

Разработка новых подходов к сохранению плодородия на рисовых агроландшафтах

Игорь Александрович Приходько, Александр Эдуардович Сергеев, Яна Алексеевна Комсюкова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия

e-mail: prihodkoigor2012@yandex.ru

Аннотация. В значительной степени пригодность почвы для возделывания сельскохозяйственных культур определяется количеством содержания гумуса. Постоянная эксплуатация земель сельскохозяйственного назначения приводит к их деградации, а именно к снижению агроресурсного потенциала земель, ухудшению агрофизических и агрохимических свойств почв, а также к значительным потерям почвенного органического вещества, в частности гумуса, и не менее важных других питательных элементов. В результате выполненных исследований, достоверность которых подтверждается методами полевого опыта по Б.А. Доспехову, доказано, что предлагаемая экологически чистая технология возделывания риса не снижает почвенное плодородие. При традиционных технологиях ежегодное снижение гумуса составляет 1,0–1,5 %. Установлено, что поддержание влажности корнеобитаемого слоя почвы на уровне 60–70 % ПВ создает оптимальные условия, позволяющие направленно воздействовать на процессы аммонификации и азотфиксации. Эффективное управление уровнем влажности в слое до 10 см позволяет аккумулировать в нем на 50–75 % больше аммиачного азота и на 25 % фосфора, чем при базовой технологии на 15–25 и 46 % соответственно, при без гербицидной технологии. Полученные корреляционные связи доказывают актуальность выполняемых нами исследований по внедрению комбинированной экологически чистой технологии возделывания риса, которая позволяет поддерживать в требуемом интервале окислительно-восстановительные реакции в почве путем управления влажностью корнеобитаемого слоя. Использование предлагаемого способа возделывания риса позволит работникам рисоводческого сектора России не только сохранить, но и повысить мелиоративное состояние почв, что обеспечит получение гарантированно высоких урожаев риса.

Ключевые слова: почвенное плодородие; рисовые поля; гумус; аммиачный азот; фосфаты; экологичные технологии.

Для цитирования: Приходько И. А., Сергеев А. Э., Комсюкова Я. А. Разработка новых подходов к сохранению плодородия на рисовых агроландшафтах // Аграрный научный журнал. 2023. № 11. С. 122–129. <http://10.28983/asj.y2023i11pp122-129>.

AGRONOMY

Original article

Development of new approaches to the preservation of soil fertility in rice agricultural landscapes

Igor A. Prihodko, Alexander E. Sergeev, Yana A. Komsyukova

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

e-mail: prihodkoigor2012@yandex.ru

Abstract. To a large extent, the suitability of soil for cultivation of agricultural crops is determined by the amount of humus content. The constant exploitation of agricultural lands leads to their degradation, namely, to a decrease in the agro-resource potential of lands, deterioration of the agrophysical and agrochemical properties of soils, as well as to significant losses of soil organic matter, in particular, humus and no less important other nutrients. As a result of the studies performed, the reliability of which is confirmed by the methods of field experience according to B.A. Dospikhov, it is proved that the proposed environmentally friendly rice cultivation technology does not reduce soil fertility, while with traditional technologies, the annual decrease in humus is 1.0–1.5 %. It has been established that maintaining the moisture content of the root-inhabited soil layer at the level of 60–70 % of the moisture content creates optimal conditions that make it possible to directly influence the processes of ammonification and nitrogen fixation. Effective control of the moisture level in the layer up to 10 cm allows to accumulate in it 50–75 % more ammonia nitrogen and 25 % phosphorus than with the basic technology



and 15–25 % and 46%, respectively, with the herbicide-free technology. The obtained correlations prove the relevance of our research on the introduction of a combined environmentally friendly rice cultivation technology, which makes it possible to maintain redox reactions in the soil within the required range by controlling the moisture content of the root layer of the soil. The use of the proposed method of rice cultivation will allow workers in the rice-growing sector of Russia not only to maintain, but also to improve the ameliorative state of the soil, which will ensure guaranteed high yields of rice.

Keywords: soil fertility; rice fields; humus; ammonia nitrogen; phosphates; environmental technologies.

For citation: Prikhodko I. A., Sergeev A. E., Komsyukova Ya. A. Development of new approaches to the preservation of soil fertility in rice agricultural landscapes. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(11):122–129. (In Russ.). <http://10.28983/asj.y2023i11pp122-129>.

