Дистанционный мониторинг посевов риса и алгоритм выявления неоднородностей

Е. В. Труфляк[1], С. И. Скубиев[2], В. В. Цыбулевский[1], Н. В. Малашихин[1]

[1] *Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, 350044, Россия*
E-mail: trufliak@mail.ru

[2] *Государственный университет по землеустройству, Москва, 105064, Россия*
E-mail: skb25@mail.ru

В 2018 г. на полях ВНИИ риса проводились работы, связанные с применением дистанционных исследований качественных показателей посева риса. Для этих целей на специально выделенных (двух равнозначных) делянках был осуществлён посев некоторых сортов риса разными моделями сеялок: СН-16 (заводской вариант, который был в хозяйстве) и КЛЕН-1.5П (собрана в ООО МИП «КЛЕН-АГРО» Кубанского государственного аграрного университета). Для дистанционного наблюдения за вегетацией риса использовался беспилотный летательный аппарат DJI Phantom 4 PRO (съёмка осуществлялась как в видимом диапазоне спектра, так и в ближней ИК-зоне). Применялись также и наземные методы контрольных измерений высоты и количества растений для проведения дальнейшего сравнительного анализа полученных результатов дистанционного мониторинга. Использовалась цифровая модель местности, построенная по материалам аэрофотосъёмок с целью определения высоты растительного покрова дистанционными методами. Продольные и поперечные профили всходов на тестируемых участках заданных направлений были получены в программной среде Global Mapper 19.1. Также при анализе были использованы результаты обработки материалов съёмок в программе «КОМПАС-3D». При обработке изображений Plant Health двух участков по сеялкам СН-16 и КЛЕН-1.5П, полученных в программе DroneDeploy, применялся алгоритм, выполненный в Mathcad 15, с помощью которого определялось среднее значение кода плотности тона изображения в массиве и количество пикселей, находящихся в выбранном диапазоне. В результате проведённых экспериментов на основании наземных и дистанционных исследований определено, что после посева сеялкой КЛЕН-1.5П по сравнению с СН-16 количество всходов на 53 % выше при одной норме высева семян, высота растений больше на 17 % (перед уборкой — на 2 %), а длина метёлки перед уборкой — на 6 %, урожайность выше на 12 ц/га.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, беспилотный летательный аппарат (БПЛА), сеялка, рис, испытания, качественные показатели посева, алгоритм, статистические показатели

Одобрена к печати: 21.05.2019
DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-110-124

Введение

В 2016 г. на базе Кубанского государственного аграрного университета (ГАУ) в рамках государственного задания Минсельхоза России был создан Центр прогнозирования и мониторинга научно-технологического развития АПК в области технологий точного сельского хозяйства как постоянно действующая коммуникационная площадка для взаимодействия вузов, научных организаций и компаний соответствующего профиля.

Для мониторинга и прогнозирования сформирована сеть экспертов по точному сельскому хозяйству из научного и образовательного сообщества, бизнеса и производства (155 экспертов из 35 регионов).

Как показало проведённое среди экспертов анкетирование, 96 % из них полагают, что в ближайшие 10–15 лет приоритетом научно-технологического развития АПК будет переход к цифровым, интеллектуальным технологиям и роботизированным системам. При этом большая часть экспертов (93 %) считает, что следует ожидать экономический эффект от цифровизации АПК. 84 % опрошенных полагают, что внедрение технологий искусственного интеллекта в сельское хозяйство принесёт выгоды для бизнеса.

Мониторинг состояния посевов с использованием дистанционного зондирования 91 % экспертов считают важным технологическим трендом для обеспечения точного земледелия.

С целью освоения новых технологий по выращиванию, сохранению и уборке урожая Центр прогнозирования и мониторинга совместно с Государственным университетом по землеустройству (Москва) и ВНИИ риса (пос. Белозерный Краснодарского края) проявляют инициативу и прилагают усилия по привлечению передовых коллективов к участию в опытно-экспериментальных работах. В том числе к проведению опытных работ, связанных с дистанционным мониторингом посевных площадей на основе применения беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

БПЛА с вертикальным взлётом и посадкой (в основном это семейство коптеров, которое можно классифицировать по количеству двигателей, собственной массе, полезной нагрузке, параметрам и продолжительности полётов) играют важную роль для получения оперативной информации и картографических материалов на территорию небольших участков, отдельных полей либо хозяйств внушительных размеров и сложных конфигураций. С помощью малых, недорогостоящих БПЛА можно выявить на отдельных участках пашни недостаточную обработку удобрениями или иные серьёзные недочёты при возделывании полей. Применение БПЛА в сельском хозяйстве позволяет осуществлять видеоконтроль над территорией полёта на высотах от нескольких сантиметров до сотен метров в реальном режиме времени и одновременно производить видео- и фотофиксацию. Полученную информацию обрабатывают и преобразовывают в необходимые виды и формы для дальнейшего применения.

Материалы видео- и фотосъёмок позволяют: создавать цифровые карты полей в виде ортофото- и векторных планов; формировать карту уклонов полей; определять площади контуров; рассчитывать индекс NDVI; проводить инвентаризацию сельхозугодий; вести оперативный мониторинг состояния посевов; оценивать всхожесть сельскохозяйственных культур и их развитие; прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур; вести экологический мониторинг сельскохозяйственных земель; оценивать объёмы работ, контролировать их выполнение и др.

Возделывание риса имеет большое значение для продовольственной безопасности нашей страны. Дистанционное зондирование районов выращивания риса может не только способствовать точному картированию площадей этой культуры и оценке динамики роста, но и моделированию прогнозирования урожая, анализу болезней растений, исследованию адаптированных к борьбе с эрозией сельскохозяйственных систем (Kuenzer, Knauer, 2013).

Прогнозирование урожайности риса с помощью дистанционного зондирования представлено в работе (Chang et al., 2005), в которой изучены спектры отражения растений риса на разных фазах развития, показывающие временную изменчивость.

Ряд исследований направлен на оценку урожайности с использованием дистанционного зондирования различными подходами моделирования (Bastiaansen, Ali, 2003; Doraiswamy et al., 2004; Inoue et al., 2008 и др.). В указанных работах представлены новые модели прогнозирования урожайности, основанные на спутниковых измерениях, моделирование состояния урожайности, нормализованные спектральные индексы.

Более сложным применением данных дистанционного зондирования является моделирование роста сельскохозяйственных культур. Такие модели имитируют биофизические процессы всего цикла урожая с учётом того, что многие компоненты из почвы, атмосферы и т. д. обеспечивают непрерывное описание роста и развития растений (Doraiswamy et al., 2004). В работе (Tennakoon et al., 1992) модель разрабатывается на основе функциональных отношений для определённого разнообразия переменных в конкретной среде.

В исследованиях на посевах риса основными областями применения гиперспектральных полевых данных являются оценка и прогноз роста растения (Yang, Su, 1998; Yang, Chen, 2004) и оценка его урожайности (Inoue et al., 1998; Shibayama, Akiyama, 1991; Wiegand et al., 1989).

Однако в данных работах отсутствует адаптированный инструментарий мониторинга качественных показателей посевов риса (высота, неравномерность по длине и ширине рядка, процентное содержание растений, отстающих по развитию и др.) с использованием снимков беспилотного летательного аппарата.

