

## МОНИТОРИНГ ПОСЕВОВ РИСА НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*Скаженник Михаил Александрович, д.б.н., старший научный сотрудник, заведующий лабораторией физиологии, ФГБНУ «Федеральный научный центр риса» E-mail: sma\_49@mail.ru*

*Чижигов Виталий Николаевич, к.с.-х.н., заведующий лабораторией агрохимии и почвоведения, ФГБНУ «Федеральный научный центр риса»*

*Петрушин Алексей Федорович, к.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории экспериментальных исследований и мониторинга агроэкосистем, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»*

*Киселев Евгений Николаевич, к. геогр. н., доцент кафедры геоинформатики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»*

*Пишеницына Татьяна Семеновна, старший научный сотрудник лаборатории физиологии, ФГБНУ «Федеральный научный центр риса»*

*Аннотация: Проведены исследования по изучению оптических свойств ценозов сортов и их связи с морфофизиологическими признаками растений и урожайностью для мониторинга состояния их посевов.*

*Ключевые слова: рис, фотосинтетическая деятельность, геоинформационный мониторинг, вегетационный индекс, беспилотный летательный аппарат, спутник, урожайность.*

**Введение.** Концепция цифровизации сельскохозяйственного производства РФ, предусматривающую выполнение мероприятий по разработке и созданию системы геоинформационного мониторинга и поддержки принятия решений в растениеводстве с развитием современных технологий дистанционного зондирования, включая использование беспилотных воздушных судов (БВС), существенно возросли возможности оценки состояния сельскохозяйственных посевов на больших площадях при одновременном уменьшении затрат на мониторинг посевов риса [1, 2]. Реализация подобных технологий вкупе с соответствующими методиками и накоплением массивов экспериментальных наблюдений позволяет повысить качество прогнозирования урожайности посевов риса и снизить затраты на мелиоративные мероприятия.

Цель исследований: изучение продукционного процесса агрофитоценозов риса и проведение их геоинформационного мониторинга для разработки методики автоматизированного картографирования состояния и прогнозирования урожайности.

**Объекты и методы исследований.** Вегетационно-микророльные опыты проводились в бетонных резервуарах площадью  $3,6 \text{ м}^2$ , заполненных лугово-черноземной почвой, взятой с рисовых чеков при разном уровне минерального питания: 1 контроль (без удобрений); 1 -  $\text{N}_{12}\text{P}_6\text{K}_6$  (средний фон); 2 -  $\text{N}_{24}\text{P}_{12}\text{K}_{12}$  (оптимальный фон); 3 -  $\text{N}_{36}\text{P}_{18}\text{K}_{18}$  (высокий фон) г д. в. на  $\text{м}^2$ . Исследовали сорта: Рапан (st), Визит, Флагман, (интенсивный тип), Станичный, Соната, Атлант (экстенсивный тип) при густоте всходов – 300 шт./ $\text{м}^2$ . Определяли индекс листовой поверхности, фотосинтетический потенциал, чистую продуктивность фотосинтеза и интенсивность образования общей фитомассы посева и отдельных органов побега. Вегетационный индекс NDVI анализировали спектрометром GreenSeeker Handheld Crop Sensor. Экспресс-контроль обеспеченности растений риса азотом определяли прибором «N-tester». Верификация оптико-биологических свойств растений проходила на тестовом полигоне для оптимизации продукционного процесса риса с помощью БВС с мультиспектральной камерой.

**Результаты и обсуждение.** Повышение урожайности посевов риса и увеличение продуктивности его сортов связано с интенсификацией и оптимизацией продукционного процесса, складывающегося из прорастания семян и образования растений, их фотосинтеза и использования образовавшихся продуктов в дыхании, в формировании вегетативных и репродуктивных органов, накопления запасных веществ [3]. О фотосинтетической деятельности посевов исследуемых сортов риса на разных фонах минерального питания судили по индексу листовой поверхности (ИЛП) и чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) в период 8 листьев-полная спелость

