

HCP₀₅ 1-й настоящий лист 0,071 %
HCP₀₅ бутонизация 0,066 %

HCP₀₅ цветение 0,066 %
HCP₀₅ плодообразование 0,059 %

HCP₀₅ побурение плодов 0,051 %

Рисунок 6 – Влияние бактериальных препаратов на динамику содержания фосфора в растениях гречихи (среднее, 2012–2014 гг.)

Литература

- Сельское хозяйство Республики Беларусь: сб. ст. / председатель редкол.: И. В. Медведева; Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2017. – 233 с.
- Анохин, А. Н. Гречиха на полях Белоруссии / А. Н. Анохин. – Минск: Ураджай, 1984. – 80 с.
- Савицкий, К. А. Гречиха / К. А. Савицкий. – М.: Колос, 1970. – 312 с.
- Якименко, А. Ф. Гречиха / А. Ф. Якименко. – М.: Колос, 1982. – 196 с.
- Алексеева, Е. С. Технология возделывания гречихи : учеб. пособие / Е. С. Алексеева. – Кишинев: Кишиневс. с.-х. ин-т им. Фрунзе, 1981. – 58 с.
- Буркин, И. А. Влияние почвенных условий и времени посева на рост и усвоение питательных веществ растениями гречихи и на ее потребность в элементах питания / И. А. Буркин, З. И. Журбицкий, Т. В. Перетина // Агрехимия. – 1974. – № 4. – С. 53–63.
- Буркин, И. А. Особенности усвоения элементов питания гречихой в онтогенезе / И. А. Буркин // Генетика, селекция, семеноводство и возделывание гречихи: сб. науч. ст. / Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина; редкол.: Б. А. Неунылов [и др.]. – М.: Колос, 1976. – С. 230–234.
- Ходянков, А. А. Влияние минеральных удобрений и брассиностероидов на продуктивность льна масличного и вынос элементов питания / А. А. Ходянков, И. Ю. Гаврюшин // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1 (50). – С. 198–208.
- Блохина, Е. А. Продуктивность гибридов сорго в зависимости от сроков посева и условий питания в северо-восточном регионе Беларуси: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09 / Е. А. Блохина; Беларус. гос. с.-х. акад. – Горки, 2016. – 23 с.
- Влияние биопрепаратов и минеральных удобрений на урожайность и качество многолетних трав [Электронный ресурс] / Н. С. Алметов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 8. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-biopreparatov-i-mineralnyh-udobreniy-na-urozhaynost-i-kachestvo-mnogoletnih-trav>. – Дата доступа: 28.01.2018.
- Кирпичников, Н. А. Влияние биопрепаратов на урожайность и качество ячменя и клевера в зависимости от применения фосфорных и известковых удобрений [Электронный ресурс] / Н. А. Кирпичников, А. А. Волков // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 8. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-biopreparatov-na-urozhaynost-i-kachestvo-yachmenya-i-klevera-v-zavisimosti-ot-priimeneniya-fosfornyh-i-izvestkovykh-udobreniy>. – Дата доступа: 28.01.2018.
- Агрехимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под общ. ред. И. Р. Вильдфлуша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 704 с.
- Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
- Дзямбіцкі, М. Ф. Асаблівасці дысперсійнага аналізу вынікаў шматгадовага палявога доследу / М. Ф. Дзямбіцкі // Весці Акадэміі аграрных навук Беларусі. – 1994. – № 3. – С. 60–64.
- Сорт Лакнея / Сорта, включенные в Гостреестр – основа высоких урожаев / ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений». – Минск: Минскминпроект, 2012. – Часть VII: Характеристика сортов, включенных в Гостреестр с 2012 г. – С. 18–19.

УДК 528.8:631.8:/635:338.31(047.3)

Моделирование урожайности озимой пшеницы по данным дистанционного зондирования Земли

В. А. Генин, аспирант
Институт почвоведения и агрохимии
Н. В. Клебанович, доктор с.-х. наук
Белорусский государственный университет

(Дата поступления статьи в редакцию 15.05.2018 г.)

