

## Современное состояние плодородия почв рисовых агроландшафтов Кубани\*

*О.А. Гуторова, к.б.н., А.Х. Шеуджен, академик РАН, д.б.н., профессор, ФГБНУ ВНИИ риса, ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ*

Технология возделывания риса обуславливает специфический водно-воздушный режим рисового поля, который приводит к изменению окислительно-восстановительного режима в почве. Вместе с ним трансформируются физические, физико-химические и биологические её свойства [1–3]. В зависимости от мелиоративного

состояния оросительной системы, строительство которой неизбежно связано с террасированием природного рельефа с превращением его склонов в огромное множество горизонтально спланированных и ступенчато расположенных рисовых чеков, почвенные процессы могут протекать по-разному [4, 5]. После затопления почвы смежные чеки вступают в гидравлическое взаимодействие, фильтрационные воды со стороны высоких чеков движутся к низким, вовлекая в это движение водо-

---

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

растворимые соли и продукты восстановительных процессов [6]. Пониженные участки характеризуются неудовлетворительными физическими и физико-химическими свойствами. Поэтому на низких чеках урожайность риса ниже на 5,3–13,3 ц/га [5, 7].

**Цель исследования** – изучить физико-химические и биологические показатели плодородия почв рисовых полей в зависимости от мелиоративного их состояния.

**Материал и методы исследования.** Исследование проведено на рисовой оросительной системе ЭСП ФГУ «Красное» Красноармейского района Краснодарского края. По геоморфологическому районированию территория предприятия входит в Кубанский дельтово-пойменный район. Рельеф представлен плавневой равниной с развитым микрорельефом. Общая равнинность нарушается наличием ериков, западин, блюдцеобразных повышений. Основная часть территории представлена рисовой оросительной системой, на которой выделены антропогенные элементы рельефа – низкие и высокие чеки. На повышенных формах рельефа расположены лугово-чернозёмные почвы, на пониженных – лугово-болотные.

На ключевых участках оросительной системы, функционирующей с 1937 г., из пахотного и подпахотного слоёв (0–20 и 21–40 см) были отобраны почвенные образцы. В них определяли гумус общий по Тюрину со спектрофотометрическим окончанием по Орлову – Гриндель, гумус водорастворимый – по Кубелю – Тиманну, подвижные соединения железа в 0,1 н растворе  $H_2SO_4$  по

методу Казариновой – Окиной в модификации Коптевой, активность каталазы – по Т.А. Щербаковой, ферриредуктазы – по А.Ш. Галстяну и Н.А. Оганесяну [8–10]. Биоэнергетическую эффективность возделывания риса оценивали по основным критериям: совокупные энергетические затраты, содержание энергии в урожае, чистый энергетический доход, биоэнергетический коэффициент, энергетическая себестоимость продукции [11, 12]. Схема проведения исследования представлена в таблице.

**Результаты исследования.** Почвы рисовых полей Кубани слабогумусные. На низких чеках лугово-болотной почвы содержание общего гумуса в пахотном слое составляло 3,60–3,92% в зависимости от предшественника риса. На высоких чеках лугово-чернозёмной почвы его количество было меньше – 3,04–3,52%, что связано с лучшими условиями аэрации, способствующими более интенсивной минерализации растительных остатков. Однако на фоне повышенной обеспеченности гумусом содержание водорастворимого органического вещества в пахотном слое лугово-болотной почвы было меньше на 0,00109–0,00166% С, что обусловлено его выносом на значительную глубину профиля почвы [13].

Лугово-чернозёмная почва, используемая под богарные культуры, малогумусная (4,15%), но содержание водорастворимого органического вещества в ней относительно небольшое (0,00321% С) по сравнению с почвами рисовых полей (0,00288–0,00569% С).

Содержание гумуса и подвижного железа в почвах рисовых агроландшафтов

Предшественник риса/угодьё	Горизонт почвы, см	Гумус, %		Подвижное железо, мг/100 г	
		общий	водорастворимый	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Высокие чеки (лугово-чернозёмная почва)					
Многолетние травы	0–20	3,52	0,00469	9,10	306,46
	21–40	2,15	0,00471	4,06	121,48
Рис, 1-й год после многолетних трав	0–20	3,50	0,00391	13,05	372,14
	21–40	2,48	0,00401	20,19	235,63
Занятой пар	0–20	3,04	0,00459	12,90	219,42
	21–40	2,90	0,00495	7,27	126,25
Низкие чеки (лугово-болотная почва)					
Многолетние травы	0–20	3,72	0,00303	20,16	196,16
	21–40	3,18	0,00252	6,48	88,31
Рис, 1-й год после многолетних трав	0–20	3,60	0,00288	26,83	177,02
	21–40	2,00	0,00301	10,11	54,73
Занятой пар	0–20	3,92	0,00299	46,58	163,07
	21–40	1,98	0,00312	60,75	151,96
Вне рисового севооборота* (лугово-чернозёмная почва)					
Поле, выведенное из-под рисосеяния	0–20	3,04	0,00261	5,88	122,03
	21–40	2,90	0,00216	5,47	130,81
Залежь	0–20	4,71	0,00646	8,00	131,00
	21–40	2,01	0,00317	30,16	42,33
Богара	0–20	4,15	0,00321	2,66	10,60
	21–40	2,35	0,00310	1,24	2,66