Результаты работы

Дистанционное зондирование с целью оценки состояния сельскохозяйственных угодий и посевных площадей на территории Краснодарского края с разной степенью интенсивности ведётся уже не один десяток лет. Наиболее активный период работ пришёлся на середину 80-х гг. прошлого столетия. С появлением на рынке доступных беспилотных летательных аппаратов с каждым годом стала возрастать и потребность их применения в сельском хозяйстве для сбора, обработки и анализа необходимой информации. С 2015 г. такая работа стала проводиться на экспериментальных площадях ВНИИ риса, расположенного в районе пос. Белозерный в западном направлении от Краснодара (*рис. 1*).

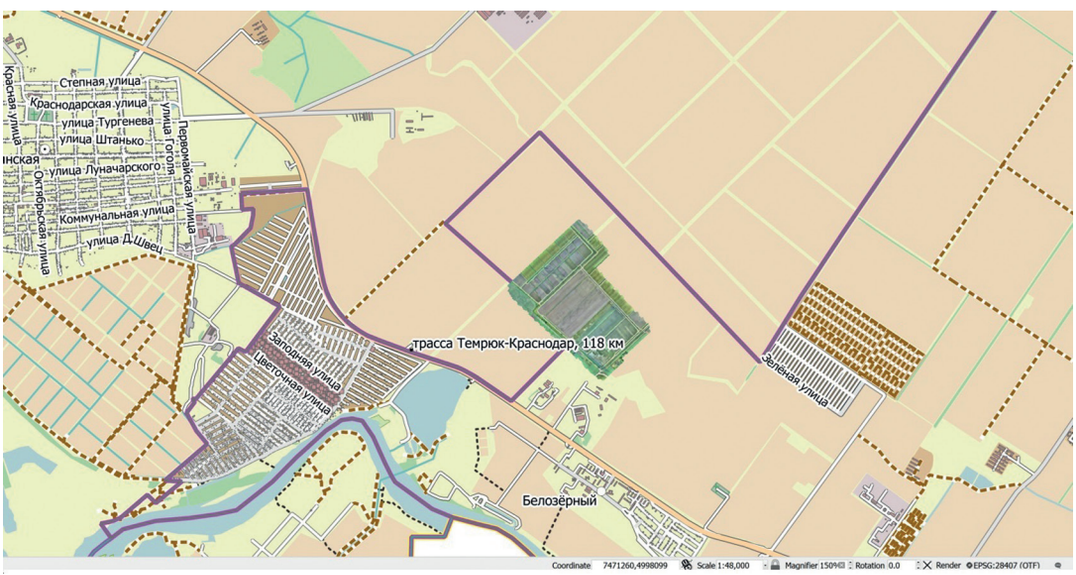


Рис. 1. Расположение экспериментальных участков полей ВНИИ риса

В 2018 г. на полях ВНИИ риса в качестве эксперимента проводился дистанционный мониторинг состояния всходов риса, посевы которого были выполнены на выделенных делянках двумя разными моделями сеялок СН-16 и КЛЕН-1.5П (*рис. 2*).

Рис. 2. Модели сеялок: СН-16 (заводской вариант, который был в хозяйстве) (*слева*); КЛЕН-1.5П (собрана в ООО МИП «КЛЕН-АГРО» Кубанского ГАУ) (*справа*)

Сеялка КЛЕН-1.5П имеет электромеханический высевающий аппарат, позволяющий в автоматическом режиме производить посев и выгрузку оставшихся семян.

Длина участка под посев каждой сеялкой была равна 80 м. Использовался сорт риса «Фаворит», норма высева которого составляла 180 кг/га.

Фотографии всходов на 60-й день после посева представлены на *рис. 3*.

а *б*

Рис. 3. Фото всходов риса на 60-й день (15.07.2018) после посева сеялкой: *а* — СН-16; *б* — КЛЕН-1.5П

Проводились наземные измерения количества всходов на 1 м и высоты всходов (*рис. 4*).

а *б*

Рис. 4. Фото наземных измерений: *а* — количество всходов на 1 м; *б* — высота всходов

Сравнительный анализ качественных показателей посева сеялками СН-16 и КЛЕН-1.5П представлен в *табл. 1*.

Таблица 1. Сравнительные результаты показателей посева сеялками СН-16 и КЛЕН-1.5П

Название культуры	Среднее значение $\overline{X}$, см	Стандартное отклонение S, см	Коэффициент вариации v, %	Ошибка выборочной средней $S_{\overline{X}}$, см	Относительная ошибка выборочной средней $S_{\overline{X}}$, %
Сеялка СН-16					
Количество всходов на 1 м, шт.	43,6	7,4	17,0	0,8	1,9
Высота всходов, мм	51,8	3,7	7,1	0,4	0,7
Сеялка КЛЕН-1.5П					
Количество всходов на 1 м, шт.	67,1	4,0	6,0	0,4	0,7
Высота всходов, мм	60,1	3,9	6,5	0,4	0,6

Для мониторинга развития риса в процессе вегетации и сравнения результатов, полученных наземными измерениями, использовался беспилотный летательный аппарат DJA Phantom 4 PRO. Высота полёта составляла 80 м.

Был разработан график полётов: в какие дни, какое время суток, с какой периодичностью необходимо осуществлять аэрофотосъёмочные работы. Перед всходами 25 мая 2018 г. была сделана топографическая аэрофотосъёмка и построен ортофотоплан с точностью 2 см в плане и по высоте (*рис. 5*). Для построения ортофотоплана использовались наземные опорные точки (около 30), которые, в свою очередь, были закреплены маркировочными знаками по всей территории экспериментальных участков. Координаты опорных точек определялись с помощью приёмника GNSS Acnovo GX9 в режиме RTK с точностью 10 мм в плане и 20 мм по высоте.

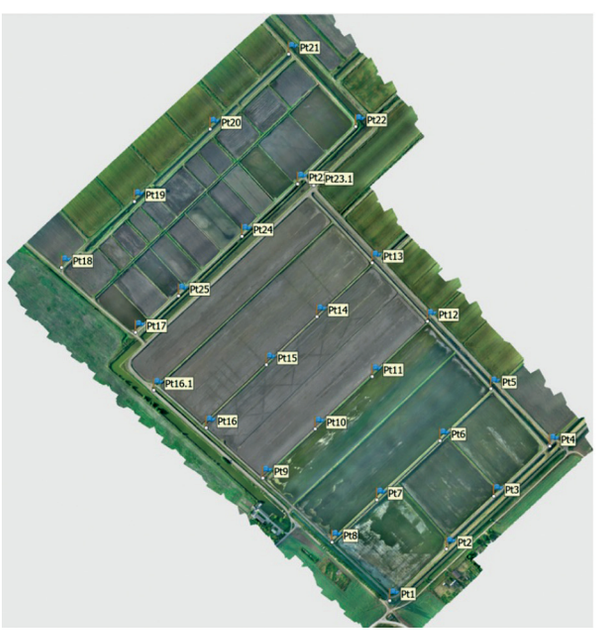


Рис. 5. Ортофотоплан экспериментальных участков ВНИИ риса; изготовлен по материалам аэрофотосъёмки от 28.05.2018

Построенный ортофотоплан (точнее, его трёхмерная модель) в дальнейшем использовался как первичный слой с уровнем открытой почвенной поверхности, относительно которой определялась высота растительного покрова на определённых этапах своего развития (*рис. 6*). Для этих целей выполнялся комплекс работ, связанный с аэрофотосъёмкой всходов растительности и получением цифрового картографического материала и трёхмерных моделей.