В работе была проанализирована корреляционная связь урожайности и вегетационного индекса для озимой пшеницы. Для написания статьи была использована информация о перманентном учете урожайности, собранная в 2016 г. для трех полей в Минском и Барановичском районах. В ходе статистического анализа была выявлена высокая корреляционная связь

The relationship between yield and vegetation index for winter wheat was analyzed. Information about the permanent recording of yields, harvested in 2016, for three fields in Minsk and Baranovichi regions was used to write the article. High values of correlation relationship between the data of the mass of harvested grain and the vegetation index obtained from remote sensing data were revealed

между данными о массе собранного зерна и значениями вегетационного индекса, полученными по данным дистанционного зондирования Земли. Для данных на конец мая коэффициент корреляции может превышать 0,9. В ходе исследования было обнаружено, что сорная растительность препятствует точному моделированию величины урожайности озимой пшеницы по данным космической съемки.

Введение

Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур, особенно зерновых, актуально не только с точки зрения планирования уборочной компании, реализации продукции и т. п., но и с точки зрения потенциального воздействия на будущий урожай через азотные подкормки. С массовым появлением данных дистанционного зондирования Земли появилось немало работ, в которых делаются попытки установить зависимости между параметрами изображения растительного покрова на снимках и урожайностью. Особенно конструктивными такие работы стали с появлением уборочной техники, оснащенной системами перманентного учета урожая. Однако в настоящее время все еще недостаточно исследований, посвященных связи между отражением растительности в разных участках спектра и данными об урожайности, полученными с систем перманентного учета массы зерна и его влажности.

Ряд исследователей предпринимали попытки предсказания урожайности сельскохозяйственных культур на основании данных дистанционного зондирования Земли, причем многие из них использовали так называемые вегетационные индексы.

Одно из первых исследований о связи отражения сельскохозяйственных растений и его урожайности было опубликовано в мае 1980 г. Tucker C. J. с соавторами [1]. Авторы с использованием ручного радиометра заложили 21 тестовую площадку на поле с озимой пшеницей. Сравнив показатели отражения и урожайность, авторы пришли к выводу, что между ними существует тесная связь: за счет данных отражения было объяснено 64 % массы зерна озимой пшеницы.

В 1993 г. американские ученые показали связь между урожайностью яровой пшеницы и данными аэрофотосъемки в 4 каналах [2]. Для исследования они использовали небольшой участок площадью 0,72 га. Тестовая площадка была разделена на микроучастки шириной 1,8 м и длиной 4,9 м, аэрофотосъемка была произведена в две даты вегетационного сезона (июнь и июль). С использованием данных за июль авторам удалось достичь коэффициента детерминации между данными урожайности и рассчитанным вегетационным индексом 0,47.

На буро-коричневых почвах Греции использовали данные сенсора AVHRR для предсказания урожайности различных сельскохозяйственных культур (рис, хлопок, кукуруза, пшеница) [3]. Авторам удалось достичь высокой схожимости фактических и моделируемых данных урожайности. И в штате Айова с использованием данных того же спутника AVHRR получили высокую схожимость между фактическими и смоделированными данными урожайности [4].

В других исследованиях, проведенных в том же американском штате Айова, выявлена возможность предсказания урожайности кукурузы и сои по данным аэрофотосъемки с точностью свыше 70 % [5]. В 2000 г. С. Yang и G. L. Anderson был разработан метод для моделирования урожайности сорго с использованием данных аэрофотосъемки и контрольных точек, и было показано, что для некоторых полей точность метода может достигать 90 % [6]. В 2002 г. исследователи из Техаса с использованием данных перманентного учета массы

during the analysis. For data at the end of May, the correlation coefficient may exceed 0.9. It was found also in the course of the study that weed vegetation prevents accurate simulation of yields of winter wheat from space survey data.

зерна с комбайна и съемки с беспилотного летательного аппарата в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне оценили урожайность сорго с точностью от 63 до 85 % в зависимости от поля исследования [7]. В 2011 г. в Испании была предпринята попытка оценить урожайность подсолнечника по данным дистанционного зондирования, но точность моделирования урожайности зерна не превышала 36 % [8].