Введение. Сохранение плодородия почвы при производстве сельскохозяйственной продукции всегда являлось приоритетной задачей аграриев, выполнение которой гарантирует получение стабильных и высоких урожаев сельскохозяйственных культур, что в свою очередь выступает гарантом продовольственной безопасности России. Почвообразовательные процессы в природных условиях развиваются по принципу расширенного воспроизводства. Этим же принципам следовали и традиционные способы земледелия, имитировавшие происходящие в природе процессы [10]. Однако известно, что в почвах рисовых полей в первые годы эксплуатации сокращается содержание такого органического вещества, как гумус. Этот процесс характерен для почв низовий Кубани, а также для других регионов рисосеяния в России [11]. Содержание гумуса в почве сейчас не превышает 3–4 %, вместо 5–7 %. Исследователи наблюдали уменьшение запасов гумуса на 1,9–9,6 % при выращивании риса в пятилетнем стационарном полевом опыте. С применением только минеральных туков этот процесс протекал особенно заметно. Попытки решения проблемы гумуса за счет сформированного увеличения доз вносимых минеральных удобрений при существующей агротехнике возделывания риса не имели успеха [12, 13, 14]. Подтверждением этому служат данные, полученные в результате трехлетних наблюдений за содержанием гумуса в 0–20 см слое почвы при различных технологиях производства культуры.

Целью наших исследований является сохранение агроресурсного состояния почв в зависимости от технологии возделывания риса в условиях Краснодарского края путем оценки данных многолетнего мониторинга динамики содержания гумуса и питательных элементов в почве рисового поля.

Методика исследований. Опыты по изучению различных технологий возделывания риса и их влияния на динамику содержания в почве основных элементов минерального питания проводили в 2017–2019 гг. в условиях рисовой оросительной системы Р-2-1 рисоводческого хозяйства «Славянское», основного севооборота с 50 % насыщения риса, по пласту люцерны 2-го года на картах 1, 2 и 3. Площадь делянок составляла 10 000 м². Место проведения опыта: Краснодарский край, Славянский район. Почвы опытного участка – лугово-черноземновидные.

Климат района – умеренно континентальный. Среднегодовая температура воздуха составляет +10 °С; средняя температура в январе –2 °С, в июле +24 °С. Район находится в зоне умеренного увлажнения. Среднегодовое количество осадков составляет 560 мм.

В процессе проведения опыта применяли три варианта технологии возделывания риса: 1) базовая с применением гербицидов, контроль; 2) известная без гербицидов; 3) экологически чистая, ресурсосберегающая.

В первом и втором варианте использовали мелиоративные и агротехнические методики, рекомендованные ВНИИ риса [1, 2].

Технология возделывания риса в третьем (опытном) варианте отличалась от первых двух количеством и направленностью предпосевных обработок почвы, способом ее содержания в допосевной и вегетационный периоды, а также режимом орошения не конкретной культуры – риса, а рисового поля.

В первом варианте режим орошения осуществляли по типу укороченного затопления с применением гербицидов. После внесения гербицидов проводили увлажнительные поливы с созданием минимального слоя воды, сбрасывалась вода через 30–40 суток. Далее после всходов и до фазы восковой спелости создавался постоянный слой воды.





Во втором варианте – укороченное затопление без применения гербицидов. Всходы риса получали 1–2 заливами чеков слоем воды 5–10 см. После появления одного листа (не более двух) у сорных растений – просянок снова заливали слоем воды до 25 см и в дальнейшем глубину увеличивали по мере роста просянки, так чтобы отметка поверхности воды превышала на 5–7 см сорные растения.

В третьем варианте применяли комбинированный режим орошения. Комбинированное орошение – периодическое увлажнение с постоянным затоплением. Всходы риса появлялись при периодических поливах дождеванием поливной нормой 250–300 м³/га. Далее создавался и поддерживался постоянный слой воды с переменной глубиной до фазы восковой спелости.

Содержание аммиачного азота определяли при помощи индофенолового красителя, нитратного азота – по Грандваль – Ляжу, подвижных форм фосфора и калия – по методу Ф. В. Чирикова.

Биологическую урожайность риса определяли методом учетных делянок, хозяйственную – двухфазной уборкой комбайном.

Достоверность опытных данных, их обработку проводили на основе метода математической статистики с применением дисперсионного и регрессионного анализов по Б.А. Доспехову с помощью стандартных компьютерных программ [3]. Также выполняли оценку значимости разности между средними значениями по наименьшей существенной разности (НСР).

Результаты исследований. За исследуемый трехлетний период была рассмотрена динамика содержания гумуса (% от абсолютно сухой почвы) в слое рисового поля 0–20 см при различных технологиях возделывания. При базовой технологии с применением гербицидов в первый год исследования содержание гумуса (% от абсолютно сухой почвы) составило 3,79 %, во второй год – 3,72 %, в третий – 3,67 %. При использовании известной технологии без применения гербицидов содержание гумуса составило в первый год 3,74 %, во второй – 3,66 %, в третий – 3,66 %. По экологически чистой технологии возделывания риса на протяжении трех лет – 3,78 %.