Рис. 6. 3D-модель территории чековых полей ВНИИ риса; получена по материалам аэрофотосъёмки от 28.05.2018

Следует отметить, что в дальнейшем видео- и аэрофотосъёмку весеннего периода можно проводить для целей выявления вторичного засоления почвенного покрова, которое проявляется после первого заполнения чеков и спуска воды (*рис. 7* и *8*).

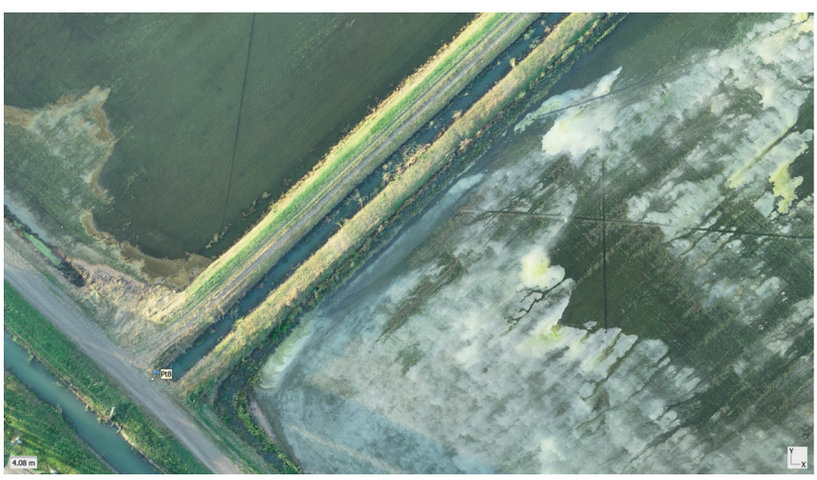


Рис. 7. Вторичное засоление почвенного покрова рисовых полей; аэрофотосъёмка от 28.05.2018

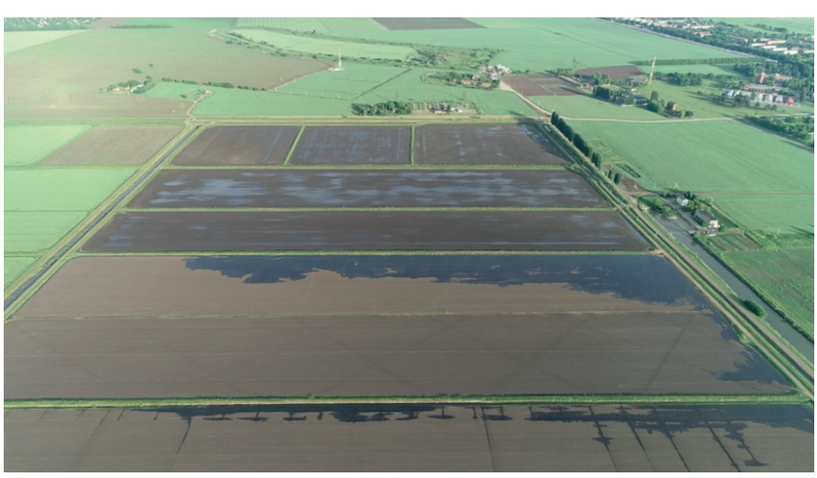


Рис. 8. Заполнение чеков ВНИИ риса водой; видеосъёмка в середине мая 2018 г.

Следующая аэрофотосъёмка была проведена 3 июля 2018 г. для оценки всходов посевных площадей (*рис. 9*). По материалам этой съёмки специалисты агрономии могут оценивать состояние и равномерность всходов и при необходимости принимать меры по устранению неблагоприятных факторов, оказывающих негативное влияние на выращивание урожая.

Впоследствии были проведены серии видео- и аэрофотосъёмочных работ, вплоть до уборки урожая, в том числе и в невидимой области спектра. Но в данной статье мы ограничимся использованием первой серии съёмок, проведённой в июле 2018 г.

Съёмка всходов, показанная на *рис. 10* и *11*, была произведена на 58-й день после посевов.

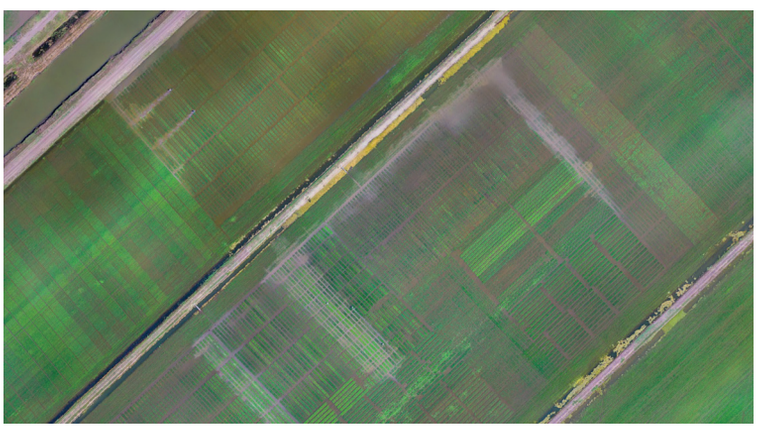


Рис. 9. Всходы посева риса; фрагмент ортофотоплана, построенного по материалам аэрофотосъёмки от 03.07.2018

Рис. 10. Всходы риса (синим и красным цветом отмечены делянки, где соответственно применялись сеялки СН-16 и КЛЕН-1.5П); аэрофотосъёмка от 12.07.2018

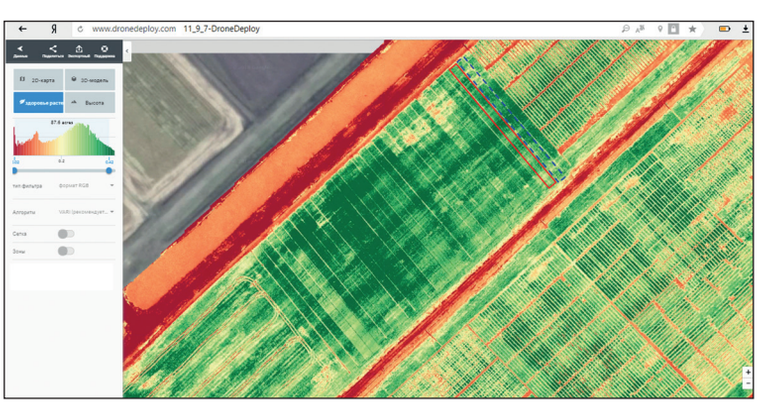


Рис. 11. Отображение всходов риса (определение Plant Health в программе DroneDeploy)

На *рис. 12* показан пример построения продольного профиля в ГИС-приложении Global Mapper 19.1. Для определения высоты растений на опытных участках использовалась трёхмерная цифровая модель (в данной иллюстрации высоты определены относительно уровня моря). Верхняя и средняя кривые линии соответствуют поверхности растительного покрова в разной стадии вегетации, нижняя кривая — это уровень поверхности почвенного покрова (приблизительно соответствует 16,5 м н. у. м.).