Среди исследователей на постсоветском пространстве прогнозированием урожайности занимались Н. Н. Кусуль и др. [9]. В своей работе авторы предприняли попытку оценить урожайность зерновых культур на территории Украины. Для этих целей они использовали данные прибора AVHRR и данные продукта FAPAR. Ошибка оценки находится в диапазоне от 0,6 до 8,8 ц/га в зависимости от используемого продукта и года оценивания.

В. С. Антоненко и Р. В. Гаценко, работая в Украине со схожим набором данных, сделали вывод, что среднеобластная оценка урожайности возможна в период между следующими фенологическими стадиями развития озимой пшеницы: нижний узел соломины – молочная спелость [10].

В рассмотренных работах была показана возможность использования данных дистанционного зондирования Земли для картирования и прогнозирования урожайности. Но большинство исследований выполнялось на небольших площадях, и временной ряд данных дистанционного зондирования Земли, на наш взгляд, недостаточный.

В приведенной статье мы будем рассматривать урожайность озимой пшеницы, полученную с использованием технологий мониторинга урожайности Trimble. Данная технология используется для картирования урожайности в границах поля с использованием системы датчиков и позволяет фиксировать значения влажности и массы зерна в каждой точке поля. Настройка и калибровка оборудования выполнялась непосредственно авторами.

Материалы и методы исследований

Объектом исследований были поля, засеянные озимой пшеницей. Всего было изучено 3 поля, 1 – в Минском районе, 2 – в Барановичском, по которым имелись не только качественные спутниковые снимки, но и данные перманентного учета урожайности.

Перманентный учет массы зерна был получен с использованием набора датчиков, которые монтируются непосредственно на комбайн. Данная система позволяет непрерывно фиксировать массу зерна, поступающую в бункер комбайна [11].

Основным методом исследований была обработка данных дистанционного зондирования и сравнение его результатов с данными учета массы зерна. Для исследования нами были использованы данные спутника Sentinel-2 и рассчитанные на их основе индексные изображения вегетационного индекса NDVI [12].

NDVI является одним из самых распространенных вегетационных индексов и рассчитывается как разность показателей отражения ближнеинфракрасного канала и красного, деленная на их сумму.

Спектральный график здоровых растений имеет специфический вид и характеризуется провалом в красном

диапазоне спектра и пиком в ближней инфракрасной области. Это объясняется физическими свойствами листьев растений. В итоге имеет место следующая закономерность: чем здоровее растение (т. е. имеет более высокое содержание хлорофилла и влаги в листьях), тем разница между красным и ближнеинфракрасным каналом будет выше. Верно и обратное утверждение: чем более растение угнетено и его биомасса меньше, тем меньше разница в указанных каналах.

Методика анализа данных заключала в себе несколько этапов. На первом этапе данные урожайности сегментировались для целей выделения однородных зон с порогом варьирования урожайности не более 10 %. Далее в границах полученных зон высчитывался средний вегетационный индекс, значения которого использовались для проведения аналитики. Достоинством данного метода является то, что он существенно минимизирует ошибку, которая возникает в результате погрешностей при привязке космических изображений.

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ связи вегетационного индекса с урожайностью мы бы хотели начать с поля 1, расположенного в Барановичском районе. Озимая пшеница выращивалась в 2016 г., посеяна 12 сентября 2015 г. Площадь участка составляет 78 га, перепад высот – около 13 метров. На данном поле преобладают дерново-подзолистые почвы различного гранулометрического состава, что в свою очередь создает различные условия по увлажнению в границах поля. В 2016 г. нами была получена урожайность зерна в пределах этого поля, которая варьировала в очень широком диапазоне – от 20 до 85 ц/га. Визуальный осмотр поля и наше личное присутствие во время его уборки позволило сделать вывод, что низкопродуктивные участки приурочены к повышениям, а высокопродуктивные расположены в ложбинах стока и понижениях. Картограмма урожайности представлена на рисунке 1.

Для анализа нам были доступны следующие даты спутниковой съемки спутника Sentinel 2a: 25 марта, 17 апреля, 27 апреля, 27 мая, 26 июня, 3 июля, 14 июля.

