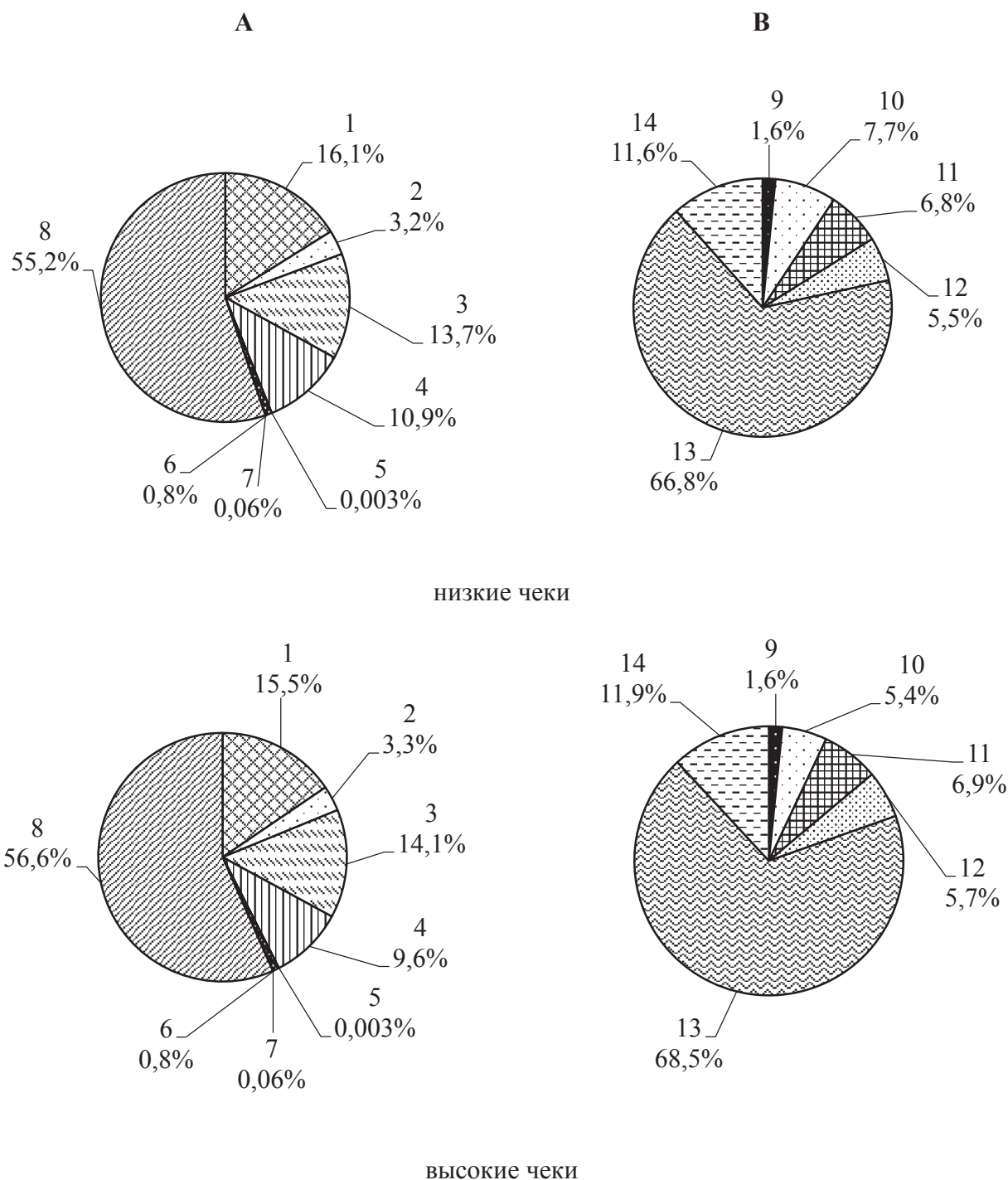


Рис. 4. Структура затрат совокупной энергии на выращивание риса по отдельным технологическим операциям (А) и периодам работ (В):

- 1 – сельскохозяйственная техника; 2 – семена риса; 3 – удобрения; 4 – горюче-смазочные материалы; 5 – электроэнергия; 6 – пестициды; 7 – живой труд; 8 – орошение; 9 – ремонтно-восстановительные работы; 10 – обработка почвы; 11 – внесение удобрений; 12 – посев риса; 13 – уход за посевом риса; 14 – уборка урожая риса

го севооборота. При высоких затратах и очень низком содержании энергии в урожае, а также высокой энергетической себестоимости 1 т зерна, коэффициент биоэнергетической эффективности бесменного возделывания риса составил 0,45, что ниже в 2,0-3,0 раза, или на 0,60-0,85, чем в условиях рисового севооборота.