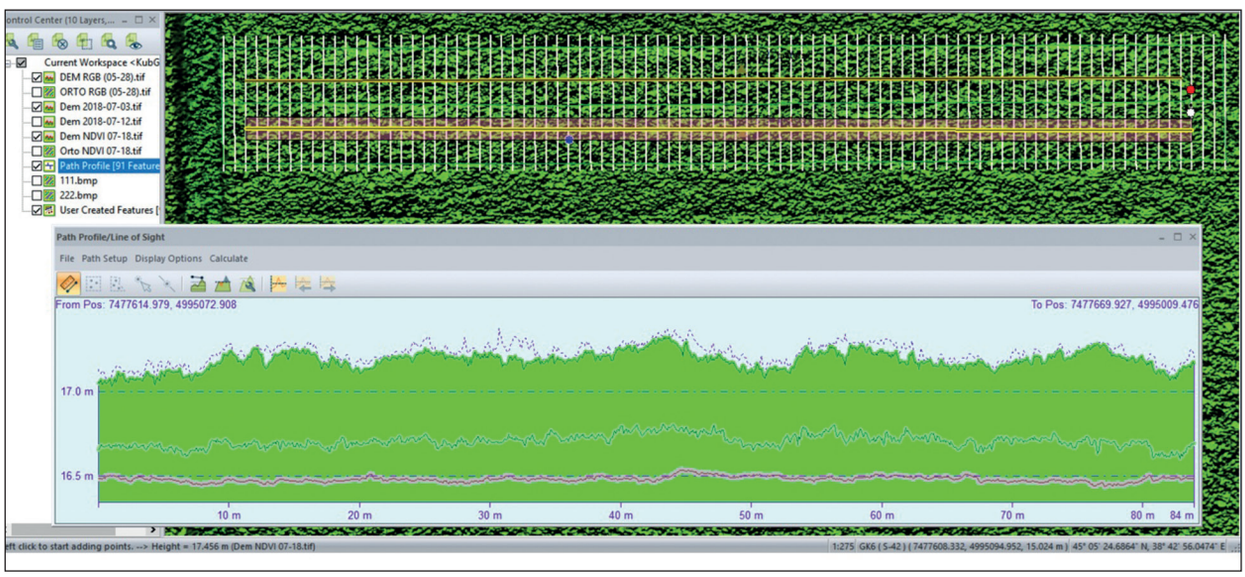


Рис. 12. Аэросъёмка растительного покрова (03.07.2018)

Возможность определения высоты растения в конкретной точке створа линии заданного направления представлена на *рис. 13*.

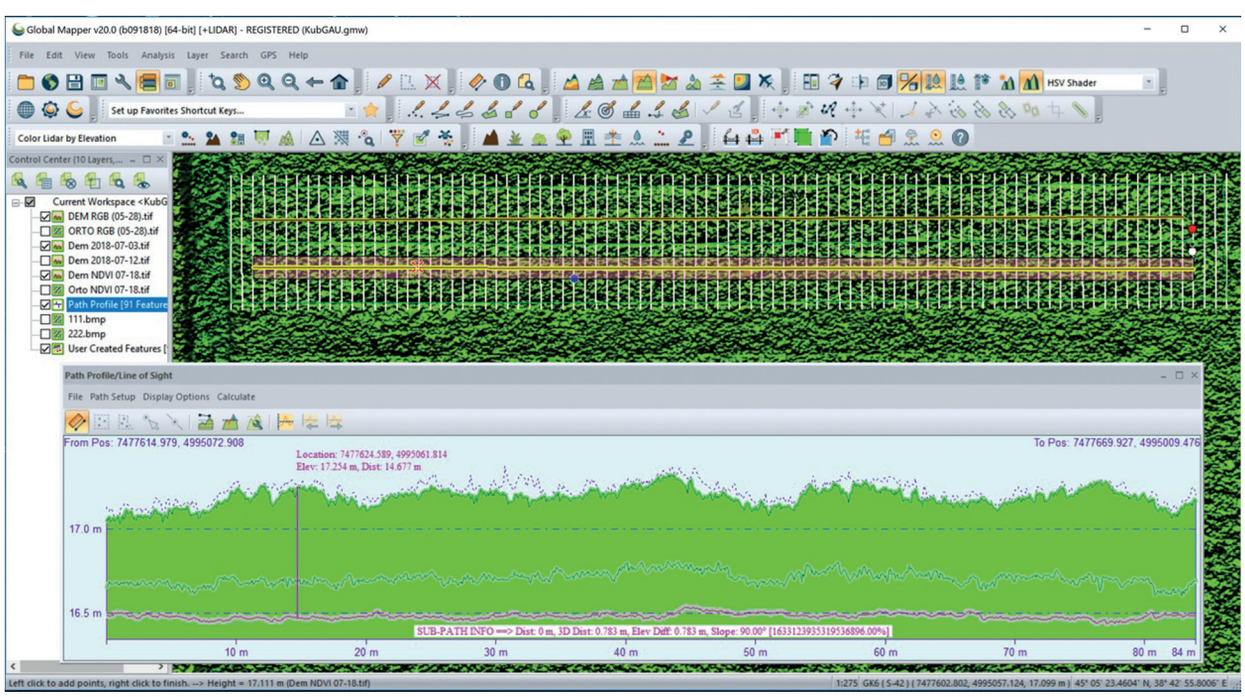
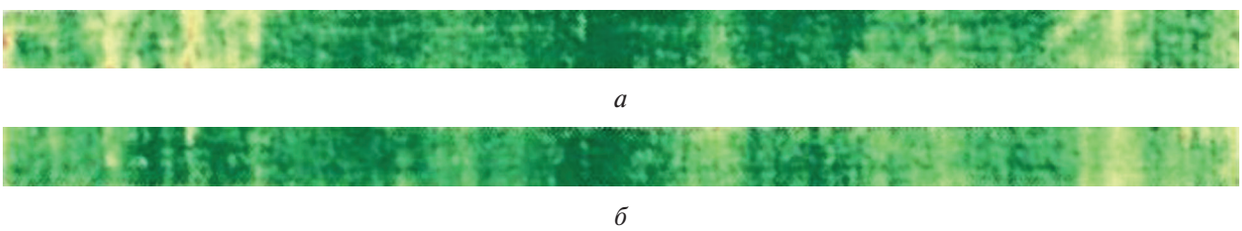


Рис. 13. Определение высоты точки кривой, соответствующей высоте растения в конкретном месте относительно уровня моря и относительно поверхности почвы (в указанном месте абсолютное значение высоты растения равно 0,783 м)

Аналитическое выражение высоты растений после посева сеялкой СН-16 имеет вид: $y = -2{,}4e^{-4}x^2 + 0{,}08x + 0{,}4$; сеялкой КЛЕН-1.5П: $y = -1{,}99e^{-4}x^2 + 0{,}06x + 6{,}98$ (x — точка измерения на продольном участке, y — высота растений). Площади продольных участков длиной 80 м между данными графиками, определённые в программе «КОМПАС-3D», показывают превышение в 2,3 раза (КЛЕН-1.5П). Сравнение поперечных участков на каждом метре демонстрирует также превышение площадей в 5 раз.