Сравнение связи вегетационного индекса и данных урожайности производилось с использованием инструментов статистического анализа.

Связь данных урожайности и данных дистанционного зондирования Земли за 25 марта (фенологическая фаза – кущение) практически отсутствует. К 17 апреля (конец кущения) произошла дифференциация посева в зависимости от свойств почвы, и коэффициент корреляции с урожайностью достигает 0,45. Для данных за 27 апреля (фенологическая фаза – выход в трубку) коэффициент корреляции значительно не меняется. К 27 мая (колошение) разброс значений значительно уменьшается, коэффициент корреляции достигает 0,88, то есть с использованием данных дистанционного зондирования Земли нами было объяснено 77 % урожайности (рисунок 2).

Применительно к данным за 26 июня (молочная спелость) коэффициент корреляции достиг 0,95, то есть с использованием вегетационного индекса был объяснен 91 % данных урожайности. При этом, как и для данных за 27 мая, связь имеет линейный характер.

Для данных за 3 июля (восковая спелость) коэффициент корреляции снизился по сравнению с данными за 26 июня до 0,86. При этом стоит отметить, что разброс значений точек принял нелинейный вид, и при использовании полиномиальной регрессивной кривой коэффициент корреляции составил 0,92 (рисунок 3).

К 14 июля (полная спелость) статистическая связь между данными урожайности и вегетационным индексом озимой пшеницы теряется.

Основываясь на данных по конкретно взятому полю, можно сделать следующий вывод: точность моделирования и прогнозирования урожайности для него может достигать 90 %. При этом максимальная связь вегетационного индекса и урожайности наблюдается после преодоления пика максимальных значений NDVI.

Поле 2 площадью 104 га находится в Минском районе, учет урожайности велся в 2016 г. Поле характеризуется дерново-подзолистыми почвами, преимущественно супесчаного гранулометрического состава. Рельеф вол-



Рисунок 1 – Урожайность озимой пшеницы (поле 1)

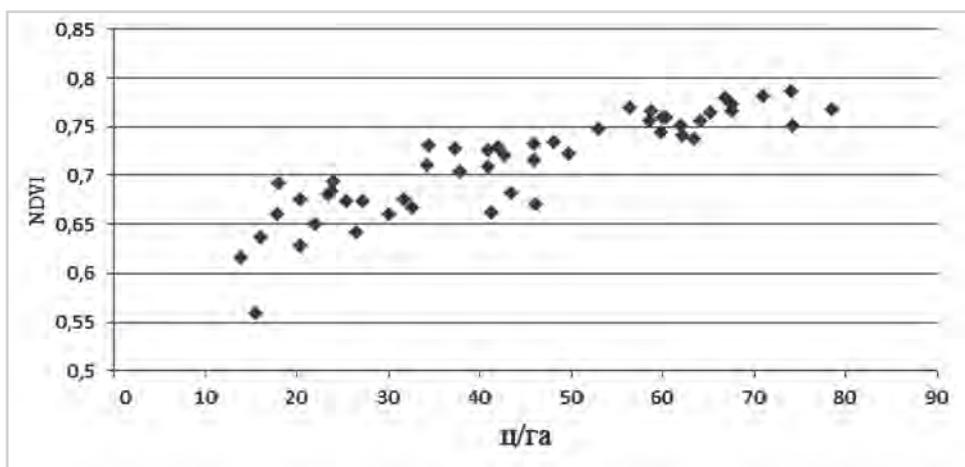


Рисунок 2 – Связь урожайности озимой пшеницы и вегетационного индекса за 27 мая 2016 г. (поле 1)

