

Использование NDVI для определения содержания азота в растениях озимой пшеницы в условиях Ставропольского края

И. Г. Сторчак¹, И. В. Чернова¹✉, Ф. В. Ерошенко¹, Т. В. Волошенкова¹, Е. О. Шестакова¹

¹Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

✉E-mail: chernova_skfu@mail.ru

Аннотация. Недостаток азота приводит к снижению урожая и качества зерна у растений озимой пшеницы. Поэтому необходимо контролировать азотное питание в течение всего периода роста и развития растений, что позволит оперативно оценить потребности в минеральных подкормках с целью получения высоких урожаев качественного зерна. **Цель исследования** – установить возможность использования нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) для мониторинга растений озимой пшеницы на предмет содержания азота в условиях Ставропольского края. **Методы.** Работа выполнена в ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» на производственных посевах озимой пшеницы. Отборы растительных образцов (сноповой материал) проводили по общепринятой методике. Повторность – четырехкратная. Определение химического состава органов растений проводили по методике В. Т. Куркаева с соавторами, а содержание хлорофилла – по Милаевой и Примаку. **Результаты.** Так как качество зерна озимой пшеницы напрямую зависит от обеспеченности растений азотом, были изучены взаимосвязи между содержанием азота в растениях озимой пшеницы и значениями вегетационного индекса NDVI. Получены высокие коэффициенты корреляции между этими показателями. Так, в среднем по полям R_{corr} в 2012 году был равен $-0,89$, а в 2013 и 2014 годах $-0,82$. Кроме того, ввиду зависимости содержания азота от количества хлорофилла удалось провести анализ корреляционной связи между этим показателем и NDVI полей, который показал устойчивую обратную связь с количеством хлорофилла в единице биомассы (мг/г) (в среднем оценивается величиной $-0,79$). Выявлена взаимосвязь между качеством зерна и данными дистанционного зондирования Земли. Наиболее явно она прослеживается в случае с максимальным и средним NDVI за период от возобновления весенней вегетации до полной спелости зерна озимой пшеницы.

Ключевые слова: вегетационный индекс, динамика NDVI, озимая пшеница, содержание азота, содержание хлорофилла, качество зерна, коэффициенты корреляции, ДЗЗ.

Для цитирования: Сторчак И. Г., Чернова И. В., Ерошенко Ф. В., Волошенкова Т. В., Шестакова Е. О. Использование NDVI для определения содержания азота в растениях озимой пшеницы в условиях Ставропольского края // Аграрный вестник Урала. 2019. № 12 (191). С. 19–31. DOI: 10.32417/1997-4868-2019-191-12-19-30.

Дата поступления статьи: 13.09.2019.

Постановка проблемы (Introduction)

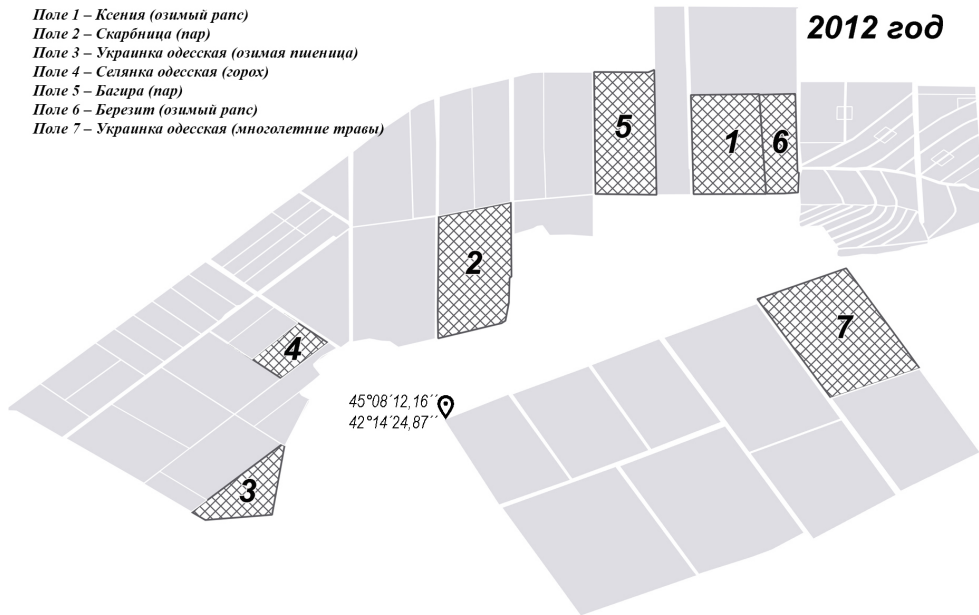
Производство озимой пшеницы традиционно является ведущей отраслью сельского хозяйства Ставропольского края и в значительной степени определяет развитие других отраслей [1, с. 2121]. Получение высококачественного урожая зерна озимой пшеницы является актуальной задачей сельхозтоваропроизводителей, которая сегодня решается путем разработки быстрых и надежных методов мониторинга посевов и контроля хода формирования урожая и качества зерна. Для этого все чаще используют данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [2, с. 202; 3, с. 39]. Спутниковые снимки различного пространственного и временного разрешения [4, с. 162] позволяют получать информацию о состоянии посевов на разных территориальных уровнях: отдельное поле, район или край. Недостаток азотного питания растений озимой пшеницы приводит к снижению не только урожая, но и качества зерна [5, с. 106]. Одной из причин, ведущих к