Для обработки изображений Plant Health двух участков по сеялкам СН-16 и КЛЕН-1.5П (*рис. 14*), полученных в программе DroneDeploy, использовалась программа Mathcad 15. Длина участков составляла 80 м, ширина — 5 м.

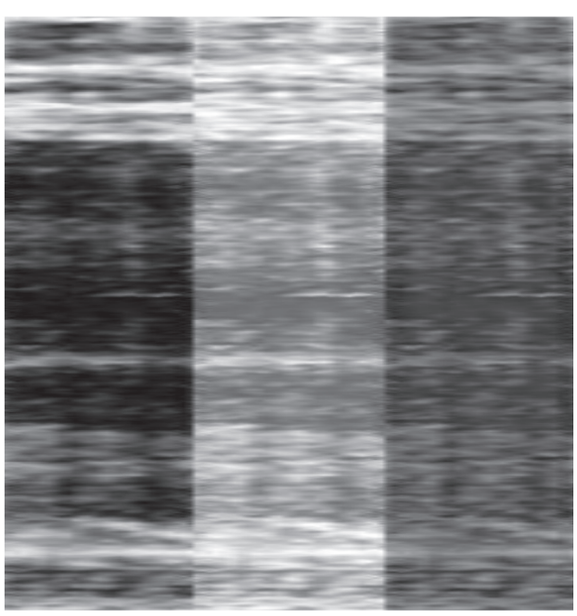


а

б

Рис. 14. Изображения Plant Health участков, посеянных сеялками: *а* — СН-16; *б* — КЛЕН-1.5П

Алгоритм обработки заключался в следующем. Обрабатывали исходную информацию в виде изображений с расширением *.jpg, указав путь их нахождения $M := \mathrm{READRGB}(\text{"d:/CH.jpg"})$ и присвоив им идентификатор “*M*” (Дьяконов, 2000). Далее выполнялась оцифровка фотографий с помощью оператора READRGB. В результате получили массив, состоящий из трёх подмассивов, которые представляют красный, зелёный и синий компоненты цветного изображения в виде плотности каждого цвета, находящейся в пределах от 0 до 255 (*рис. 15*).



M

Рис. 15. Массив *M*

Затем вычисляли размер полученного массива.

Общее количество столбцов в массиве *M* (Дьяконов, 2000): $\mathrm{cols}(M) = 90$.

Число столбцов в массиве цвета: $w := \dfrac{\mathrm{cols}(M)}{3}$; $w = 30$.

Число строк общее: $\mathrm{rows}(M) = 637$.

Далее рассматривали матрицу G зелёного цвета, так как она наиболее наглядно указывает на разницу цветов развития растений.

Оператором submatrix выделили из массива M массив G, несущий информацию плотности зелёного цвета. Применяя операторы cols(G) и rows(G), определили размеры полученного массива G.

$G := \mathrm{submatrix}(M, 1, \mathrm{rows}(M), w+1, 2w)$;

$zp := \mathrm{mean}(G)$ — среднее значение плотности G;

$zp = 169.113$;

$ni := \mathrm{rows}(G)$;

$nj := \mathrm{cols}(G)$;

$ni = 637$;

$nj = 30$.

Получили плотность массива зелёного цвета и элементы цифровой матрицы:

$$G = \begin{array}{c|ccccccccccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 \\ \hline 1 & 229 & 228 & 231 & 226 & 229 & 231 & 235 & 238 & 235 & 222 & 205 & 186 & 169 \\ 2 & 222 & 220 & 226 & 223 & 228 & 233 & 236 & 240 & 237 & 227 & 213 & 197 & 179 \\ 3 & 221 & 219 & 226 & 225 & 229 & 234 & 236 & 236 & 236 & 232 & 221 & 204 & 195 \\ 4 & 229 & 223 & 226 & 226 & 233 & 238 & 235 & 236 & 239 & 242 & 239 & 221 & 221 \\ 5 & 225 & 212 & 215 & 222 & 229 & 234 & 231 & 227 & 235 & 242 & 240 & 231 & 229 \\ 6 & 234 & 219 & 202 & 206 & 219 & 227 & 225 & 221 & 227 & 235 & 239 & 227 & 239 \\ 7 & 222 & 205 & 194 & 190 & 202 & 213 & 208 & 206 & 205 & 205 & 202 & 208 & 202 \\ 8 & 222 & 203 & 200 & 198 & 206 & 211 & 204 & 197 & 191 & 183 & 179 & 176 & 167 \\ 9 & 230 & 212 & 211 & 215 & 215 & 203 & 189 & 176 & 166 & 158 & 157 & 139 & 138 \\ 10 & 236 & 220 & 212 & 214 & 208 & 196 & 176 & 159 & 145 & 135 & 132 & 138 & 136 \\ 11 & 228 & 211 & 199 & 196 & 192 & 184 & 167 & 150 & 130 & 118 & 114 & 136 & 130 \\ 12 & 212 & 188 & 183 & 182 & 182 & 178 & 169 & 151 & 135 & 128 & 130 & 143 & 137 \\ 13 & 201 & 175 & 177 & 179 & 179 & 173 & 164 & 150 & 137 & 141 & 151 & 160 & 160 \\ 14 & 194 & 189 & 180 & 189 & 181 & 173 & 174 & 167 & 155 & 146 & 152 & 178 & \ldots \end{array} \quad (1)$$

Оператором submatrix выделили в данном массиве G наиболее ярко выраженные места по плотности зелёного цвета (близкие к 255), выражающего неразвитые растения. Получили массив $G1$ (2):

$$G1 = \begin{pmatrix} 250 & 255 & 255 & 255 & 248 \\ 249 & 255 & 255 & 255 & 249 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Далее определяли среднее значение кода плотности (KOL) светлого цвета в массиве $G1$ и количество пикселей, находящихся в выбранном диапазоне. Зная размеры матрицы, определяли процентное содержание растений, отстающих по развитию в данный вегетативный период (на основании данных Plant Health программы DroneDeploy).

Полученные результаты показывают меньшее количество (в 2,5 раза) отстающих по развитию растений на участке, посеянном сеялкой КЛЕН-1.5П. Это может быть связано с улучшением качественных показателей посева данной модели (равномерная глубина заделки и распределение семян по площади питания с применением одновременного прикатывания, использование электромеханического высевающего аппарата).

Анализ развития растений в программе Global Mapper 19.1 подтверждает полученные данные. На *рис. 16* холодные тона характеризуют менее высокий растительный покров, тёплые тона — более высокий. В целом, судя по тональности, на нижнем участке растительность более развитая.