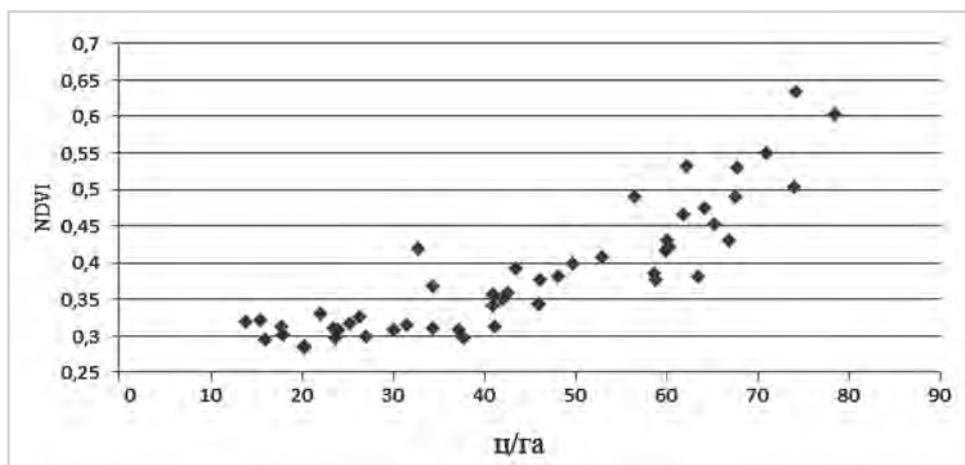


Рисунок 3 – Связь урожайности озимой пшеницы и вегетационного индекса за 3 июля 2016 г. (поле 1)

нистый, с перепадом высот до 9 метров. Урожайность озимой пшеницы на этом поле варьирует в широком диапазоне – от 25 до 90 ц/га. Картограмма урожайности представлена на рисунке 4.

Для исследования нами было использовано 5 дат: 28 марта, 4 апреля, 27 апреля, 28 мая, 26 июня. В связи с погодными условиями (облачность) нам не удалось подобрать данные дистанционного зондирования Земли на конец вегетации для этого поля.

Для первой доступной для анализа даты – 28 марта (фенологическая фаза – кущение) – коэффициент корреляции составил 0,70, что гораздо выше по сравнению с предыдущим полем. Это значит, что растительность на поле еще осенью развивалась неодинаково, формируя различную биомассу: зоны с низким вегетационным индексом после зимовки впоследствии дали низкий урожай, а зоны с высоким вегетационным индексом после зимовки оказались в итоге более продуктивными.

Для следующих исследуемых дат – 7 и 27 апреля (фенологическая фаза: кущение–выход в трубку) – коэффициент корреляции составляет 0,61 и 0,68 соответственно, то есть в этот период было меньше лимитирующих развитие растений факторов. В мае на поле гипотетически появились зоны с недостаточной обеспеченностью влагой, что привело к усилению дифференциации биомассы: урожайность озимой пшеницы и вегетационный индекс за 27 мая (колошение) имеют ярко выраженную линейную связь. Коэффициент корреляции составил 0,91; разброса значений практически не наблюдается. В целом данные

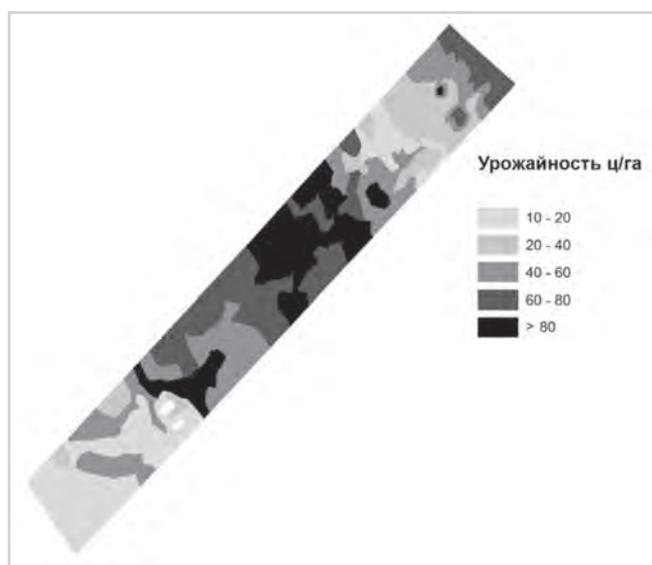


Рисунок 4 – Урожайность озимой пшеницы (поле 2)

спутниковой съемки за 27 мая объясняют 83 % данных урожайности (рисунок 5).