снижению производства высококачественного зерна в Ставропольском крае (хотя валовый его сбор за последние годы увеличился), является медленный рост вносимых минеральных удобрений [6, с. 24]. Поэтому необходимо контролировать азотное питание на протяжении всего периода роста и развития растений, что позволит своевременно принять необходимые корректировки для получения высоких урожаев качественного зерна. Зачастую способы определения содержания азота в растениях требуют лабораторных анализов, очень трудоемки и длительны по времени.

В литературе встречаются отдельные работы, свидетельствующие о том, что содержание азота в растениях оказывает влияние на данные дистанционного зондирования Земли [7, с. 118]. К сожалению, таких исследований крайне мало, а для условий Ставропольского края они не проводились вовсе. Так как Ставрополье является одним из лидеров в Российской Федерации по производству вы-

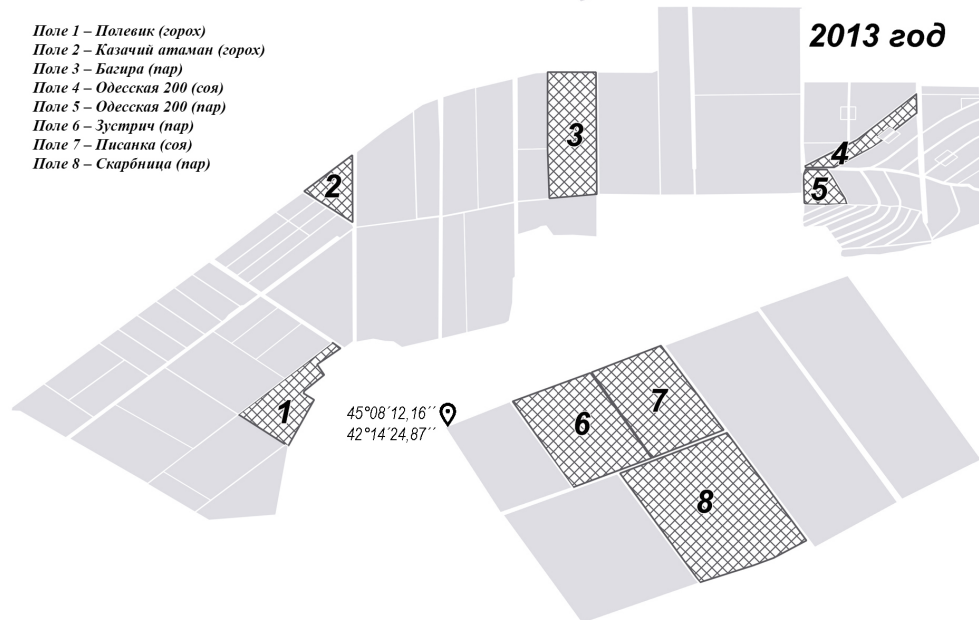
Поле 1 – Ксения (озимый рапс)
Поле 2 – Скарбница (пар)
Поле 3 – Украинка одесская (озимая пшеница)
Поле 4 – Селянка одесская (горох)
Поле 5 – Базира (пар)
Поле 6 – Березит (озимый рапс)
Поле 7 – Украинка одесская (многолетние травы)