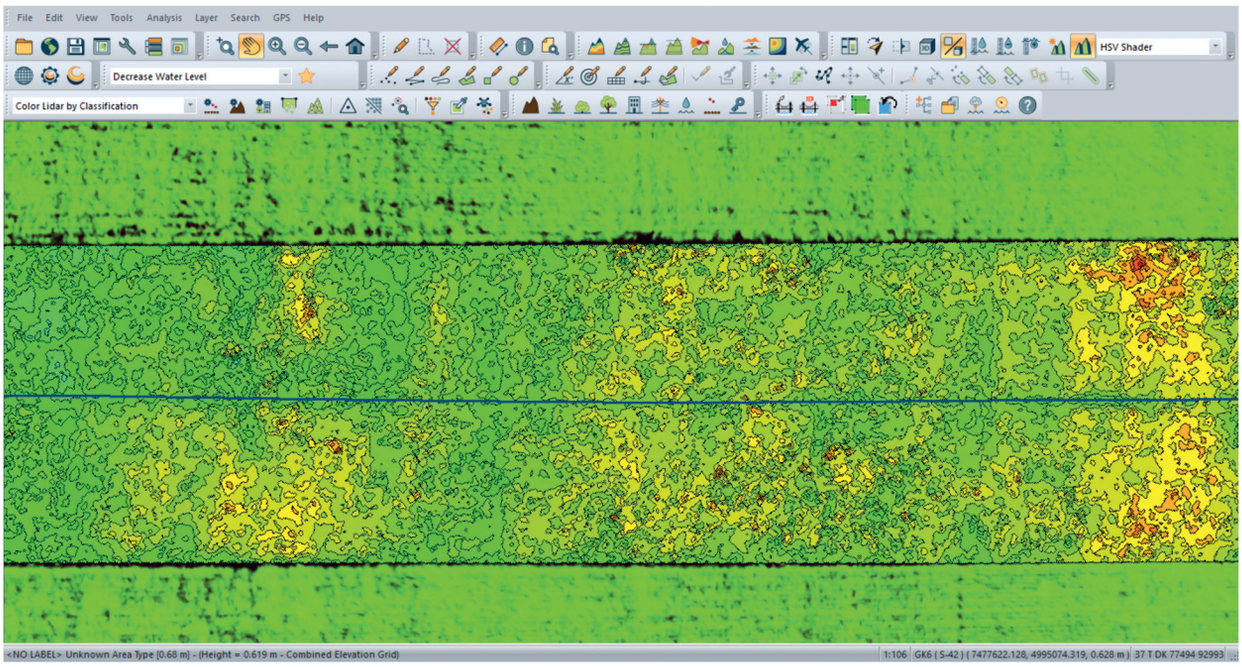


Рис. 16. Развитие роста растений на участках: посевы сеялкой СН-16 (*сверху*), посевы сеялкой КЛЕН-1.5П (*снизу*)

Следует отметить такую функцию программы, как определение площадей участков растительного покрова в установленных диапазонах колебания высот. На *рис. 17* показаны границы участков растительного покрова средних уровней высот, разности которых (для оптимального визуального восприятия) составляют 10 см. Уменьшение разности высот приводит к естественному увеличению количества контуров и уменьшению их площади. Возможность определения площадей растительного покрова с разным уровнем развития стеблестоя позволяет выходить на более точные прогнозы выращивания и сбора урожая.

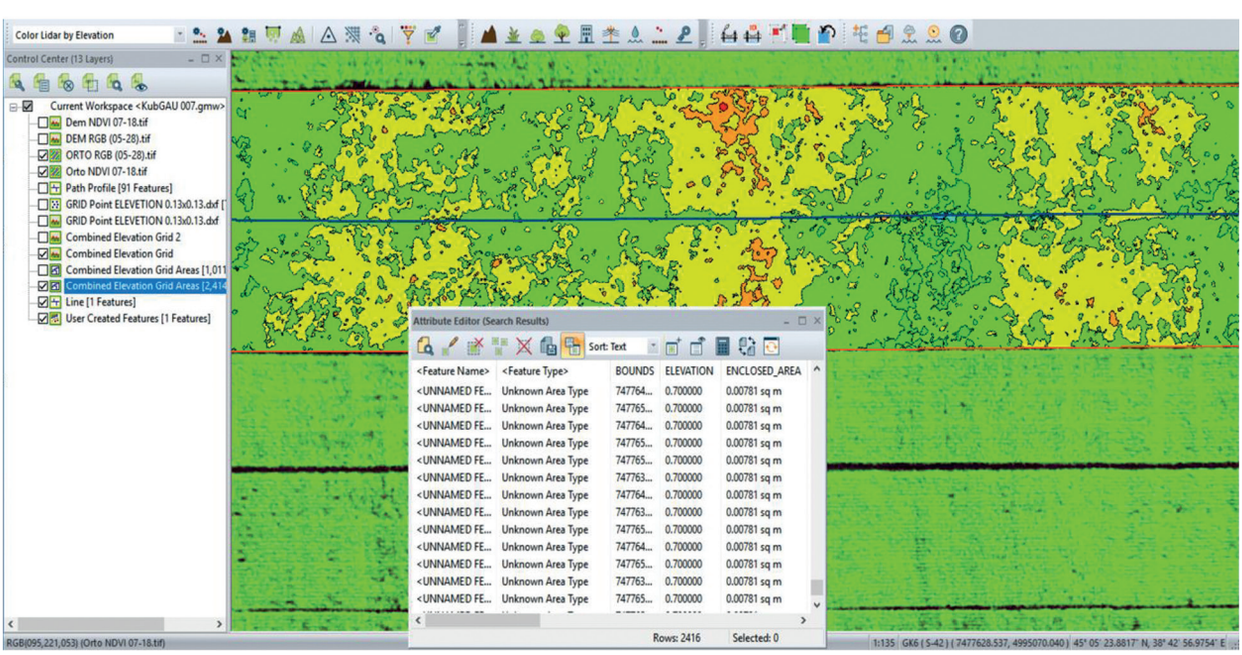
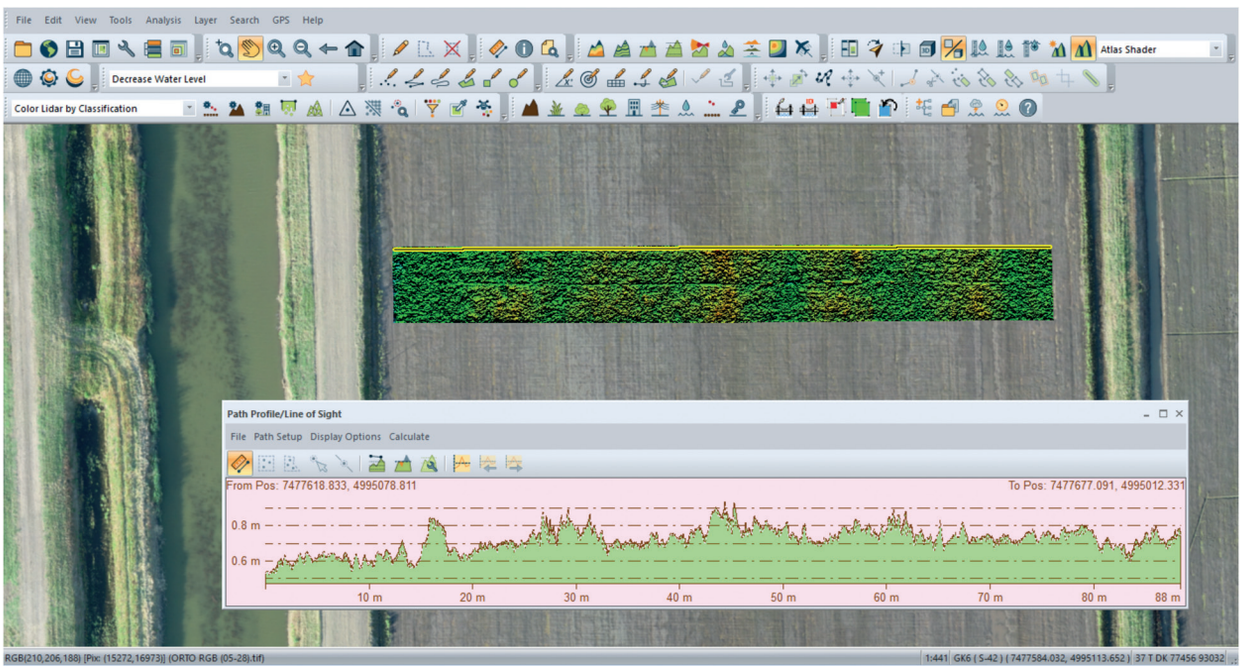