Для данных за 26 июня (молочная спелость) коэффициент корреляции несколько ниже и составляет 0,89.

Рассматриваемое поле 3 площадью 50 га находится в Барановичском районе. В 2016 г. на поле произрастала

озимая пшеница, а диапазон ее урожайности составил от 10 до 30 ц/га. Картограмма урожайности представлена на рисунке 6.

Для поля характерны супесчаные и песчаные дерново-подзолистые почвы. Рельеф волнистый, с перепадом высот до 7 метров. В ходе полевых работ, производимых с апреля по июнь, на исследуемом поле наблюдалось произрастание сорной растительности. К началу мая 2016 г. более 20 % поля заросло сорняками; в дальнейшем ситуация усугублялась, и к концу мая площадь зарастания достигла 30 % от площади поля (данные зафиксированы с использованием материалов беспилотной съемки). Для

поставленных целей было доступно 7 дат спутниковой съемки, аналогичные полю 1.

Данные связи вегетационного индекса и урожайности озимой пшеницы за 24 апреля 2016 г. (фенологическая фаза – выход в трубку) показывают, что значительный разброс значений наблюдается на участках с урожайностью от 10 до 20 ц/га, причем максимальная разница между значениями присуща самым низкопродуктивным участкам (рисунок 7). Для участков поля с урожайностью 10 ц/га вегетационный индекс может варьировать от 0,25 до 0,50, тогда как общий коэффициент корреляции составляет 0,70.

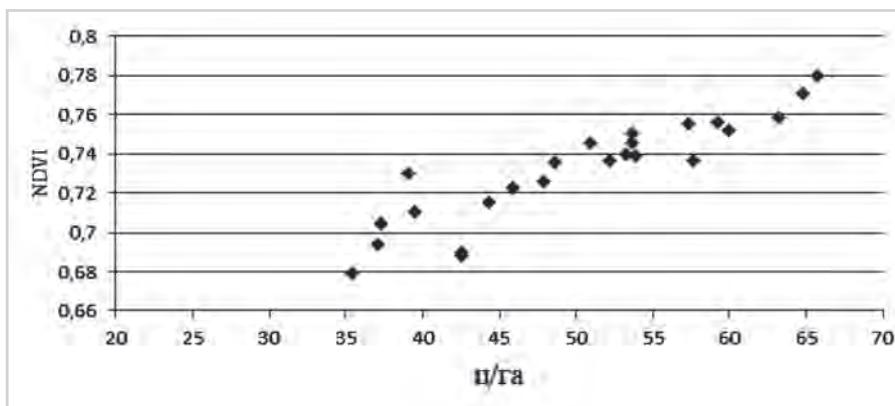


Рисунок 5 – Связь урожайности озимой пшеницы и вегетационного индекса за 27 мая 2016 г. (поле 2)

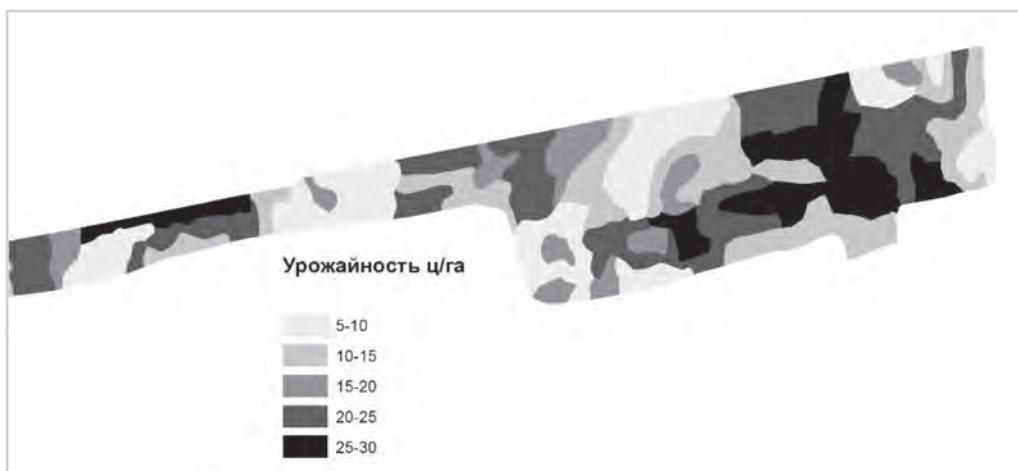


Рисунок 6 – Урожайность озимой пшеницы (поле 3)