Анализ данных исследований показал, что содержание гумуса в почве базового варианта за трехлетний период последовательных посевов риса уменьшилось на 3,2 %, причем интенсивнее этот процесс протекал в последний год (1,9 %).

Было отмечено снижение запасов гумуса на 2,1 % и во втором варианте. В отличие от этого стабильными можно считать почвообразовательные процессы при возделывании риса в опытном варианте. Здесь не отмечено снижение запасов гумуса, что дает возможность их пополнения в последующем травопольном звене севооборота на 5–6 %.

При существующих технологиях возделывания риса ежегодное снижение запасов гумуса на 0,4–2,5 % не компенсируется его восполнением при двухлетней культивации люцерны и не достигает исходного уровня [5].

Азотное питание риса при затоплении, особенно в период формирования всходов, базируется в основном на аммиачной форме [7]. Сопоставление данных по урожайности риса за 3 года исследований и накоплению в почве рисового поля за предпосевной период аммиачного азота (без учета азота удобрений) свидетельствует о тесной корреляции между этими показателями (рис. 1). Зависимость носит линейный прямо пропорциональный характер [4, 8]. Для слоя почвы 0–5 см она выражена уравнением $y = 0,036x + 6,14$ (линия регрессии 1), для слоя 0–10 см – $y = 0,015x + 5,74$ (линия регрессии 2). Для риса большее значение имеет содержание аммиачного азота в слое 0–5 см, так как при его увеличении на 10 кг д.в.

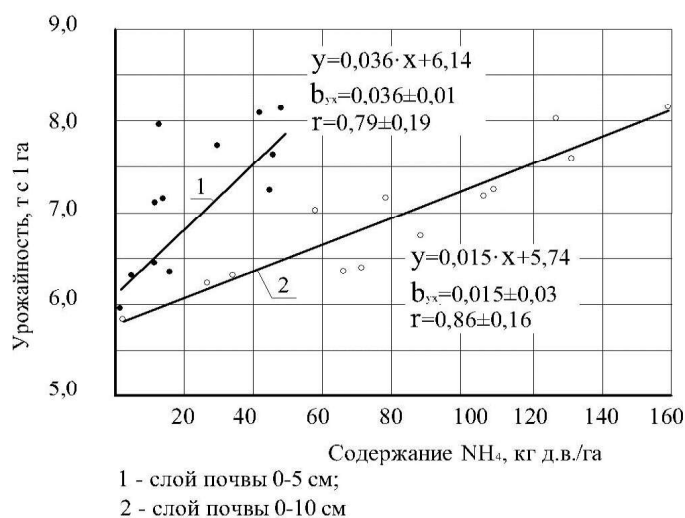


Рис. 1. Влияние накопления за предпосевной период аммиачного азота в почве на урожайность риса (за 3-летний период исследования)



на 1 га урожайность увеличивается на 3,5 ц с 1 га. При аналогичных условиях для 0–10 см слоя почвы урожай увеличивается лишь на 1,5 ц с 1 га.

Также было выявлено, что содержание в почве аммиачного азота в допосевной период зависит от ее влажности. Корреляционный анализ подтвердил устойчивость этой связи для двух принципиально различных способов содержания почвы в допосевной период (рис. 2). За период исследований это на 30–34 кг д.в. больше, чем при базовой технологии, и на 23–34 кг по сравнению с известной безгербицидной. В слое почвы 0–10 см накапливалось до 115–160 кг аммиачного азота по действующему веществу, что на 53–123 кг выше, чем в базовом варианте, и на 23–34 кг, чем во втором варианте. Выполненный корреляционный анализ показал, что влияние уровня влажности почвы на аккумуляцию аммиачного азота в почве (0–5 см) в допосевной период приобретает параболический вид (см. рис. 2).

При минимальных влагосберегающих и поверхностных предпосевных обработках почвы (на фоне выровненной зяби) и при поддержании ее влажности на уровне 60–70 % ПВ отмечались оптимальные условия, позволяющие направленно воздействовать на процессы аммонификации и азотфиксации. В результате в слое почвы 0–5 см содержание аммиачного азота к моменту посева риса (вторая декада мая) увеличивалось по сравнению с исходным (первая декада апреля) в 1,4–1,6 раза и достигало 81–85 мг/кг, или 40–50 кг д.в. на 1 га. Также были проведены наблюдения за динамикой аммиачного азота в почве рисового поля, результаты которых приведены на рис. 3.