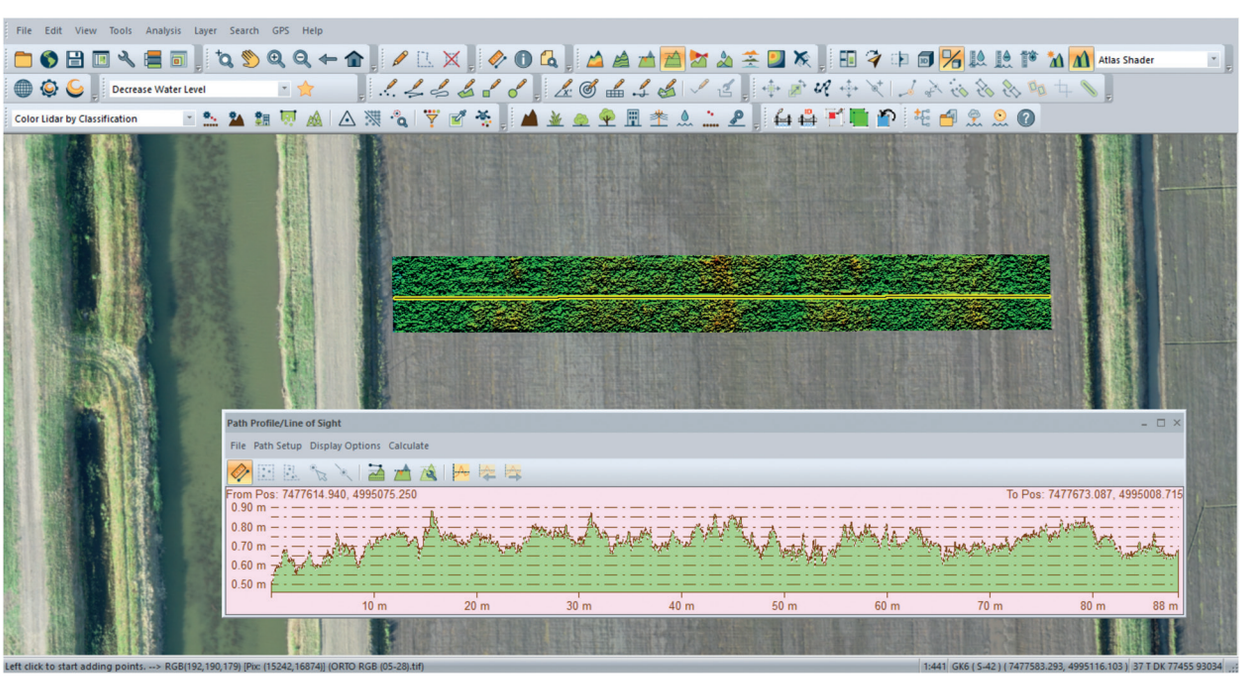
Рис. 17. Определение площадей посевов с разным развитием

На *рис. 18* представлены сравнения продольных высот растений в абсолютных значениях, полученных в программе Global Mapper 19.1.

Уборка посеянных участков осуществлялась 10 октября 2018 г. комбайном DKC 685.



а



б

Рис. 18. Сравнение высоты растений, полученных на участках, посеянных сеялками: *а* — СН-16; *б* — КЛЕН-1.5П

Сравнивая результаты статистической обработки данных высоты стеблей риса перед уборкой, можно заметить, что этот показатель у растения, посеянного сеялкой КЛЕН-1.5П, на 2 % больше, а показатель по длине метёлки выше на 6 % (*табл. 2*).

Таблица 2. Результаты статистической обработки данных высоты стеблей и длины метёлки риса перед уборкой

Сеялка	Статистические показатели									
	Среднее арифметическое значение $\overline{X}$, см		Стандартное отклонение S, см		Коэффициент вариации v, %		Ошибка выборочной средней $S_{\overline{X}}$, см		Относительная ошибка выборочной средней $S_{\overline{X}}$, %	
	высота стеблей	длина метёлки	высота стеблей	длина метёлки	высота стеблей	длина метёлки	высота стеблей	длина метёлки	высота стеблей	длина метёлки
СН-16	**93**	**17**	6	0,7	6	4	0,6	0,2	0,6	0,2
Клен-1.5П	**95**	**18**								

Заключение

Обобщая результаты сравнительного анализа качественных показателей работы сеялок КЛЕН-1.5П и СН-16 при посеве риса с применением дистанционного зондирования Земли, можно резюмировать, что с использованием модели КЛЕН-1.5П время посева одного прохода сократилось на 12 %; время выгрузки семян из бункера уменьшилось на 24 %; количество всходов на 1 м оказалось больше на 53 % при одной норме высева семян; высота растений больше на 17 % (перед уборкой — на 2 %); длина метёлки перед уборкой — на 6 %; урожайность выше на 12 ц/га.

Предложен алгоритм выявления неоднородностей и анализа полученных результатов.

Полученные площади продольных участков между поверхностью поля и кривой, соединяющей наивысшие точки растений, определённые в программах Global Mapper и «КОМПАС-3D», показывают превышение в 2,3 раза на участке, посеянном моделью КЛЕН-1.5П. Сравнение поперечных участков на каждом метре выявило также превышение площадей в 5 раз.

При обработке изображений Plant Health, полученных в программе DroneDeploy, предложен алгоритм для определения среднего значения кода плотности тона изображения в массиве и количества пикселей, находящихся в выбранном диапазоне (алгоритм выявления неоднородностей). Зная размеры матрицы, определяли процентное содержание растений, отстающих по развитию в данный вегетативный период. Результаты показывают меньшее количество (в 2,5 раза) отстающих по развитию растений на участке, посеянном сеялкой КЛЕН-1.5П. Полученные данные позволяют прогнозировать будущую урожайность с использованием результатов съёмки БПЛА.

Литература

1. *Дьяконов В.* Mathcad 2000: учеб. курс. СПб.: Питер, 2000. 592 с.
2. *Bastiaansen W. G. M.*, *Ali S.* A New Crop Yield Forecasting Model Based on Satellite Measurements Applied Across the Indus Basin, Pakistan // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2003. V. 94. No. 3. P. 321–340.
3. *Chang K. W.*, *Shen Y.*, *Lo J. C.* Predicting Rice Yield Using Canopy Reflectance Measured at Booting Stage // Agronomy Jl. 2005. V. 97. No. 3. P. 872–878. DOI: 10.2134/agronj2004.0162.
4. *Doraiswamy P. C.*, *Hatfield J. L.*, *Jackson T. J.*, *Akhmedov B.*, *Prueger J.*, *Stern A.* Crop Condition and Yield Simulations Using Landsat and MODIS // Remote Sensing of Environment. 2004. V. 92. No. 4. P. 548–559.
5. *Inoue Y.*, *Moran M. S.*, *Horie T.* Analysis of Spectral Measurements in Paddy Field for Predicting Rice Growth and Yield Based on a Simple Crop Simulation Model // Plant Production Science. 1998. V. 1. No. 4. P. 269–279.
6. *Inoue Y.*, *Penuelas J.*, *Miyata A.*, *Mano M.* Normalized Difference Spectral Indices for Estimating Photosynthetic Efficiency and Capacity at a Canopy Scale Derived from Hyperspectral and CO_2 Flux Measurements in Rice // Remote Sensing of Environment. 2008. V. 112. No. 1. P. 156–172.