2012 год



Поле 1 – Полевик (горох)
Поле 2 – Казачий атаман (горох)
Поле 3 – Базира (пар)
Поле 4 – Одесская 200 (соя)
Поле 5 – Одесская 200 (пар)
Поле 6 – Зустрич (пар)
Поле 7 – Писанка (соя)
Поле 8 – Скарбница (пар)

2013 год



Поле 1 – Писанка (озимый рапс)
Поле 2 – Скарбница (пар)
Поле 3 – Одесская 200 (горох)
Поле 4 – Одесская 200 (горох)
Поле 5 – Одесская 200 (горох)
Поле 6 – Одесская 200 (горох)
Поле 7 – Одесская 200 (многолетние травы)
Поле 8 – Пилипенко (горох)
Поле 9 – Скарбница (пар)
Поле 10 – Украинка одесская (озимая пшеница)

2014 год

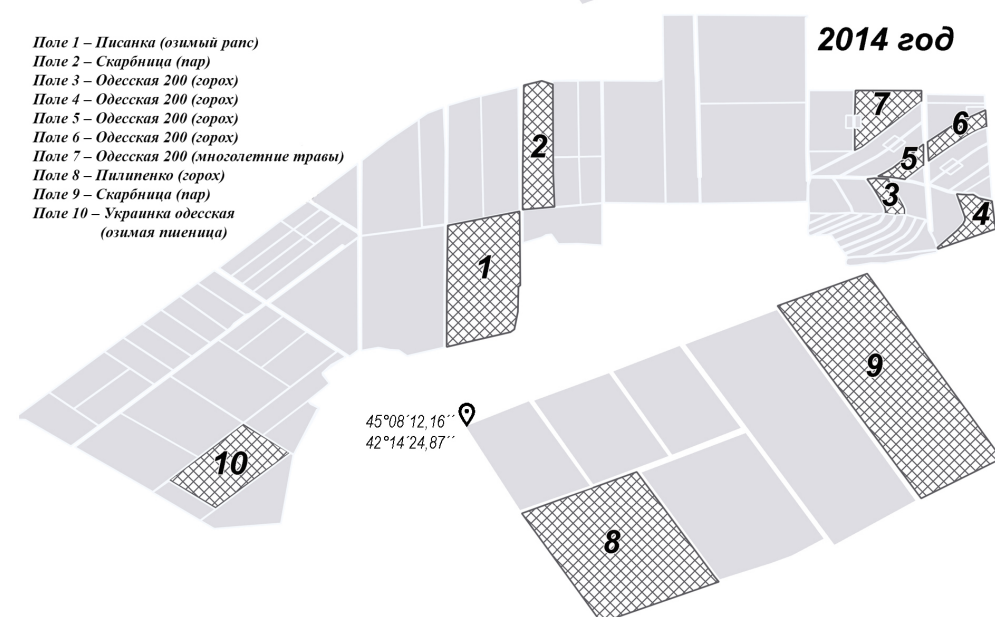


Рис. 1. Размещение посевов озимой пшеницы: а) 2012 год, б) 2013 год, в) 2014 год

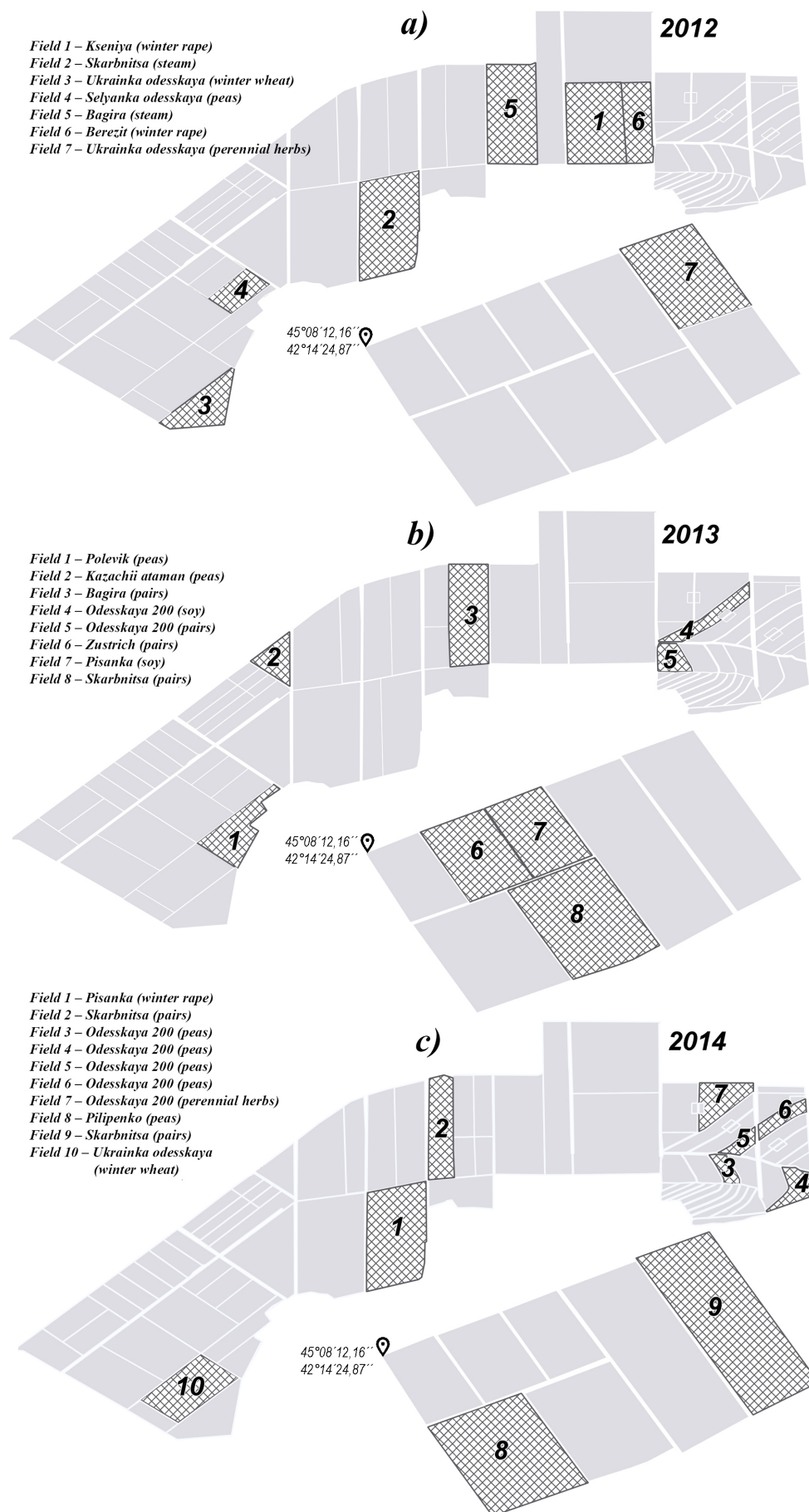


Fig. 1. Placement of winter wheat crops: a) 2012, b) 2013, c) 2014

сококачественного зерна пшеницы, разработка методов объективного контроля условий азотного питания посевов для этого региона приобретает особую актуальность. Поэтому **целью нашей работы** было установление возможности использования нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) для контроля содержания азота в растениях озимой пшеницы в условиях Ставропольского края.

Методология и методы исследования (Methods)

Работа выполнялась с 2012 по 2018 годы в ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» на производственных посевах озимой пшеницы

(рис. 1) [8]. В работе анализировали данные, полученные в фазы весеннего кущения, трубкования, колошения, налива зерна. Отборы растительных образцов (сноповый материал) проводили по общепринятой методике. Повторность – четырехкратная.

Почвы полей Северо-Кавказского ФНАЦ представлены черноземом обыкновенным, среднесуглинистым, малогумусным, тяжелосуглинистым. Реакция почвенных образцов пахотного слоя почвы слабощелочная и нейтральная. Содержание гумуса в слое 0–20 см почвы за весь период наблюдения у всех полей было низкое и находилось в пределах 3,17–3,77 %.