Из представленного материала видно, что при комбинированном режиме орошения рисового поля в период прорастания культуры и практически до ее кущения в почве затухают характерные для допосевного периода микробиологические процессы, преимущественно аммонификации и азотфиксации. Через 12 дней после посева риса, в фазу одного листа, содержание азота было выше, чем в вариантах с укороченным затоплением, в слое почвы 0–5 см на 5–45 мг/кг, в слое 5–10 см – на 3–11 мг/кг и в слое 10–20 см – на 13–14 мг/кг. Аналогичное соотношение складывалось и в фазу массовых всходов и кущения риса. При многооперационных энергоемких обработках почвы, характерных для общепринятых технологий возделывания риса (первый и второй варианты), общей тенденцией являлось уменьшение исходного содержания аммиачного азота к моменту посева в слое 0–5 см в 2,2–3,3 раза, в слое 0–20 см – в 2,7–3,0 раза (см. рис. 3). При оптимальной влажности почвы в этот период порядка 40 % ПВ (18,4–20,0 % от массы сухой навески), в условиях хорошей аэрации и нарастания весенних температур, в ней преобладали нитрификационные процессы с образованием нитратного азота (рис. 4).

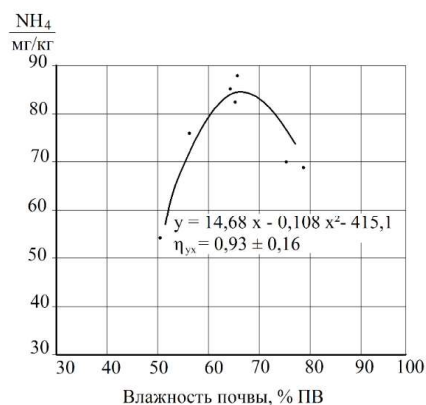


Рис. 2. Влияние уровня влажности почвы на аккумуляцию аммиачного азота в почве (0–5 см) в допосевной период (экологически чистая технология возделывания риса)

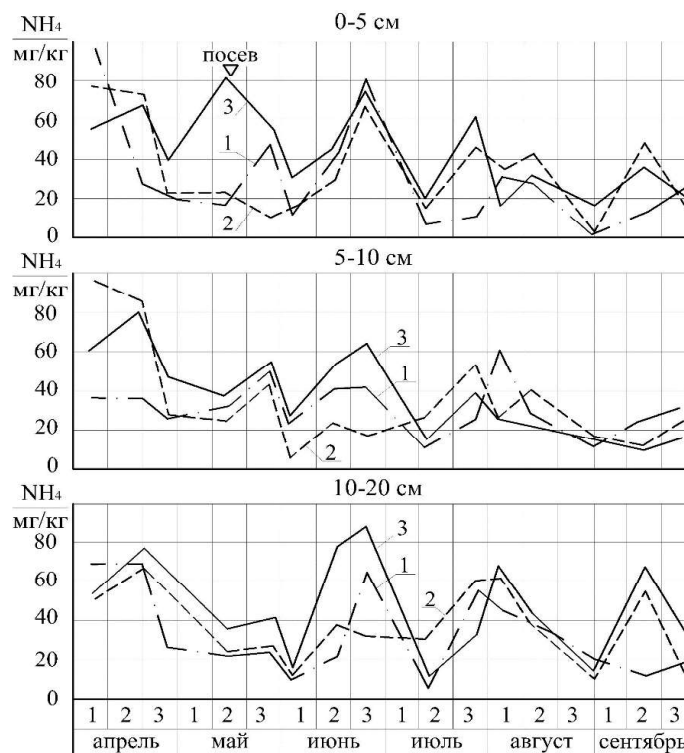


Рис. 3. Изменение содержания аммиачного азота в почве рисового поля при следующих технологиях возделывания риса: 1 – базовая с применением гербицидов; 2 – известная без применения гербицидов; 3 – экологически чистая