Примечание: \* – залежь расположена на оросительной системе с 1937 г. и никогда не вовлекалась в рисосеяние; богара находится в непосредственной близости от оросительной системы

Выведение лугово-чернозёмной почвы из рисового севооборота в суходольный клин привело к снижению общего и водорастворимого гумуса вследствие усиленной его минерализации в благоприятных условиях водно-воздушного режима.

Наибольшее количество общего и водорастворимого гумуса отмечено в залежи (4,21 и 0,00647% С соответственно), что превышало в 1,5 и 2,0 раза содержание органических веществ в почвах рисовых полей.

Исследование показало, что наиболее благоприятный окислительно-восстановительный режим рисовых почв складывался на повышенных элементах рельефа (табл.). Так, на высоких чеках лугово-чернозёмной почвы оксиды трёхвалентного железа являются преобладающими, доля которых составляла 92,11–97,12% от суммы FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. На долю двухвалентного железа приходилось лишь 2,88–7,89% от суммы. На низких чеках лугово-болотной почвы доля Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> была меньше – 71,44–90,68%, а доля FeO заметно больше – 9,32–28,56% от суммы FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

В лугово-чернозёмной почве на богарной пашне содержание подвижного железа FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не превышало 13,26 мг в пахотном и 3,90 мг/100 г в подпахотном слоях. После выведения рисового поля под богарные культуры в почве сохранились остаточные формы соединений подвижного железа, но в меньшем количестве – в 1,5–3,0 раза, чем в затопляемых почвах рисовых полей. Так, в слоях 0–20 и 21–40 см содержание суммы FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не превышало 127,91 и 136,28 мг/100 г соответственно. При этом доля FeO составляла 4,6 и 4,01%, а доля Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 95,4 и 96,0% от суммы соответственно.

В условиях залежи, расположенной на оросительной системе, создаются условия временного переувлажнения в период затопления рисовых чеков, благоприятствующие развитию анаэробных процессов, на что указывало содержание в ней подвижного железа 139,79 мг в пахотном слое и 72,49 мг/100 г в подпахотном. При этом восстановительные процессы усиливались с глубиной почвы. Так, доля FeO в слое 0–20 см составляла 6,0%, а в слое 21–40 см увеличивалась до 41,61% от суммы. Соответственно в обратном направлении изменялась доля Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 94,0 и 58,39% от суммы.

Плодородие почвы тесно связано с её ферментативной активностью. Окислительно-восстановительное состояние почв и связанные с ним физико-химические и биохимические процессы в значительной степени определяются активностью ферментов оксидоредуктаз [2]. Одним из характерных показателей этой группы является активность каталазы, действие которой направлено на расщепление пероксида водорода на воду и молекулярный кислород [2, 10]. Роль каталазы

заключается в разрушении ядовитого для растений риса пероксида водорода.

Активность каталазы в рисовых почвах Кубани варьирует в диапазоне 2,0–2,8 для пахотного горизонта и 1,2–2,0 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> на 1 г за 2 мин. для подпахотного (рис. 1). По оценочной шкале Д.Г. Звягинцева [10], они обеднены каталазой. При этом её активность ниже в лугово-болотной почве, чем в лугово-чернозёмной, на 21,7–36,0 и 15,0–25,0% соответственно в пахотном и подпахотном слоях.

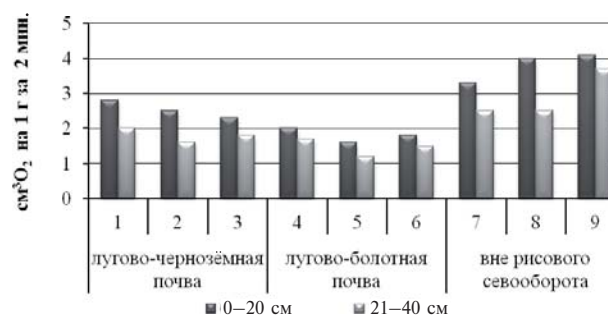


Рис. 1 – Каталазная активность почв рисовых агроландшафтов:

1, 4 – многолетние травы; 2, 5 – рис, 1-й год после многолетних трав; 3, 6 – занятой пар; 7 – поле, выведенное из-под рисосеяния с 2007 г.; 8 – залежь; 9 – богара

Поскольку каталаза отражает уровень окислительного обмена, то действие её в большей степени проявлялось в лугово-чернозёмной почве под богарными культурами. Так, активность каталазы на богаре по сравнению с рисовыми затопляемыми полями была в 2 раза больше как в пахотном, так и в подпахотном слоях почвы.