ВЫВОДЫ

Наибольшая урожайность риса формируется на высоких чеках лугово-черноземной почвы и выше на 12,4 ц/га, чем на низких лугово-болотной. Выращивание риса на высоких чеках способствует большому накоплению энергии в

Таблица 1. Агробиоэнергетическая эффективность возделывания риса в севообороте и бессменном посеве

Показатель	Высота чека*		Бессменный посев риса (высокий чек)
	высокий	низкий	
Урожайность, т/га	7,21	5,97	1,72
Затрачено совокупной энергии, ГДж/га	88,35	90,59	64,28
Получено энергии от основной продукции, ГДж/га	115,29	95,46	29,1
Коэффициент энергетической эффективности	0,30	0,05	–
Коэффициент биоэнергетической эффективности (КПД) посева	1,30	1,05	0,45
Чистый энергетический доход, ГДж/га	26,94	4,87	–
Энергетическая себестоимость 1 т зерна, ГДж/т	12,25	15,17	37,4

Примечание: * – рисовый севооборот

урожае (115,29 против 95,46 ГДж/га на низких чеках), получению высокого чистого энергетического дохода (26,94 против 4,87 ГДж/га) и является наиболее энергетически эффективным ($K_e=1,30$ против $K_e=1,05$ на низких чеках). Урожайность риса на бессменном участке меньше в 3,5-4,0 раза, или на 42,2-54,6 ц/га по сравнению с рисовым севооборотом. На фоне естественного плодородия почвы (без внесения удобрений) урожайность бессменной культуры риса за 27 лет снизилась на 3,6 ц/га, в последующие 16 лет – на 1,4 ц/га. Прекращение внесения минеральных удобрений и пополнения почвы свежим органическим веществом привело к резкому снижению урожайности риса на 21,9-37,8 ц/га. Бессменное возделывание риса энергетически не эффективно – количество энергии, накопленной в урожае, не сопоставимо с затратами антропогенной энергии ($K_e=0,45$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система рисоводства Краснодарского края: Рекомендации [под общ. ред. Е.М. Харитоновой]. Краснодар: ВНИИ риса, 2005. 340 с.
2. Попов В.А., Островский В.А. Агроклиматология и гидравлика рисовых экосистем: монография. Краснодар: КубГАУ, 2013. 189 с.
3. Подлесный И.В. Динамика окислительно-восстановительного потенциала почвы зоны приазовских плавней в условиях различной степени дренированности рисовых участков // Бюллетень ВНИИ риса. 1984. Вып. 32. С. 36-38.
4. Смирнов Р.Н., Шумейкина Г.Н. Изменение почв солонцовых комплексов при рисосеянии // Почвоведение. 1979. № 5. С. 71- 76.
5. Зайцев В.Б. Рисовая оросительная система. 3-е изд., пераб. и доп. М.: «Колос», 1975. 351 с.
6. Гуторова О.А., Шеуджен А.Х. Морфогенез рисовых лугово-болотных почв Кубани // Российская сельскохозяйственная наука. 2016. № 6. С. 25-27.
7. Шеуджен А.Х., Гуторова О.А., Лебедевский И.А., Онищенко Л.М., Есипенко С.В. Интенсивность дыхания и активность окислительно-восстановительных ферментов почв в зависимости от сельскохозяйственного использования // Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 2. С. 40-43.
8. Шеуджен А.Х., Гуторова О.А., Аношенков В.В., Максименко Е.П., Кащич В.П. Влияние мелиоративного состояния на свойства почв рисовых агроландшафтов Кубани и их продуктивность // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. №08 (132).
9. Научный отчет ВНИИ риса за 1974 год. Краснодар: ВНИИ риса, 1974. Т. 1. С. 246-257.
10. Методические указания по ресурсосберегающим технологиям в растениеводстве для лабораторно-практических занятий по направлению подготовки 35.06.01 Сельское хозяйство профиль защита растений. Лесниково: Изд-во Курганской ГСХА, 2016. 72с.
11. Матюк Н.С., Полин В.Д. Ресурсосберегающие технологии обработки почвы в адаптивном земледелии: учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2013. 222 с.
12. Положий В.Н. Методика определения экономической эффективности рисовых и других орошаемых севооборотов // Бюллетень НТИ ВНИИ риса. 1977. Вып. 22. С. 81-86.
13. Шеуджен А.Х., Трубилин А.И., Кизинек С.В., Бондарева Т.Н. Агрохимические средства оптимизации минерального питания растений и экономическая оценка эффективности их применения. Майкоп: ООО «Полиграф Юг», 2017. 132 с.
14. Кирюшин В.И., Кирюшин С.В. Агротехнологии: Учебник. СПб.: Изд-во «Лань», 2015. 464 с.
15. Турило С.Н. Повышение экономической эффективности выращивания риса в условиях Причерноморья // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: Экономические науки. 2012. № 143. С. 271-277.
16. Уджуху А.Ч., Щащенко В.Ф. Регулирование почвенного плодородия в рисовых севооборотах. Краснодар: Советская Кубань, 2003. 192 с.
17. Щащенко В.Ф., Камара П.А., Словоцов Р.И. Урожайность риса в бессменном посеве при систематическом внесении удобрений и обработке гербицидами // Известия ТСХА. 1984. Вып. 1. С. 181-185.
18. Жученко А.А., Афанасьев В.Н. Энергетический

