

DOI:10.17308/978-5-9273-3692-0-2023-353-356

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ДЗЗ И НАЗЕМНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЕВЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ

THEORETICAL JUSTIFICATION AND EXPERIENCE OF USING REMOTE SENSING AND GROUND SCANNING RESOURCES FOR THE STUDY OF FIELD AGRICULTURAL LANDSCAPES

Гулянов Ю.А.

Gulyanov Yu.A.

e-mail: iury.gulyanov@yandex.ru

Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Институт степи УрО РАН, Оренбург, Россия
Orenburg Federal Research Center UB RAS, Institute of Steppe UB RAS, Orenburg, Russia

Аннотация. Обеспечение продовольственной безопасности населения РФ и её экспортного потенциала при безусловном сохранении экологического баланса в природной среде могут быть достигнуты путём оптимизации структуры землепользования и повышения продуктивности пригодных для обработки земель. В условиях современных климатических и антропогенных изменений хорошие перспективы в решении указанных проблем имеет реализация интеллектуальных цифровых технологий, основанных на использовании ресурсов ДЗЗ и наземного сканирования посевов.

Abstract. Ensuring the food security of the population of the Russian Federation and its export potential with the unconditional preservation of the ecological balance in the natural environment can be achieved by optimizing the structure of land use and increasing the productivity of land suitable for cultivation. In the conditions of modern climatic and anthropogenic changes, the implementation of intelligent digital technologies based on the use of remote sensing resources and ground scanning of crops has good prospects in solving these problems.

Ключевые слова: полевые культуры, неоднородность фитомассы, NDVI, спутниковый и наземный мониторинг, экологизация землепользования, интеллектуальные технологии

Keywords: field crops, heterogeneity of phytomass, NDVI, satellite and ground monitoring, greening of land use, intelligent technologies

Интенсивное сельскохозяйственное освоение степных территорий РФ сопровождается глубокой деградацией природных систем и нуждается в безотлагательной экологизации природопользования. Одним из её перспективных направлений может стать оптимизация структуры земель путём сокращения площади деградированной пашни.

Вполне очевидно, что поддержание продовольственной безопасности населения и экспортного потенциала страны при таком подходе может быть достигнуто только путём стабильного повышения урожайности и валовых сборов на оставшихся в обработке «пахотнопригодных» землях.

Как показали наши наблюдения, значительное участие в дестабилизации урожайности и валовых сборов зерна принимает полевая неоднородность фитомассы на отдельных участках, сопровождающаяся снижением усреднённой по полю урожайности и валовых сборов.

Причины пространственной неоднородности полевого растительного покрова могут иметь разную природу. Среди них можно выделить климатические, почвенные, географические, биологические факторы, а также факторы техногенной природы и связанные с сельскохозяйственной практикой или биологическими особенностями культивируемых растений.

В качестве средства выравнивания пространственной неоднородности полевых агроценозов без риска для окружающей среды высокие перспективы имеет реализация интеллектуальных цифровых технологий. Они призваны обеспечить высокую продуктивность посевов и защиту окружающей среды путём дифференциации норм технологического воздействия на отдельные участки поля, в соответствии с их неоднородностью. В таких технологиях, реализуемых в системах «точного земледелия», поле рассматривается как совокупность множества отдельных элементарных участков, различающихся по продуктивности фитомассы и нуждающихся в различных технологических подходах.

Развитие космической отрасли и расширение доступности её информационной базы для сельскохозяйственного производства открыло широкие возможности по оценке состояния растительного покрова посредством использования различных показателей. Наиболее известным и достаточно широко апробированным из них является нормализованный разностный вегетационный индекс посевов (NDVI), характеризующий интенсивность развития фотосинтетически активной биомассы растений [1].

NDVI рассчитывается на основе космических снимков (ДЗЗ) или снимков с беспилотных летательных аппаратов (БЛА), осуществляющих пассивную съёмку отражений местности в заданных диапазонах волн, с помощью специализированных программных продуктов, позволяющих обрабатывать и визуализировать цифровую информацию [2].

Для наземной оценки состояния посевов используются активные оптические датчики с собственным источником излучения, дающие более точный результат. Их применяют также для уточнения и поправки спутниковых данных или фотокамер NIR-диапазона БЛА. Результаты наших исследований свидетельствуют о целесообразности комплексного использования всех перечисленных подходов в

связи с высокой сопоставимостью полученных на их основе данных [3].