Сравнивая активность каталазы лугово-чернозёмной почвы, вышедшей из-под рисосеяния с затопляемыми почвами рисовых полей, следует отметить довольно высокие показатели в первой, что связано с улучшением её водно-воздушного режима. Но в то же время в слоях 0–20 и 21–40 см активность этого фермента ниже на 35,6 и 32,4% соответственно, чем в условиях богары.

Довольно высокая активность каталазы обнаружена в почве участка залежи, которая выше в 1,5–2,0 раза по сравнению с почвами рисовых полей. Однако этот показатель ниже на 18,4% в пахотном и на 32,4% в подпахотном слоях, чем в богарной почве.

По уровню каталазной активности участки вне рисового севооборота, в т.ч. и вышедшего из-под рисосеяния, характеризуются как средне обогащённые этим ферментом [10].

К показателям, характеризующим интенсивность биохимических процессов почвы, относится активность ферриредуктазы. Система ферриферро играет особую роль среди окислительно-восстановительных систем почв, но фермента-

тивный процесс в условиях рисосеяния изучен в слабой степени.

Наиболее характерной особенностью рисовых затопляемых почв является процесс биологического восстановления оксида железа, осуществляемого в основном ферментативным путём. Ферриредуктазы катализируют восстановление железа в почве рисовых полей. Они используют кислород оксида железа в качестве конечного акцептора электронов в цепи окислительно-восстановительных процессов в почве. При этом оксид железа восстанавливается в закисную форму:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$ . Оптимальные условия для этого создаются при одновременном наличии в почвенной среде окислённых форм железа и растворённых органических веществ [2].

Исследование показало, что сравнительно высокая способность редуцировать оксиды железа принадлежит лугово-болотной почве по сравнению с лугово-чернозёмной. На низких чеках лугово-болотной почвы ферриредуктазная активность в слое 0–20 см возрастает в 1,5–2,0 раза по сравнению с высокими чеками лугово-чернозёмной почвы. Причём довольно высокая активность этого фермента в почве сохраняется в слое 21–40 см (рис. 2).

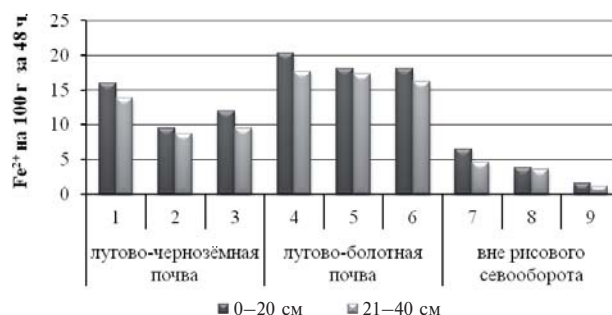


Рис. 2 – Ферриредуктазная активность почв рисовых агроландшафтов

Очень слабая активность ферриредуктазы проявилась в лугово-чернозёмной почве, используемой в богарных условиях (1,58 против 9,52–20,36 мг  $\text{Fe}^{2+}/100$  г/48 ч в рисовых почвах). На участке залежи активность этого фермента выше, чем на богаре, но значительно ниже по сравнению с почвами рисовых полей (3,81 против 9,52–20,36 мг  $\text{Fe}^{2+}/100$  г/48 ч). При этом в лугово-чернозёмной почве, вышедшей из-под рисосеяния, способность восстанавливать железо сохранена. В ней обнаружена довольно высокая активность ферриредуктазы как в пахотном, так и в подпахотном слоях почвы (6,43 и 4,56 мг  $\text{Fe}^{2+}/100$  г/48 ч соответственно).

Активность окислительно-восстановительных ферментов значительно зависела от предшествующей культуры рисового севооборота: после многолетних трав показатели каталазы и ферриредуктазы были выше, чем после 1-го года возделывания риса

и по паровому предшественнику. При этом более активно биохимические процессы протекали в пахотном слое почвы 0–20 см (рис. 1, 2).