- анализ в сельском хозяйстве (методологические и методические рекомендации) // Рекомендации института экологической генетики АН Молдавской ССР. Кишинев, 1988. 128 с
19. *Фатыхов И.Ш., Толканова Л.А., Туктарова Н.Г.* Озимая пшеница в адаптивном земледелии Среднего Предуралья: монография / Под ред. И.Ш. Фатыхов. Ижевск: РИО ФГОУ ВПО «Ижевская ГСХА», 2005. 156 с.
20. *Булаткин Г.А.* Эколого-энергетические основы оптимизации продуктивности агроэкосистем. М.: НИИ-Природа, 2008. 366 с.

AGROBIO-ENERGY EFFICIENCY OF RICE EMISSIONS DEPENDING ON THE MELIORATIVE STATE OF THE DRAFT IRRIGATION SYSTEM

© 2018 A.Kh. Sheudzhen^{1,2}, O.A. Gutorova²

¹ Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar

² All Russian Rice Research Institute, Krasnodar

The soil productivity of rice fields of the Kuban was studied and the agrobioenergetic efficiency of rice cultivation in crop rotation and permanent sowing was assessed depending on the meliorative state of the irrigation system. The highest yield of rice is achieved on high checks and higher at 12.4 c/ha than on low ones. Rice cultivation on high checks contributes to a greater accumulation of energy in the crop (115.29 vs. 95.46 GJ/ha on low checks), a higher net energy income (26.94 vs. 4.87 GJ/ha), and is the most energy-efficient (1.30 against 1.05 on low checks). The yield of rice on the permanent plot is less by 3.5-4.0 times, or by 42.2-54.6 c/ha compared to the fields of rice crop rotation. The immeasurable cultivation of rice is not energetically effective – the amount of energy stored in the crop is not comparable to the costs of anthropogenic energy (0.45).

Keywords: Kuban, productivity of rice soils, productivity, crop rotation, permanent seeding of rice, agrobioenergy efficiency.

Askhad Sheudzhen, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological, Professor, Head of the Department of Agrochemistry, Head of Precision Technologies Department. E-mail: ashad.sheudzhen@mail.ru
Oksana Gutorova, Candidate of Biology, Leading Researcher, Precision Technologies Department.
E-mail: oksana.gutorova@mail.ru