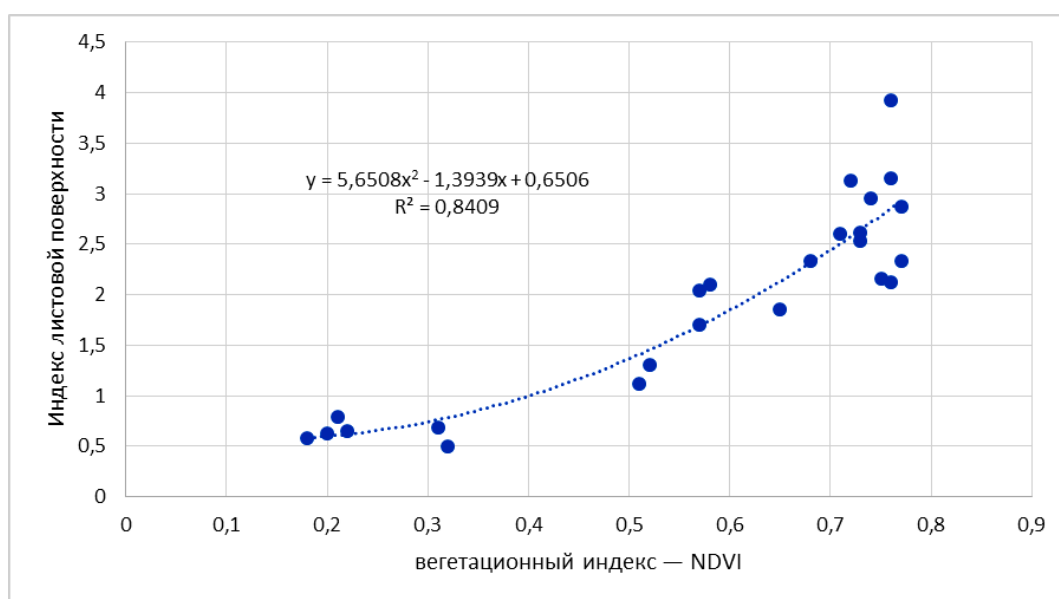
Параметры признаков индекса листовой поверхности (ИЛП) с повышением фона минерального питания возрастали и достигали оптимума на фоне  $\text{N}_{24}\text{P}_{12}\text{K}_{12}$  и избытка на  $\text{N}_{36}\text{P}_{18}\text{K}_{18}$ , а чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) при этом снижалась.

Интегральным показателем фотосинтетической деятельности посевов исследуемых сортов риса является величина образования их надземной биомассы на единице площади. Повышенная интенсивность её образования наблюдается в фазы выхода в трубку, цветения, образования и налива зерновок и в значительной степени зависит от фона минерального питания, определяющего густоту стеблестоя и надземную фитомассу посева. Сортные различия по её величине на  $1 \text{ м}^2$  на одном фоне питания были в пределах ошибки опыта.

Для оценки степени развития посевов, обычно используют их вегетационные индексы [4]. Наряду с площадью ассимиляционной поверхности и содержанием хлорофилла в растениях, вегетационный индекс является оптико-биологической характеристикой. В связи с этим встаёт необходимость по выявлению механизмов и закономерностей взаимосвязи этих признаков, что позволит с большей достоверностью получать информацию о физиологическом состоянии и продукционном процессе

сельскохозяйственных культур, используя данные дистанционного зондирования.

На внесение возрастающих доз удобрений посеvy риса отзываются, прежде всего, ростом листовой поверхности, обусловленным увеличением размеров листьев у побегов и повышением их числа на единице площади в результате кущения растений. Оптимальный уровень азотного питания растений, увеличивая содержание хлорофилла в листьях и интенсивность фотосинтеза, одновременно повышает и оптимальную величину ИЛП. В нашем опыте растения риса не достигли своей оптимальной величины ИЛП из-за возраста растений (6 листьев), но ИЛП имеет тесную связь с вегетационным индексом  $r = 0,90 \pm 0,09$ ,  $R^2 = 0,84$  (Рисунок).



**Рисунок – Взаимосвязь индекса листовой поверхности с NDVI в фазу кущения риса**

Одним из важных жизнеобеспечивающих факторов внешней среды для сортов риса является оптимальное обеспечение их посевов азотом в онтогенезе, о котором можно судить по содержанию этого элемента в надземной массе. На фоне  $N_{24}P_{12}K_{12}$  концентрация азота в растениях была в пределах оптимума [5]. Полученные данные согласуются с показаниями N-тестера, определяющего интенсивность окраски листьев в период вегетации растений и его данные тесно связаны с величинами ИЛП и фиомассой.

Значения вегетационного индекса, полученные с помощью спектрометра GreenSeeker варьировали от 0,18 до 0,77 единиц в зависимости от фона минерального питания и имели положительную связь с признаками фотосинтетической деятельности растений и их азотным статусом. Получены семь уравнений линейной регрессии, позволяющее оценить степень связи урожайности с вегетационным индексом NDVI.

