

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 004.8: 504.06

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АГРОФИТОЦЕНОЗОВ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ И КОНТАКТНО-СЕНСОРНОМ ИЗМЕРЕНИЯХ

© 2022 А. В. Линкина

Воронежский институт высоких технологий (Воронеж, Россия)

В статье рассматривается корреляционная зависимость оптических характеристик агрофитоценозов, получаемых при дистанционном и контактно-сенсорном измерениях, от условий среды их произрастания и роли таких факторов как климат, рельеф, почвенный покров и доступность питательных элементов. Рассматриваются особенности спектрального анализа снимков высокого разрешения при расчете различных вегетационных индексов. Отмечаются особенности использования нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) при моделировании агроландшафтов.

Ключевые слова: индекс отражения, спектральные характеристики, вегетационные индексы, NDVI, корреляционная зависимость, дистанционное зондирование, прецизионное (точное) земледелие.

Одним из перспективных методов управления продуктивностью сельскохозяйственных культур является использование современных инновационных подходов в области дистанционного зондирования и дальнейшей интерпретации полученных результатов с помощью различных автоматизированных систем. Спутниковый мониторинг посевов, в основе которого положен спектральный анализ снимков высокого разрешения, позволяет судить о качестве посевов, отслеживать динамику их развития, определять необходимость химической обработки от болезней и вредителей или потребности внесения минеральных и органических удобрений. Кроме того, в связи с многообразием и мозаичностью почвенных ареалов на основе данных дистанционного зондирования эффективным является картирование местности для реализации в последующем прецизионного, или иначе, точного (координатного) земледелия.

Несмотря на то, что такой подход в отечественном агропромышленном комплексе

активно внедряться стал относительно недавно благодаря широкому развитию высокоскоростного интернета и мобильных технологий, тем не менее, на настоящий момент получил развитие преимущественно в крупных агрохолдингах. Вместе с тем, перспективы применения точного земледелия весьма значительны, они позволяют не только осуществлять мониторинг в режиме реального времени, но и формировать различные прогнозы, например, урожайности культур.

Безусловно, современные технологии, значительно повышающие эффективность сельскохозяйственного производства, делают его более конкурентоспособным и устойчивым, что напрямую отвечает обновленной Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов на период до 2030 года. Также отмечается необходимость применения систем координатного земледелия с целью устранения дефицита техники в сельском хозяйстве. По информации региональных органов управления

Линкина Анна Вячеславовна – Воронежский институт высоких технологий, ст. преподаватель, e-mail: anna_linkina@rambler.ru.

агропромышленного комплекса, «в настоящее время используется свыше 86 тысяч различных комплектов оборудования точного земледелия» [10].

Эффективное управление землями сельскохозяйственного назначения, сохранение и воспроизводство плодородия почв невозможно без осуществления цифровой трансформации с учетом текущих внешнеполитических и экономических рисков.

Основой прецизионного земледелия является формирование карт полей на основе данных дистанционного зондирования. Это реализуется на основе большого количества разнообразных данных, которые включают в себя значительные массивы геопространственных характеристик, растровых изображений и иной информации, а также их сбор, хранение и обработку.

Главным объектом координатного земледелия является электронная карта, представляющая из себя многослойный набор растровой и векторной информации и привязанных к ним баз данных. На этих слоях указывается различная информация об особенностях рельефа, растительности, почвенных и климатических характеристиках, имеющих инфраструктурных объектах (населенные пункты, линии электропередач, дорожная сеть, гидротехнические сооружения и т. д.).

Электронные карты формируются на основе трех способов:

- измерение земельных участков с помощью обмер полей с помощью высокоточных геодезических GNSS-приемников непосредственно при полевых работах;
- использование спутниковых снимков высокого разрешения;
- комбинированный метод (электронная карта, созданная по космическим снимкам, редактируется с выездом в поле с помощью высокоточного GPS-приемника).

В дальнейшем такие электронные карты позволяют отслеживать все операции по работе с базами данных (учитывая такие показатели как площадь земельных участков, площадь севооборотов, площадь и длина дорожной сети, динамику изменения рельефа и т. д.), выполнять прогнозирование состояния агроландшафтов с учетом влияющих на урожайность климатических и иных факторов, составлять оптимизационные модели для

наиболее эффективного управления сложными системами в агропромышленном комплексе.