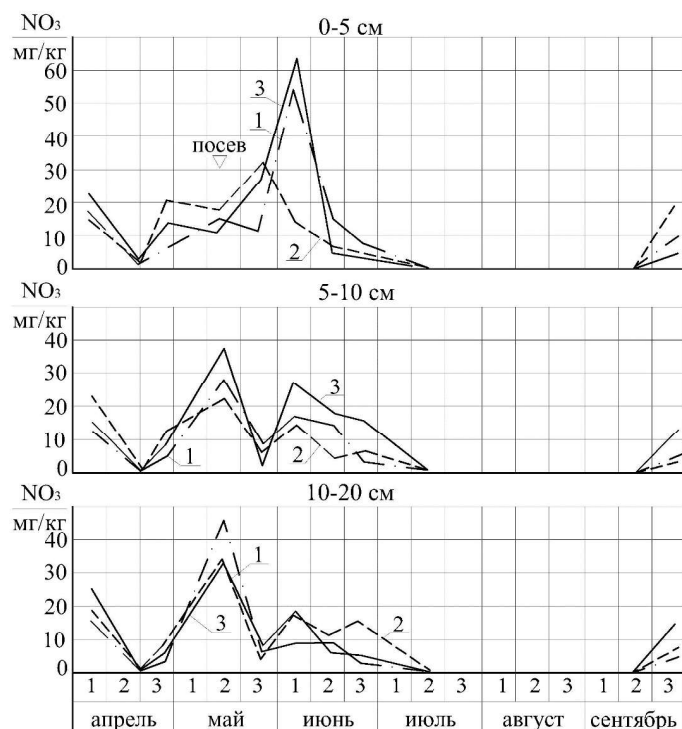


Рис. 4. Изменение содержания нитратного азота в почве рисового поля при следующих технологиях возделывания риса: 1 – базовая с применением гербицидов; 2 – известная без применения гербицидов; 3 – экологически чистая

проведением подкормки, с другой – нарастанием восстановительных условий, при которых расход органического вещества в почве заканчивается образованием аммония. Последующее снижение содержания NH_4 до минимума в фазе трубкования объясняется интенсивным его использованием, чему способствует повышение разности потенциалов в ризосфере риса. Отмеченный рост содержания аммиачного азота в более поздние фазы развития (цветения и молочной спелости) объясняется снижением его потребления растениями риса. В целом в почве опытного варианта складывался более благоприятный режим азотного питания.

Наименее устойчивой формой окислов, которые могут существовать в почве в условиях затопления, являются соединения нитратов. Они первыми подвергаются восстановлению, так как легче других отдают кислород. Взрослые растения могут потреблять нитратный азот, так как в них присутствуют ферменты, способные восстанавливать NO_3 до NH_4 . При периодических поливах рис одинаково хорошо усваивает аммиачный и нитратный азот. В условиях незатопляемой почвы NH_4 быстро нитрифицирует, и рис фактически получает нитратное питание.

Результаты наблюдений за динамикой нитратного азота в почве показывают, что при технологии возделывания риса с применением дифференцированного режима орошения рисового поля до посева 60–70 % ПВ, после посева – ПВ (прорастание) – 76–80 % НВ (всходы) – ПВ (последующие фазы вегетации) нитратное питание не имеет преимущественного значения и не отличается от других вариантов технологий возделывания данной культуры (см. рис. 4).

Динамика содержания NO_3 в вариантах опыта определяется сменой окислительно-восстановительных условий. После прекращения аэрации почвы при первоначальном затоплении нитратный азот быстро восстанавливается до свободного азота, который улетучивается в атмосферу или вымывается фильтрационным током воды. Только незначительная его часть (до 6 %) превращается в аммиачный азот.

Нитратные соединения вновь образуются после сброса воды с поверхности чека в фазу всходов в результате аэрации почвы под действием нитрифицирующих бактерий. При последующем затоплении они денитрифицируют, и содержание их снижается до полного исчезновения по всему (0–20 см) профилю почвы в начале фазы трубкования. Нитратный азот появляется в почве рисового поля лишь после осеннего сброса воды с чеков.

Следует отметить, что в варианте с комбинированным режимом орошения по сравнению с вариантами с укороченным затоплением динамика содержания аммиачного азота по слоям почвы такова: в ранние фазы вегетации (прорастание – всходы) его больше в верхнем слое 0–5 см. Это делает NH_4 более доступным для корневой системы риса и способствует увеличению урожая. По мере нарастания и углубления корневой системы происходит перераспределение его запасов. Под действием фильтрационного тока при создании в опытном варианте постоянного слоя затопления (вторая декада июня) содержание аммиачного азота в фазы массовых всходов и кущения риса выше в слоях 5–10 и 10–20 см. Таким образом, динамика накопления NH_4 и динамика формирования корневой системы риса идентичны во времени.