7. *Kuenzer C.*, *Knauer K.* Remote sensing of rice crop areas // Intern. J. Remote Sensing. 2013. V. 34. No. 6. P. 2101–2139.
8. *Shibayama M.*, *Akiyama T.* Estimating Grain Yield of Maturing Rice Canopies Using High Spectral Resolution Reflectance Measurements // Remote Sensing of Environment. 1991. V. 36. No. 1. P. 45–53.
9. *Tennakoon S. B.*, *Murty V. V. N.*, *Eiumnoh A.* Estimation of Cropped Area and Grain Yield of Rice Using Remote Sensing // Intern. J. Remote Sensing. 1992. V. 13. No. 2. P. 427–439.
10. *Wiegand C.*, *Shibayama M.*, *Yamagata Y.*, *Akiyama T.* Spectral Observations for Estimating the Growth and Yield of Rice // Japanese J. Crop Science. 1989. V. 58. No. 4. P. 673–683.
11. *Yang C. M.*, *Su M. R.* Correlation of Spectral Reflectance to Growth in Rice Vegetation // 19th Asian Conf. Remote Sensing. Manila, Philippines, Nov. 16–20 1998. 1998. 6 p.
12. *Yang C. M.*, *Chen R. K.* Modeling Rice Growth with Hyperspectral Reflectance Data // Crop Science Society of America. 2004. V. 44. No. 4. P. 1283–1290. DOI: 10.2135/cropsci2004.1283.

Rice crops remote monitoring and heterogeneities detection algorithm

E. V. Truflyak[1], S. I. Skubiev[2], V. V. Tsybulevsky[1], N. V. Malashikhin[1]

[1] *Kuban State Agrarian University*, *Krasnodar 350044*, *Russia*
E-mail: trufliak@mail.ru
[2] *State University of Land Management*, *Moscow 105064*, *Russia*
E-mail: skb25@mail.ru

In 2018, the work related to the use of rice seed quality indicators remote research was carried out in the fields of All-Russian Research Institute of Rice (ARRIR). For these purposes some varieties of rice were sown on two specially allocated equivalent plots with different models of seeders: CH-16 (factory version, which was on the farm) and KLEN-1.5P (assembled at Ltd SIE KLEN-AGRO KubSAU). For rice growing season remote monitoring, a DJI Phantom 4 PRO unmanned aerial vehicle was used (the survey was carried out both in the visible spectrum and in the near-IR zone). Ground-based methods of control measurements of the height and number of plants were also used for further comparative analysis of remote monitoring results. Digital terrain model based on aerial photography was used to determine the vegetation cover height by remote methods. Longitudinal and transverse profiles of seedlings on the test areas of specified directions were obtained in the Global Mapper 19.1 software environment. The results of filming in KOMPAS-3D program material processing were also used. When processing Plant Health images of two plots (CH-16 and KLEN-1.5P seeders) obtained by Drone Deploy program, an algorithm, performed in Mathcad 15 program, was used, with the help of which the average value of the image tone density code in the array and the number of pixels in the selected range were determined. As a result of conducted experiments, it was determined that after sowing with KLEN-1.5P seeder comparing to CH-16 seeder based on ground and remote studies, the number of shoots is 53 % more with the same seeding rate, plant height is 17 % more (before harvesting 2 %); panicle length before harvesting is 6 % more; yield is more by 12 centners per hectare.

Keywords: remote sensing, unmanned aerial vehicle (UAV), seeder, rice, tests, quality sowing indicators, algorithm, statistical indicators

Accepted: 21.05.2019
DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-110-124

References

1. D'yakonov V., *Mathcad 2000: uchebnyi kurs* (Mathcad 2000: training course), Saint Petersburg: Piter, 2000, 592 p.
2. Bastiaansen W. G. M., Ali S., A New Crop Yield Forecasting Model Based on Satellite Measurements Applied Across the Indus Basin, Pakistan, *Agriculture*, *Ecosystems and Environment*, 2003, Vol. 94, No. 3, pp. 321–340.

3. Chang K. W., Shen Y., Lo J. C., Predicting Rice Yield Using Canopy Reflectance Measured at Booting Stage, *Agronomy J.*, 2005, Vol. 97, No. 3, pp. 872–878, DOI: 10.2134/agronj2004.0162.
4. Doraiswamy P. C., Hatfield J. L., Jackson T. J., Akhmedov B., Prueger J., Stern A., Crop Condition and Yield Simulations Using Landsat and MODIS, *Remote Sensing of Environment*, 2004, Vol. 92, No. 4, pp. 548–559.
5. Inoue Y., Moran M. S., Horie T., Analysis of Spectral Measurements in Paddy Field for Predicting Rice Growth and Yield Based on a Simple Crop Simulation Model, *Plant Production Science*, 1998, Vol. 1, No. 4, pp. 269–279.
6. Inoue Y., Penuelas J., Miyata A., Mano M., Normalized Difference Spectral Indices for Estimating Photosynthetic Efficiency and Capacity at a Canopy Scale Derived from Hyperspectral and CO_2 Flux Measurements in Rice, *Remote Sensing of Environment*, 2008, Vol. 112, No. 1, pp. 156–172.
7. Kuenzer C., Knauer K., Remote sensing of rice crop areas, *Intern. J. Remote Sensing*, 2013, Vol. 34, No. 6, pp. 2101–2139.
8. Shibayama M., Akiyama T., Estimating Grain Yield of Maturing Rice Canopies Using High Spectral Resolution Reflectance Measurements, *Remote Sensing of Environment*, 1991, Vol. 36, No. 1, pp. 45–53.
9. Tennakoon S. B., Murty V. V. N., Eiumnoh A., Estimation of Cropped Area and Grain Yield of Rice Using Remote Sensing, *Intern. J. Remote Sensing*, 1992, Vol. 13, No. 2, pp. 427–439.
10. Wiegand C., Shibayama M., Yamagata Y., Akiyama T., Spectral Observations for Estimating the Growth and Yield of Rice, *Japanese J. Crop Science*, 1989, Vol. 58, No. 4, pp. 673–683.
11. Yang C. M., Su M. R., Correlation of Spectral Reflectance to Growth in Rice Vegetation, *19th Asian Conf. Remote Sensing*, Manila, Philippines, Nov. 16–20 1998, 1998, 6 p.
12. Yang C. M., Chen R. K., Modeling Rice Growth with Hyperspectral Reflectance Data, *Crop Science Society of America*, 2004, Vol. 44, No. 4, pp. 1283–1290, DOI: 10.2135/cropsci2004.1283.