Одним из наиболее востребованных элементов при формировании данных карт можно считать слои, на которых отражены различные вегетационные индексы –показатели состояния поверхности или растительного покрова, рассчитываемые на основе оптических показателей и особенностей отражательной способности, полученные при дистанционном зондировании Земли. Впервые такие исследования появились в 80-х годах прошлого столетия и опирались на методы обратного и комбинационного рассеяния и использующие отношения интенсивностей обратного рассеяния в видимом и инфракрасном спектрах.

При изучении различных научных работ [11], затрагивающих сравнительный анализ вегетационных индексов, можно отметить что одним из наиболее эффективных для контроля состояния растения является коэффициент обратного рассеяния, предложенный М.Н. Мерзляком и А. Гительсоном, и учитывающий коэффициенты отражения на длинах волн 750 нм и 550 нм. Исследователями была предложена математическая модель взаимодействия оптического излучения с растительной тканью, основанная на методе Монте-Карло.

Вместе с тем стоит отметить, что исследование отражательной способности растения в различных спектрах имеет ряд нюансов, связанных с точностью получаемых значений. Например, при вычислении значений индекса NDVI (нормализованный разностный вегетационный индекс) может теряться чувствительность при достижении определенного порога развития растения (например, в случае с зерновыми на стадии кущения и дальнейшего смыкания посевов). Также большое внимание на показатели оптических характеристик оказывают погодные факторы, связанные с облачностью и рассеянием. Индекс NDVI не применяется, когда растительный покров незначителен, т. е. растения находятся на самой ранней стадии развития, и их отражательная способность крайне низкая.

Уточнение данных, полученных при дистанционном зондировании, с помощью наземной спектрометрической аппаратуры

позволяет говорить о корреляционной зависимости оптических характеристик агрофитоценозов от ряда факторов, напрямую влияющих на продуктивность растений, таких как содержание гумуса в почве, водообеспеченности, наличия питательных элементов (особенно N-P-K) и др. Установлена линейная зависимость между уровнем отражательной способности, определяемой с учетом спектральных характеристик, и состоянием посевов, что также напрямую связано с урожайностью сельскохозяйственных культур.

В дальнейшем полученные характеристики, как уже было отмечено ранее, целесообразно отразить на электронной карте в виде отдельных слоев. Таким образом, можно визуально оценить состояние посевов на конкретном земельном участке, особенно с учетом полученной мозаичности. Используя пространственные данные, на основе методики координатного земледелия вносятся различные средства защиты растений или питательные элементы дифференцированно, что позволяет значительно сократить материальные затраты и не допустить излишнего внесения удобрений и пестицидов.

Подводя итог вышесказанному, еще раз отметим особую роль обработки мультиспектральных снимков для выделения биофизических параметров культуры при управлении продуктивностью сельскохозяйственных культур. На современном этапе принимаемые управленческие решения могут основываться на различных математических моделях, описывающих процесс их принятия, где данные дистанционного зондирования и дальнейшая их обработка в расчетах, в том числе и при вычислении различных вегетационных индексов, имеют важное значение для планирования и управления урожайностью растений, что в свою очередь, является основой продовольственной безопасности страны.

Изучение оптических свойств отражающей способности биомассы играет важную роль при понимании общих принципов адаптационных способностей культур в зависимости от условий среды их произрастания и роли таких факторов как климат, рельеф, почвенный покров и доступность питательных элементов. Имея такой инструментарий, каким располагает современный агропромышленный комплекс в части применения точного земледелия и дифференцированного

подхода, значительно повышается эффективность сельскохозяйственного производства за счет увеличения конкурентоспособности и устойчивости производства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Адерихин В. В. Оценка влияния компонентов агроландшафта на формирование урожайности зерновых культур в засушливые годы / В. В. Адерихин, А. Ю. Кондауров, А. В. Линкина // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2011. – № 4 (31). – С. 243-245.