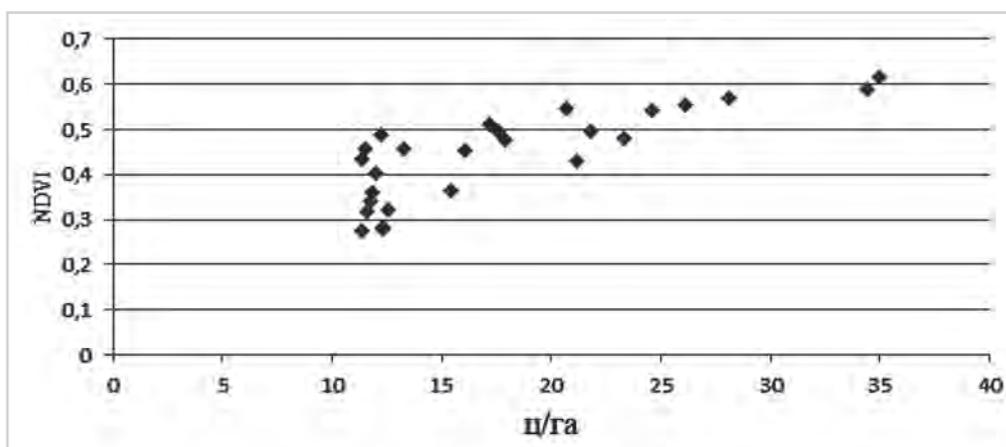


Рисунок 7 – Связь урожайности озимой пшеницы и вегетационного индекса за 24 апреля 2016 г. (поле 3)

Для майских данных также характерен сильный разброс значений на участках с низкой урожайностью. Коэффициент корреляции понизился до 0,66. Некоторые участки с низкой урожайностью сравнивались по вегетационному индексу с участками с высокой урожайностью. Для данных за июнь коэффициент корреляции упал до 0,33, участки с низкой урожайностью по вегетационному индексу обогнали участки с высокой продуктивностью.

В ходе практической части работы участки с высоким вегетационным индексом и низкой урожайностью были идентифицированы на материалах съемки с беспилотно летательного аппарата. В итоге нами было обнаружено, что они полностью лежат в ареалах распространения сорной растительности.

Выводы

Данные спутниковой съемки и рассчитанные на их основании вегетационные индексы могут быть использованы для моделирования и прогнозирования урожайности. Оптимальные фазы развития озимой пшеницы для моделирования урожайности – фазы начала трубкования и молочной спелости, при этом тесная статистическая связь сохранялась до начала созревания зерна и, как следствие, усыхания растительности.

Важным недостатком использования дистанционной съемки при моделировании урожайности сельскохозяйственных культур является наличие сорной растительности. На низкопродуктивных участках культурные растения сильно разрежены, что дает возможность для развития сорняков. В большинстве случаев вегетационный индекс сорной растительности значительно превышает вегетационный индекс культурных растений, что создает значительные погрешности при моделировании урожайности на низкопродуктивных участках.

На значения и динамику вегетационного индекса каждого участка поля могут оказывать влияние сотни факторов, наиболее значимые из которых: погодные условия, дата сева сельскохозяйственных культур, их сорта, плодородие почв и другие. На значения вегетационного индекса и его динамику также оказывают влияние даты внесения удобрений и химических обработок почвы.

Несмотря на все недостатки использования вегетационного индекса для моделирования урожайности, мы счита-

ем, что его использование в ретроспективных моделях для выделения зон стабильно высокой и низкой продуктивности оправдано с последующим созданием зон дифференцированного управления плодородием почвы. Это связано в первую очередь с тем, что для подавляющего большинства анализируемых полей и дат характер связи является линейным. Этот факт позволяет без каких-либо уравнений пересчета говорить об урожайности в относительных единицах. При этом, зная среднее значение урожайности, возможно без особого труда перейти от относительных показателей к абсолютным.