Определение допустимой величины технологического воздействия на низкопродуктивные участки поля предполагает установление возможного для конкретной культуры (сорта) уровня реализации потенциала продуктивности при характерных для конкретной местности термических ресурсах, атмосферном увлажнении и оптимальном сочетании регулируемых факторов [4].

С этой целью проводятся широкие экспедиционные исследования, предполагающие выявление высокопродуктивных посевов различных полевых культур, рассматриваемых в качестве эталонных посевов. Их фитометрические параметры (по NDVI) в критические фазы органогенеза могут использоваться как ориентир для принятия корректирующих технологических решений в текущих агроценозах.

К примеру, нами установлено, что в богарных условиях сухих степей Оренбургского Предуралья высокопродуктивные агроценозы озимой пшеницы, эффективно использующие ресурсы солнечной энергии, должны иметь максимальную площадь ассимиляционной поверхности в фазу колошения на уровне 25,7 - 29,5 тыс. м²/га. При фотосинтетическом потенциале – 1662-1903 тыс. м²·дней/га и чистой продуктивности фотосинтеза 4,88-5,02 г/м²·сутки урожайность сухой надземной биомассы может составить 8,34-9,30 т/га, в том числе 3,43-3,74 т/га зерна стандартной влажности при КПД приходящей ФАР 1,26-1,41%.

Реализованный в наших исследованиях мониторинг посевов с использованием космических снимков показал высокую воспроизводимость картины пространственного распределения величин NDVI по различным участкам поля. Выявлена их высокая сходимость с результатами наземного сканирования портативными оптическими устройствами типа Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS-100 и определения фитометрических параметров линейными методами [5].

Корреляционно-регрессионный анализ экспериментальных данных подтвердил наличие сильной связи ($r = 0,90$) между значениями NDVI, полученными на основе космических снимков и при наземном сканировании. Указанная прямая линейная связь описывается уравнением регрессии $y = 0,833x + 0,138$, где x – величина NDVI, определённая на основе космических снимков, y – величина NDVI, полученная при наземном сканировании. Коэффициент детерминации (R^2) свидетельствует о зависимости между указанными величинами в 80,7 % случаев.

В результате корреляционно-регрессионного анализа большого массива экспериментальных данных агроценоза озимой пшеницы Поволжская 86 на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья выявлена сильная связь ($r = 0,946$) площади ассимиляционной поверхности с вегетационным индексом (NDVI) в период максимального развития вегетативной массы (фаза колошения). Прямая линейная связь между указанными параметрами выражена уравнением регрессии следующего вида: $y = 3E - 05x - 0,028$. Уравнение адекватно для 89,5 % случаев эксперимента или площадь ассимиляционной поверхности посева озимой пшеницы детерминирует 89,5 % дисперсии вегетационного индекса посева.

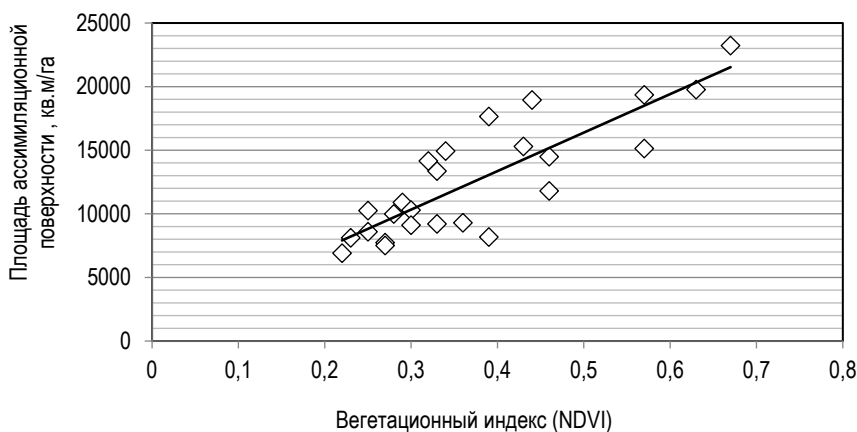


Рис. 1. Связь величин NDVI и фитометрических параметров агроценозов озимой пшеницы

Установлено также, что величина вегетационного индекса посева сильно ($r = 0,808$) связана с плотностью продуктивного стеблестоя. Прямая линейная связь выражается уравнением регрессии $y = 0,002x - 0,347$. Уравнение адекватно для 65,3 % случаев эксперимента или плотность продуктивного стеблестоя посева озимой пшеницы детерминирует 65,3 % дисперсии вегетационного индекса посева.