Максимальное содержание аммиачного азота отмечали в фазу кущения, что обуславливается, с одной стороны,





В процессе исследования без внимания не осталась и динамика фосфатов. Было выявлено, что поддержание верхнего слоя почвы опытного варианта в допосевной период, начиная с первой декады апреля, в выровненном и увлажненном состоянии способствовало переходу фосфатов в мобильное состояние. Это позволило накопить фосфора 72 кг на 1 га (по действующему веществу) к посеву риса в слое 0–5 см (в 2017 г. – 25 кг и в 2018 г. – 30,8 кг), а в слое 0–10 см – 122 кг (63,4 и 59,3 кг). Это на 54,4 и 65,0 кг больше, чем соответственно в слоях 0–5 и 0–10 см базового и на 55,7 и 70,5 кг второго вариантов. В среднем ежегодно за период исследований в слое почвы 0–10 см опытного варианта к посеву риса P_2O_5 накапливалось в количестве 81,5 кг д.в. на 1 га, что в 1,9 раза выше, чем в первом и втором вариантах (42,3 и 42,7 кг д.в. на 1 га). В результате этого создавались благоприятные условия для питания растений риса, так как он лучше усваивает фосфор почвы, чем удобрений.

В период вегетации риса на фоне общего, характерного для всех вариантов, возрастания количества подвижного фосфора наблюдали существенное его снижение в фазу кущения (2017–2018 гг.) или массовых всходов (2019 г.). В дальнейшем поглощение фосфора рисом практически прекращалось, что объясняет его аккумуляцию по всему (0–20 см) профилю почвы в фазу трубкования и созревания. Основной причиной возрастания подвижности фосфатов в затопляемых щелочных и карбонатных почвах являлось снижение диффузии газов, в результате чего происходило накопление углекислоты, в присутствии которой растворимость основных фосфатов увеличивалась.

Динамика фосфатов определяется не только интенсивностью химических и биохимических, но и биологических процессов. На усвоение рисом фосфора заметное влияние оказывает увеличение содержания в почве сероводорода. При этом поглощение и передвижение фосфора по растению ослабевает, а при высоких концентрациях H_2S он даже выделяется из корней в почву.

Проведенный корреляционный анализ (рис. 5) выявил линейную прямо пропорциональную зависимость между увеличением содержания H_2S (y) в слое почвы 0–20 см и накоплением P_2O_5 (x). Зависимость выражается уравнением $y = 0,1x + 0,6$ (линия регрессии 2) и показывает, что в расчете на 1 кг почвы при повышении концентрации сероводорода на 1 мг количество подвижного фосфора увеличивается на 10 мг.

Фосфору принадлежит важная роль в усвоении азота корнями риса. При достаточном его количестве в анаэробной и аэробной фазах дыхания повышается энергия ассимилирования NO_3 и NH_4 . При этом активизируется переработка глюкозы и фруктозы в анаэробных условиях, корни обогащаются кетокислотами, и ион NH_4^+ используется в первичном синтезе аминокислот. По-видимому, это объясняет отмеченное нами при корреляционном анализе существенное снижение содержания в почве аммиачного азота при увеличении подвижного фосфора свыше 118 мг/кг (линия регрессии 3), см. рис. 5. Это также подтверждается данными наблюдений за динамикой P_2O_5 и NH_4 в почве рисового поля. Максимальное содержание подвижного фосфора (вторая декада июля) совпадает по времени с наиболее интенсивным потреблением рисом аммиачного азота в фазу массового кущения, в результате чего его содержание по всему профилю почвы было минимальным.

Закключение. В процессе исследований было доказано, что комбинированная технология возделывания риса имеет наиболее эффективную тенденцию воспроизводства плодородия почвы. Она выражалась в сохранении на протяжении трех лет исследований содержания

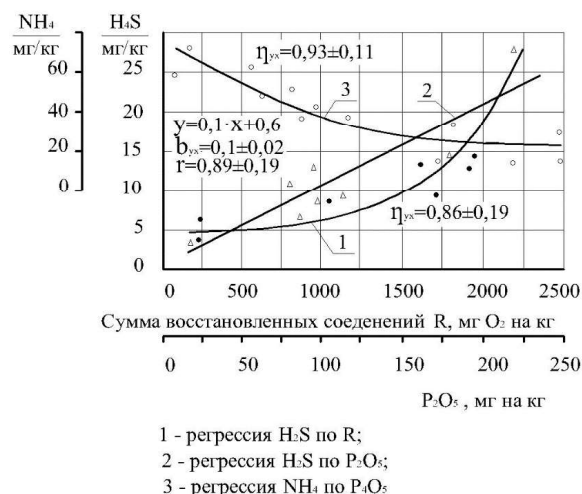


Рис. 5. Влияние суммы восстановленных соединений и подвижного фосфора на содержание сероводорода и аммиачного азота в почве (0–20 см) при экологически чистой технологии возделывания риса:
1 – регрессия H_2S по R ; 2 – регрессия H_2S по P_2O_5 ;
3 – NH_4 по P_2O_5



гумуса на уровне 3,78 % в сравнении с ежегодным его снижением на 1,0–1,5 % по базовой и безгербицидной технологиям, а также экономии минеральных удобрений (по д.в. на 1 га): азота – 50–100 кг и фосфора – до 40 кг. Это обеспечивает получение высоких урожаев риса.