Литература

1. Remote Sensing of total dry-matter accumulation in winter wheat / C. J. Tucker [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 1981. – Vol. 11, № 3 – P. 171–189.
2. Ball, S. T. Relationship between grain yield and remotely-sensed data in wheat breeding experiments plant breeding / S. T. Ball, C. F. Konzak // Remote Sensing of Environment. – 1993. – Vol. 110, № 4. – P. 277–282.
3. Quarmby N. A. The use of multi-temporal NDVI measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction / N. A. Quarmby, M. Milnes, T. L. Hindle // Intern. J. of Remote Sensing. – 1993. – Vol. 14, № 2. – P. 247–262.
4. Operational prediction of crop yields using modis data and products / P. C. Doraiswamy [et al.] // Remote sensing support to crop yield forecast and area estimates XXXVI–8/W48 Workshop proceedings, Stresa, November 30 – December 1, 2006. – P. 137–141.
5. Corn and soybean yield indicators using remotely sensed vegetation index / M. Zhang [et al.] // Proceedings of the 3rd International Conference, Milan, 23–26 June. – P. 403–415.
6. Mapping Grain Sorghum Yield Variability Using Airborne Digital Videograph / C. Yan [et al.] // Precision Agriculture. – 2000. – Vol. 2, № 1. – P. 7–23.
7. Yang, C. Relationships Between Yield Monitor Data and Airborne Multispectral Digital Imagery for Grain Sorghum / C. Yang, J. H. Everitt // Precision Agriculture. – 2002. – Vol. 3, № 4. – P. 373–384.
8. Peña-Barragán, J. M. Sunflower yield related to multi-temporal aerial photography, land elevation and weed infestation / J. M. Peña-Barragán, F. López-Granados, M. Jurado-Expósito // Precision Agriculture. – 2010. – Vol. 11, № 5. – P. 568–585.
9. Регрессионные модели прогнозирования урожайности зерновых в Украине по спутниковым данным различной природы / Н. Н. Кукуль [и др.] // Наукові праці ДонНТУ. – 2013. – № 17. – С. 94 – 99.
10. Антоненко, В. С. Оценка состояния посевов и прогноз урожайности озимой пшеницы в Украине по данным многоспектральной космической съемки / В. С. Антоненко, Р. В. Гащенко // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2005. – № 254. – С. 55–58.
11. Мониторинг урожайности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.poletehnika.com.ua/ru/item/116-monitoring_urozhaynosti. – Дата доступа : 25.03.2018.
12. NDVI – теория и практика [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html>. – Дата доступа: 25.03.2018.

УДК: 633.367.3:631.52

Производительность зеленой массы различных морфотипов люпина белого

К. П. Бродецкая, научный сотрудник, Е. М. Бродецкая, младший научный сотрудник
Украинская лаборатория качества и безопасности продукции АПК

(Дата поступления статьи в редакцию 12.02.2018 г.)

Приведены результаты исследований по формированию элементов продуктивности зеленой массы разных морфотипов белого люпина коллекционных образцов в зависимости от высоты растений и длины боковых ветвей I и II порядка. Выявлено, что группа среднерослых растений (высотой 92 см) формирует продуктивность зеленой массы за счет листьев и бобов, где их образуется больше в сравнении с низкорослой (высота растений 72,4 см) и высокорослой (115 см) группами.

Введение

Проблема дефицита растительного белка во многих странах мира вызвала повышенный интерес к люпину.

The research results on the white lupin morphotype green material productivity element formation from collection samples depending on the plant height and length of late tillers of the first and second order are stated. It is revealed that the group of mid-tall plants (the plant height is 92 cm) forms the green material productivity at the expense of leaves and beans where they are formed highly as compared with stunted group (the plant height is 72 cm) and tall (115 cm) one.

Высокое содержание ценного белка и способность культуры к адаптации к различным почвенно-климатическим условиям делает люпин незаменимой кормовой культу-