Оптимальная величина вегетационного индекса находится в диапазоне 0,68-0,76 единиц и соответствует содержанию азота в надземной массе в пределах 3,97-4,41 %. Эти величины NDVI и содержания азота следует

считать оптимальными для начальной фазы кушения риса, когда развиваются боковые продуктивные побеги, и использовать их в растительной диагностике азотного питания растений в начале их кушения.

Кроме того, проведена верификация оптико-биологических свойств растений на тестовом поле № 7 (площадь 13,75 га, ОПУ «ФНЦ риса») для оптимизации продукционного процесса риса (с помощью БВС с мультиспектральной камерой и данных спутника). Предварительно растровые данные по вегетационному индексу и урожайности были совмещены в единой таблице, где каждая строка содержит информацию о географических координатах текущего пиксела, значения NDVI (3 срока) по данным БВС, спутника Sentinel и информация об урожайности.

Из краткого обзора вида частотного распределения переменных можно сделать следующие выводы. На поле 7 (сорт Фаворит) гистограммы, отражающие распределение вегетационного индекса по данным съемки с БВС и спутника Sentinel-2A в близкие даты в начале июня, объединяет их многомодальность. Последнее свойство, обнаруженное на независимых данных, может свидетельствовать о наличии некоторых специфических микромасштабных факторов, определяющих пространственное распределение посевов риса внутри поля в июне. В конце августа характер распределения NDVI меняется, что подтверждается и данными измерений: гистограмма становится близкой к унимодальной, при этом ей присуща некоторая отрицательная асимметрия (левая сторона вытянута). Анализ корреляционной матрицы переменных NDVI показал статистически среднюю связность пространственных распределений исследуемых переменных. Апробацию экспериментальной методики мониторинга посевов в 2019 г., опирающейся на средства дистанционного зондирования тестовых участков, набор исходных пространственных данных, средства геоинформационного моделирования и статистический аппарат, следует, на наш взгляд, признать удовлетворительной. Полученные результаты позволяют совершенствовать методику мониторинга состояния посевов и прогнозирования урожая риса с использованием оптических характеристик растений.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 19-416-230021.

#### **Библиографический список**

1. Шеуджен, А.Х. Агрохимический сервис: учебное пособие / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Краснодар: КубГАУ, 2019. – 21 с.
2. Точное земледелие: теория и практика / В.В. Якушев. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. – 364 с.
3. Мокроносов, А.Т. Взаимосвязь фотосинтеза и функций роста // Фотосинтез и продукционный процесс / А.Т. Мокроносов. – М.: Наука, 1988. – С. 109-121.
4. Якушев, В.П. Дистанционные методы и средства в информационном обеспечении точного земледелия: состояние и перспективы / В.П.

Якушев // Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве: материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием. Санкт-Петербург. 26-28 сентября 2018. – СПб:ФГБНУ АФИ, 2018. – С. 3-11. DOI: 10/25695/agrophisica.2018.2.18484

5. Воробьев, Н.В. Физиологические основы минерального питания риса / Н.В. Воробьев Н.В., М.А. Скаженник. – Краснодар, 2005. 194 с.

***Rice crop monitoring based on geographic information systems***

***Skazhennik M.A., D.Sc. in Biology***

*Federal Rice Research Center*

*350921, Russia, Krasnodar, Belozerny, 3*

***Chzhicov V.N., PhD in Agricultural Sciences***

*Federal Rice Research Center*

*350921, Russia, Krasnodar, Belozerny, 3*

***Petrushin A.F., PhD in Technical Sciences***

*Agrophysical Research Institute*

*195220, St. Petersburg, Grazhdansky prospect str., 14*

***Kiselev E.N., PhD in Geography***

*Kuban State University*

*350040, Krasnodar, Stavropolskaya str., 149*

***Pshenitsyna T.S., Senior Researcher***

*Federal Rice Research Center*

*350921, Russia, Krasnodar, Belozerny, 3*

***Abstract:*** *Studies have been carried out to study the optical properties of censis varieties and their relationship with the morphophysiological characteristics of plants and productivity to monitor the status of their crops.*

***Keywords:****rice, photosynthetic activity, geoinformation monitoring, vegetation index, unmanned aerial vehicle, satellite, productivity.*