2. Берников В. В. Возможности параллелизации обработки изображений с помощью OpenCV и OpenMP / В. В. Берников, А. П. Преображенский, О. Н. Чопоров // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7. – № 2 (25). – С. 110-126.

3. Использование NDVI для определения содержания азота в растениях озимой пшеницы в условиях Ставропольского края / И. Г. Сторчак, И. В. Чернова, Ф. В. Ерошенко // АБУ. – 2019. – № 12 (191). Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-ndvi-dlya-opredeleniya-soderzhaniya-azota-v-rasteniyah-ozimoy-pshenitsy-v-usloviyah-stavropolskogo-kрая> (дата обращения: 02.09.2022).

4. Клименко Ю. А. Адаптивная система управления для устранения несимметричности нагрузки фаз в трёхфазной сети 0,4 кв. / Ю. А. Клименко, А. П. Преображенский, О. Н. Чопоров // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7. – № 4 (27). – С. 9-10.

5. Корреляционные зависимости между вегетационными индексами, урожаем зерна и оптическими характеристиками листьев пшеницы при разном содержании в почве азота и густоте посева / В. П. Якушев, Е. В. Канаш, Д. В. Русаков [и др.] // С.-х. биол., Сельхозбиология, Ш биол, Сельхоз биол, Сельскохозяйственная биология, Сельскохозяйственная биология. – 2022. – № 1. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/korrelyatsionnye-zavisimosti-mezhdu-vegetatsionnymi-inkskami-urozhaem-zerna-i-opticheskimi-harakteristikami-listiev-pshenitsy-pri> (дата обращения: 16.09.2022).

6. Линкина А. В. Использование эко-

лого-ландшафтной информации при кадастровой оценке земель / А. В. Линкина // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2011. – № 3 (30). – С. 158-160.

7. Моделирование взаимодействия поляризованного лазерного излучения с листьями растений / Ю. Н. Кульчин, А. А. Сергеев, Ю. А. Зинин [и др.] // Квантовая электроника. – 2021. – Т. 51. – № 10. – С. 947-952

8. Пономарчук А. И. Дистанционное зондирование в картографии: практикум: учеб. Пособие / А. И. Пономарчук, Е. С. Черепанова, А. Н. Шихов. – Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь. – 2013. – 100 с.

9. Применение искусственных нейронных сетей в задачах управления генетическим алгоритмом / Д. А. Петросов [и др.] // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7. – № 4 (27). – С. 10-11.

10. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 сентября 2022 года N 2567-р «Об утверждении Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на

период до 2030 года». Доступно по: Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс» – Москва, 08.09.2022. – Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/351735594?marker=656010> (дата обращения: 22.09.2022).

11. Тимченко Е. В. Дифференциальные оптические методы контроля состояния растений... Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Е. В. Тимченко. – Самара.: Самарский государственный аэрокосмический университет им. С. П. Королева., 2009. – 117 с.

12. Формирование базы данных оптических характеристик посевов для выделения зон управления на основе дистанционного зондирования / Д. А. Матвеевко [и др.] // Земледелие. – 2021. – № 6. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-bazy-dannyh-opticheskikh-harakteristik-posevov-dlya-vydeleniya-zon-upravleniya-na-osnove-distantsionnogo-zondirovaniya> (дата обращения: 02.09.2022).

CORRELATION DEPENDENCE OF OPTICAL CHARACTERISTICS OF AGROPHYTOCENOSSES DURING REMOTE AND CONTACT-SENSOR MEASUREMENTS

© 2022 A. V. Linkina

Voronezh Institute of High Technologies (Voronezh, Russia)

The article discusses the correlation dependence of the optical characteristics of agrophytocenosis obtained by remote and contact-sensor measurements, on the environmental conditions of their growth and the role of such factors as climate, topography, soil cover and the availability of nutrients. The features of the spectral analysis of high-resolution images in the calculation of various vegetation indices are considered. The features of the use of the normalized difference vegetation index (NDVI) are noting for modeling of agricultural landscapes.

Keywords: reflection index, spectral characteristics, vegetation indices, NDVI, correlation dependence, remote sensing, precision farming.