Обзор литературных источников по данной тематике выявил скудность исследований, касающихся сортовой идентичности оптических свойств и фитометрических параметров высокотехнологичных агроценозов, выступающих в роли эталонных посевов и служащих экспериментальными площадками для отработки отдельных элементов «умного земледелия». Это стало основанием для проведения следующих исследований [6].

В ходе полевого эксперимента на участке экологического сортоиспытания с 13 сортами озимой

пшеницы в Центральной почвенно-климатической зоне Оренбургской области определено соотношение величин NDVI и площади листовой поверхности (ПЛ) в период максимального развития ассимиляционного аппарата (фазы колошения-цветения), имеющее выраженные индивидуальные особенности. Это обстоятельство свидетельствует о наличии сортовых признаков, таких как интенсивность зелёного окрашивания (концентрация хлорофилла), архитектура листьев, длина стебля и колоса, наличие или отсутствие остей и др., определяющих их оптико-биологические свойства.

Определены индивидуальные, присущие конкретным сортам, размеры площади листовой поверхности, приходящиеся на 0,01 единиц NDVI, с ясной перспективой их использования для определения площади листовой поверхности путём её пересчета с величин NDVI. Межсортовая динамика указанного показателя составила 34,8...36,3 м²/га, а его наибольшие значения отмечены в посевах ярко окрашенных сортов Пионерская 32, Perfect, Оренбургская 105 и Колос Оренбуржья, селекции Оренбургского ГАУ. Указанные сорта характеризуются одновременно высокими показателями NDVI и площади листовой поверхности (29-30 тыс. м²/га).

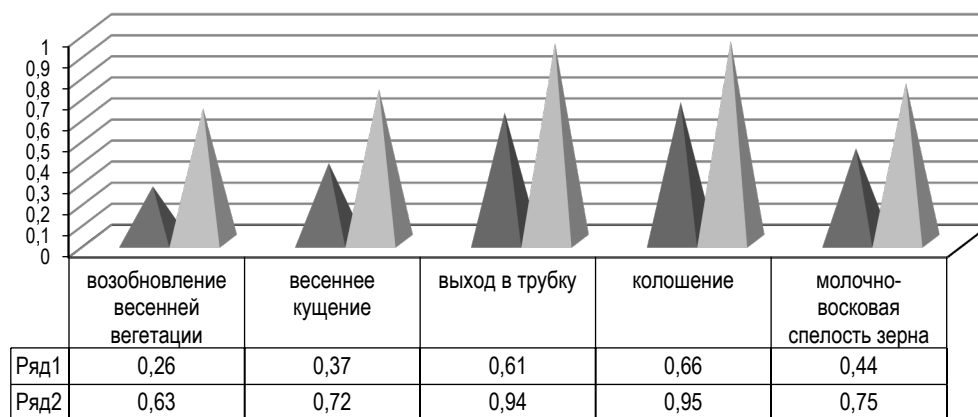


Рис. 2. Пирамиды NDVI: 1- агроценоза озимой пшеницы;
2 - коэффициент корреляции NDVI с урожайностью зерна

Таким образом, различные сорта озимой пшеницы обладают специфическими сортовыми признаками, определяющими их оптико-биологические свойства и выражающимися в различном отношении NDVI к площади листовой поверхности. Полученные данные могут использоваться для оперативного определения площади листовой поверхности и их последующего применения при разработке мероприятий, направленных на управление продукционным процессом полевых агроценозов, в т.ч. в системах точного земледелия.

Не менее полезным с практической точки зрения является и тот факт, что отношение NDVI к площади листовой поверхности в течение вегетации не носит линейного характера. К примеру, в фазу весеннего кущения озимой пшеницы Оренбургская 105 каждой 0,01 единицы значения вегетационного индекса посева (NDVI) соответствует площадь ассимиляционной поверхности 280,8 м²/га. В фазу выхода в трубку увеличение вегетационного индекса (NDVI) на указанную величину наблюдается при увеличении площади ассимиляционной поверхности на 320,3 м²/га, а в фазу колошения – на 392,2 м²/га, что выше, чем в фазу весеннего кущения на 14,1-39,7 % соответственно. В последующие фазы этот показатель несколько снижается, но остаётся выше начальных значений на 23,2-94,2 м²/га или 8,3-33,5 %.