Получена корреляционная связь урожайности риса и аммиачного азота, которая выражается в линейной прямо пропорциональной зависимости от количества аммиачного азота, накопившегося в почве за предпосевной период. Также установлены корреляционные связи аккумуляции аммиачного азота от влажности почвы, которые были апробированы полевыми исследованиями, включающими технологии возделывания риса по трем вариантам: базовой с применением гербицидов; без применения гербицидов; экологически чистой – комбинированной.

Теоретическая и практическая значимость проведенных исследований выражается в сохранении плодородия почв путем применения современных экологических и ресурсосберегающих технологий, позволяющих вывести рисоводческую отрасль на новый технологический уровень с получением гарантированно высоких урожаев риса.

Благодарности: исследование выполнено при поддержке РФФИ и Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № 22-17-20001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волосухин В. А., Бандурин М. А. Методика проведения инженерного мониторинга лотковых каналов оросительных систем Южного Федерального округа. Новочеркасск: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Новочеркасская государственная мелиоративная академия, 2007. 41 с. ISBN 5-10-002447-X.
2. Волосухин В. А., Бандурин М. А. Реализация мониторинга многофакторного обследования в условиях роста дефицита безопасности гидротехнических сооружений // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2017. № 1(193). С. 76–79. DOI: 10.17213/0321-2653-2017-1-76-79.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. 2-е изд., перераб. М.: Колос, 1979. 416 с.
4. Килиди А. И., Хатхоху Е. И., Александров Д. А. Аспекты ресурсосбережения в системе водораспределения на рисовые оросительные системы Кубани // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 71-2. С. 128–130. DOI: 10.18411/lj-03-2021-67.
5. Пат. 2505486 С2 Российская Федерация, МПК C02F 1/28, E02B 13/00, A01G 25/00. Способ очистки дренажного стока и устройство для его осуществления / Кузнецов Е. В., Хаджиди А. Е., Приходько И. А., Серый Д. Г.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет. № 2012110440/05; заявл. 19.03.2012; опубл. 27.01.2014.
6. Пат. 2385192 С1 Российская Федерация, МПК B05B 1/18 насадок дождевального агрегата / Щедрин В. Н., Слипич Ю. Ф., Бородычев В. В. [и др.]; заявитель Федеральное государственное научное учреждение Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации Российской академии сельскохозяйственных наук: № 2008136611/12; заявл. 11.09.2008; опубл. 27.03.2010.
7. Сидakov А. А., Бандурин М. А., Ванжа В. В. Оценка пригодности водных ресурсов водозаборных скважин для водообеспечения рисовых систем пойменных территорий // Инженерный вестник Дона. 2020. № 5(65). С. 30.
8. Соловьев Д. А., Журавлева Л. А. Ресурсосбережение при проектировании и эксплуатации дождевальных машин кругового действия // Аграрный научный журнал. 2019. № 8. С. 81–88.
9. Рыжко Н. Ф., Рыжко С. Н., Рыжко Н. В., Карпова А. В. Технические средства внесения минеральных удобрений при поливе многоопорными дождевальными машинами // Аграрный научный журнал. 2019. № 9. С. 96–100. DOI: 10.28983/asj.y2019i9pp96-100.
10. Degtyareva O. G., Datso D. A., Chebanova E. F. Numerical analysis of engineering geological elements while strengthening the base of a construction site. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2019. Vol. 10. No. 1. P. 1554–1558.
11. Prikhodko I., Verbitsky A., Vladimirov S., Safronova T. Microflora microbiological characteristics of saline soils. E3S Web of Conferences. Rostov-on-Don, 2020. P. 09010. DOI: 10.1051/e3sconf/202017509010.
12. Olgarenko V. I., Babichev A. N., Monastyrskiy V. A., Sukharev D. V. Structural and process parameters and operation principles of a precision watering device to be used on seeds during the. IOP Conference Series:

Earth and Environmental Science, Zernograd, Rostov Region, 2020. Zernograd, Rostov Region, 2021. P. 012079. DOI: 10.1088/1755-1315/659/1/012079.

13. Safronova T., Vladimirov S., Prikhodko I. Probabilistic assessment of the role of the soil degradation main factors in Kuban rice fields. E3S Web of Conferences, Rostovon-Don, 2020. Rostovon-Don, 2020. P. 09011. DOI: 10.1051/e3sconf/202017509011.