Показатель отношения активности ферриредуктазы к активности каталазы свидетельствуют о преобладании восстановительных процессов над окислительными [2]. Этот условный показатель был значительно выше в рисовых почвах по сравнению с богарой и залежью (3,81–14,39 против 0,30–0,32 и 0,95–1,40). При этом на низких чеках лугово-болотной почвы указанное отношение окислительно-восстановительных ферментов было в 1,5–3,0 раза шире, чем на повышенных участках лугово-чернозёмной почвы (10,05–14,39 против 3,81–6,91). В последней, после выведения её из-под рисосеяния, сохраняются остаточные количества закисного железа и показатель указанного отношения довольно высокий – 1,82–1,95.

Продуктивность почв рисовых полей непосредственным образом зависит от мелиоративного их состояния. Высоту чека нельзя отнести к энергетическим или материальным факторам, влияющим на рост и развитие растений. Она лишь создаёт обстановку равных условий произрастания всех растений на рисовом поле. Наибольшая урожайность риса формируется на высоких чеках лугово-чернозёмной почвы, характеризующейся наиболее благоприятными окислительно-восстановительным режимом и физико-химическими свойствами, а также биологической активностью. В среднем за пять лет на высоких чеках урожайность риса была больше на 12,4 ц/га, чем на низких [13]. Возделывание риса на высоких чеках по сравнению с низкими повышает коэффициент биоэнергетической эффективности (1,30 против 1,05), отражающий отношение получаемой с урожаем энергии к затраченной. На высоких чеках количество энергии, накопленной в урожае риса, было больше на 19,83 ГДж, чистого энергетического дохода – на 22,07 ГДж, а энергоёмкость 1 т зерна меньше на 2,92 ГДж, чем на низких.

**Выводы.** Плодородие и продуктивность почв рисовых полей в значительной степени зависят от мелиоративного их состояния. Почвы рисовых агроландшафтов обеднены каталазой (2,0–2,8 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> на 1 г за 2 мин.), в них активизируются ферриредуктазы (9,52–20,36 мг  $\text{Fe}^{2+}/100$  г / 48 ч.), участвующие в восстановлении оксидов железа. На низких чеках лугово-болотной почвы, характеризующихся более выраженными анаэробными условиями, активность каталазы ниже на 21,7–36,0%, а активность ферриредуктазы возрастает в 1,5–2,0 раза по сравнению с высокими чеками лугово-чернозёмной почвы. В среднем за пять лет на высоких чеках урожайность риса была больше на 12,4 ц/га, чем на низких. Выращивание риса на высоких чеках энергетически эффективно – коэффициент энергоотдачи равен 1,30 против 1,05 на низких чеках.

## Литература

1. Шеуджен А.Х. Интенсивность дыхания и активность окислительно-восстановительных ферментов почв в зависимости от сельскохозяйственного использования / А.Х. Шеуджен, О.А. Гуторова, И.А. Лебедевский [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 2. С. 40–43.
2. Савич В.И. Мелиоративная и агрономическая оценка окислительно-восстановительного состояния почв / В.И. Савич, В.Г. Ларешин, Н.Н. Дубенок [и др.]: учеб. пособие. М.: Изд-во РРУДН, 2006. 482 с.
3. Гуторова О.А., Шеуджен А.Х., Хурум Х.Д. Почвенные процессы на рисовых полях Кубани // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 44. С. 59–61.
4. Система рисоводства Краснодарского края: рекомендации / Под общ. ред. Е.М. Харитоновна. Краснодар: ВНИИ риса, 2005. 340 с.
5. Попов В.А., Островский В.А. Агроклиматология и гидравлика рисовых экосистем: монография. Краснодар: КубГАУ, 2013. 189 с.
6. Зайцев В.Б. Рисовая оросительная система. 3-е изд., пераб. и доп. М.: Колос, 1975. 351 с.
7. 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.
8. Лабораторно-практические занятия по почвоведению: учеб. пособие / М.В. Новицкий, И.Н. Донских, Д.В. Чернов [и др.]. СПб.: Проспект Науки, 2009. 320 с.
9. Орлова Н.Е., Бакина Л.Г., Орлова Е.Е. Методы изучения содержания и состава гумуса. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2007. 145 с.
10. Методы почвенной микробиологии и биохимии: учеб. пособие / Под общ. ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
11. Матюк Н.С., Полин В.Д. Ресурсосберегающие технологии обработки почвы в адаптивном земледелии: учеб. пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2013. 222 с.
12. Шеуджен А.Х. Агрохимические средства оптимизации минерального питания растений и экономическая оценка эффективности их применения / А.Х. Шеуджен, А.И. Трубилин, С.В. Кизинек [и др.]. Майкоп: ООО «Полиграф Юг», 2017. 132 с.
13. Шеуджен А.Х. Влияние мелиоративного состояния на свойства почв рисовых агроландшафтов Кубани и их продуктивность / А.Х. Шеуджен, О.А. Гуторова, В.В. Аношенков [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 08 (132). С. 218–230.