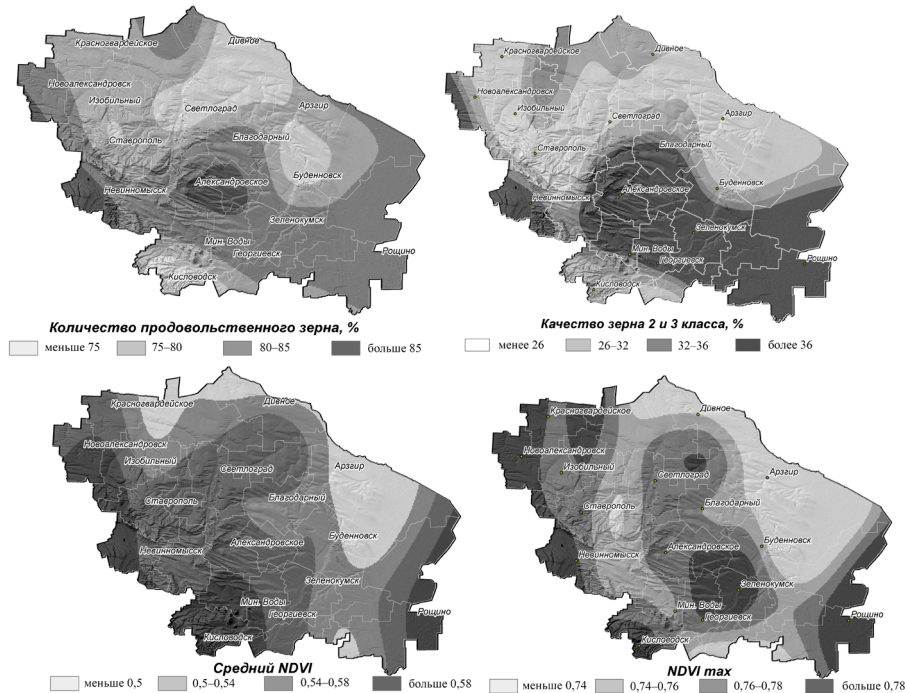


Рис. 2. Распределение по территории Ставропольского края качества зерна и характеристик динамики NDVI озимой пшеницы в 2012–2018 гг.

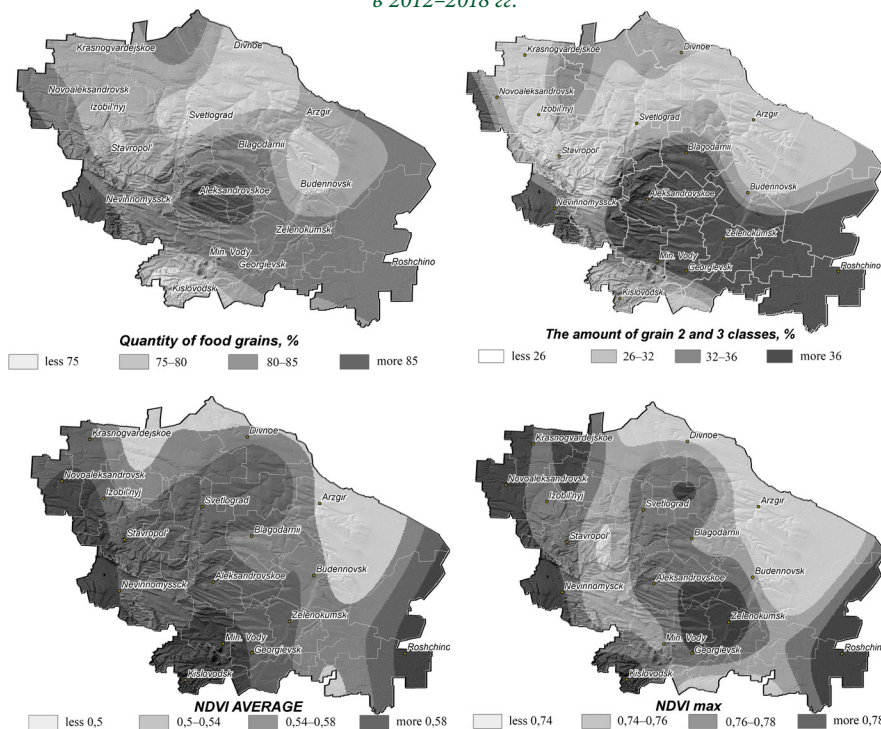


Fig. 2. Distribution of grain quality and characteristics of NDVI dynamics of winter wheat on the territory of Stavropol region in the years 2012–2018

В среднем по полям содержание подвижного фосфора в пахотном слое было в пределах 23–27 мг/кг, азота – находилось в пределах 0,22–0,23 %. У представленных полей содержание обменного калия варьировалось от 140 мг/кг до 470 мг/кг.