14. Solodunov A. A., Pshidatok S. K., Bandurin M. A. Monitoring of flooding of rice irrigation systems via laser scanning and digital imaging. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 2019. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. Vol. 341. P. 012101. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012101.

REFERENCES

1. Volosukhin V. A., Bandurin M. A. Methods of engineering monitoring of trough channels of irrigation systems of the Southern Federal District. – Novocherkassk: Federal State Educational Institution of Higher Professional Education Novocherkassk State Reclamation Academy; 2007. 41 p. ISBN 5-10-002447-X. (In Russ.).

2. Volosukhin V. A., Bandurin M. A. Implementation of monitoring of multifactorial examination in conditions of increasing shortage of safety of hydraulic structures. News of higher educational institutions. *The North Caucasus region. Technical sciences*. 2017; 1(193): 76–79. DOI: 10.17213/0321-2653-2017-1-76-79. (In Russ.).

3. Dospekhov B. A. Methodology of field experience. 2nd ed., pererab. M.: Kolos; 1979. 416 p. (In Russ.).

4. Kilidi A. I., Hathohu E. I., Alexandrov D. A. Aspects of resource conservation in the water distribution system for rice irrigation systems of the Kuban. *Trends in the development of science and education*. 2021;(71-2):128–130. DOI: 10.18411/lj-03-2021-67. (In Russ.).

5. Pat. 2505486 C2 Russian Federation, IPC C02F 1/28, E02B 13/00, A01G 25/00. Method of drainage drain cleaning and device for its implementation / Kuznetsov E. V., Khadjidi A. E., Prikhodko I. A., Seriy D. G.; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Kuban State Agrarian University”. No. 2012110440/05: application 19.03.2012; publ. 27.01.2014. (In Russ.).

6. Pat. 2385192 C1 Russian Federation, IPC B05B 1/18 nozzles of the sprinkler unit / Shchedrin V. N., Snipich Yu. F., Borodychev V. V. et al. ; applicant Federal State Scientific Institution Russian Research Institute of Land Reclamation Problems of the Russian Academy of Agricultural Sciences: No. 2008136611/12 ; application 11.09.2008; publ. 27.03.2010. (In Russ.).

7. Sidakov A. A., Bandurin M. A., Vanzha V. V. Assessment of the suitability of water resources of water intake wells for water supply of rice systems of floodplain territories. *Engineering Bulletin of the Don*. 2020;5(65):30. (In Russ.).

8. Solovyov D. A., Zhuravleva L. A. Resource saving in the design and operation of circular sprinkler machines. *Agrarian Scientific Journal*. 2019;(8):81–88. DOI: 10.28983/asj.y2019i8pp81-88. (In Russ.).

9. Ryzhko N. F., Ryzhko S. N., Ryzhko N. V., Karpova A. V. Technical means of applying mineral fertilizers when watering with multi-support sprinkler machines. *Agrarian Scientific Journal*. 2019;(9):96–100. DOI: 10.28983/asj.y2019i9pp96-100. (In Russ.).

10. Degtyareva O. G., Datso D. A., Chebanova E. F. Numerical analysis of engineering geological elements while strengthening the base of a construction site. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2019;10(1): 1554–1558.

11. Prikhodko I., Verbitsky A., Vladimirov S., Safronova T. Microflora microbiological characteristics of saline soils. E3S Web of Conferences. Rostovon-Don; 2020. P. 09010. DOI: 10.1051/e3sconf/202017509010.

12. Olgarenko V. I., Babichev A. N., Monastyrskiy V. A., Sukharev D. V. Structural and process parameters and operation principles of a precision watering device to be used on seeds during the. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Zernograd, Rostov Region, 2020. Zernograd, Rostov Region; 2021. P. 012079. DOI: 10.1088/1755-1315/659/1/012079.

13. Safronova T., Vladimirov S., Prikhodko I. Probabilistic assessment of the role of the soil degradation main factors in Kuban rice fields. E3S Web of Conferences, 2020. Rostovon-Don; 2020. P. 09011. DOI: 10.1051/e3sconf/202017509011.

14. Solodunov A. A., Pshidatok S. K., Bandurin M. A. Monitoring of flooding of rice irrigation systems via laser scanning and digital imaging. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 2019. Kurgan: IOP Publishing Ltd. 2019;341:012101. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012101.

Статья поступила в редакцию 13.02.2023; одобрена после рецензирования 15.03.2023; принята к публикации 22.03.2023.
The article was 13.02.2023; approved after 15.03.2023; accepted for publication 22.03.2023.