Указанные проявления следует связывать с изменением интенсивности зелёного окрашивания растений в процессе «взросления» и последующего «старения», поскольку максимальная концентрация хлорофилла, а, следовательно, и интенсивность зелёной окраски растений, отмечаются в начальные фазы вегетации. Далее наблюдается так называемое и часто упоминаемое в научной литературе «ростовое разбавление», которое сопровождается уменьшением количества зелёных пигментов в единице биомассы и осветлением растений. Как следствие, вегетационный индекс посева (NDVI), при той же плотности биомассы с возрастом уменьшается [7].

На наш взгляд, это обстоятельство необходимо учитывать при интерпретации вегетационного индекса посева (NDVI), особенно при дешифрировании космических снимков, в разновозрастных посевах наблюдаемой культуры (сорта). Ведь одни и те же значения вегетационного индекса посева (NDVI) могут соответствовать как меньшей продуктивности фитомассы посева в ранние фазы развития за счёт большей концентрации хлорофилла, так и большей продуктивности фитомассы в более поздние фазы развития при снижении интенсивности зелёного окрашивания.

Выявлено, что теснота связи вегетационного индекса посева (NDVI) с его будущей урожайностью, в различные фазы развития растений существенно различается. При возобновлении весенней вегетации, весеннем кущении и молочно-восковой спелости зерна связь между указанными параметрами средняя ($r = 0,63-0,75$). В периоды же максимального развития фитомассы растений она становится

сильной, с коэффициентом корреляции от 0,94 в фазу выхода в трубку до 0,95 в фазу колошения, что свидетельствует о влиянии вегетационного индекса посева (NDVI) на урожайность зерна в 94,0-95,0% случаев.

Продолжение исследований видится в формировании базы точечных величин NDVI по фазам вегетации высокопродуктивных агроценозов в разрезе сортов (культур) в годы с «полярными» условиями атмосферного увлажнения и радиационного режима, выявлении их корреляции с урожайностью основной продукции, с целью использования как эталонных величин. На наш взгляд это будет способствовать разработке оптимальных агротехнологий, направленных на рациональное использование природных ресурсов, защите прилегающих ландшафтов от чрезмерной антропогенной нагрузки и сохранению биологического разнообразия степных обитателей.

Литература

1. Гулянов Ю.А. Возможности интеллектуальных цифровых технологий в экологизации ландшафтно-адаптивного земледелия степной зоны / Ю.А.Гулянов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2019. - № 4. - С. 8-11.
2. Мартынова Н.Г. Мониторинг сельскохозяйственных земель по данным дистанционного зондирования земли / Н.Г.Мартынова, В.Г.Кравченко // International agricultural Journal. - 2023. - Том. 66. - № 1. - С. 6-12.
3. Гулянов Ю.А. Мониторинг фитометрических параметров с использованием инновационных методов сканирования посевов / Ю.А.Гулянов // Таврический вестник аграрной науки. - 2019. - № 3 (19). - С. 64-76.
4. Шайтура С.В. Точное земледелие как один из аспектов цифровизации сельского хозяйства / С.В.Шайтура, А.В.Коломейцев., И.И.Позняк, А.М.Минитаева, Ю.Н.Прохоров // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - 2022. - № 3. - С. 161-166.
5. Гулянов Ю.А. Перспективы использования информационных ресурсов ДЗЗ для управления продукционным процессом полевых агроценозов / Ю.А.Гулянов // Земледелие. - 2022. - № 2. - С. 26-31.
6. Письменная Е.В., Азарова М.Ю. Прогноз урожайности озимой пшеницы в засушливой зоне Ставрополья на основе данных NDVI / Е.В.Письменная., М.Ю.Азарова // Наука и образование. - Том. 3. - № 4. - С. 402-405.
7. Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Шестакова Е.О. Связь вегетационного индекса NDVI с содержанием хлорофилла в растениях озимой пшеницы // Аграрный вестник Урала. «018. № 4 9171). С. 10-16.