Климатические условия 2011–2012 гг. Осенью 2011 г. погодные условия в крае складывались не совсем благоприятно для посева и получения всходов озимой пшеницы. Третья декада сентября отличалась повышенными температурами и недобором осадков. Дожди, способствующие всходам, прошли в 1 и 2 декадах октября. Длительность осенней вегетации в третьей декаде октября была меньше обычной (50–60 дней), причиной этому послужили низкие температуры. Кроме того, наблюдалось позднее возникновение весенней вегетации (переход через +5 °C отмечен в третьей декаде марта). Сложившиеся погодные условия не позволили растениям озимой пшеницы в достаточной мере раскуститься и сформировать оптимальный стеблестой. В апреле и мае отмечался недобор осадков (57 % и 21 % соответственно) на фоне высоких температур (апрель – превышение среднемноголетнего значения на 4,3 °C, май – на 3,7 °C). В результате таких экстремальных условий наблюдалось ускорение (на 10 дней) сроков наступления фаз. В июне, при формировании и наливе зерна, условия вегетации ухудшились (температура превышала среднемноголетнее значение на 2,6 °C), что значительно отразилось на конечном урожае.

2012–2013 гг. Относительно неблагоприятно для сева и появления всходов растений озимой пшеницы сложились агроклиматические условия осени 2012 г. Температурные режимы сентября и октября были превышены в среднем на 2,2 °C и 4,6 °C соответственно на фоне половинной нормы осадков в сентябре и при засушливом октябре (недобор осадков составил 85 %). В первой декаде декабря наблюдался благоприятный водный режим (220 % от нормы), кроме того, высокие температуры на протяжении всего декабря (+6,3 °C, что на +2,6 °C выше нормы) положительно сказывались на развитии посевов озимой пшеницы.

Температурный режим зимних месяцев в крае был превышен на 1,5 °C многолетних значений, наблюдался недобор осадков (43 %). На 14 дней раньше обычного срока отмечалось возобновление весенней вегетации. В марте выпало две нормы осадков, на 2,2 °C температура воздуха превышала среднемноголетние значения. В апреле отмечался недостаточный уровень осадков, температурный режим оставался повышенным. Первая и вторая декады мая характеризовались повышенными температурами (на 4,4 °C выше среднемноголетних значений в первой декаде, на 2,0 °C – во второй). При этом количество осадков второй декады составило около 162 % от среднемноголетних значений. Условия первой декады июня были благоприятными для налива зерна озимой пшеницы. В дальнейшем наблюдалась повышенная температура воздуха (на 2,4 °C выше среднемноголетнего значения во второй декаде и на 1,7 °C – в третьей), недобор осадков в третьей декаде июня составил половину нормы.

2013–2014 гг. Благоприятные условия для роста и развития растений озимой пшеницы сложились в сентябре и октябре 2013 г. В эти месяцы наблюдалось обильное выпадение осадков. На 15 дней раньше среднемноголетних сроков наступило возобновление весенней вегетации. В начале весны средняя температура превышала норму на 2,7 °C, количество осадков в марте составило 129 % от среднемноголетнего значения. В апреле наблюдался недобор осадков (19 %) на фоне пониженной температуры воздуха (на 0,5 °C). Ситуация изменилась в мае, когда температура воздуха превышала норму на 2,8 °C, но обильные осадки (168 %) не позволили оказать отрицательного влияния на ход формирования урожая озимой пшеницы. Благоприятные погодные условия мая компенсировали недобор осадков в июне (46 %). Кроме того, была близка к норме (21,3 °C) и среднемесячная температура воздуха. Таким образом, погодные условия благоприятно влияли на формирование урожая озимой пшеницы в 2014 году.

В целом в 2011–2012 сельскохозяйственном году наблюдалось раннее прекращение осенней и позднее возобновление весенней вегетации на фоне повышенного температурного режима и значительного недобора осадков в весенне-летний период. В начале 2012–2013 сельскохозяйственного года (сентябрь, октябрь) отмечалась сильная засуха, которая в значительной степени компенсировалась благоприятными условиями ноября и декабря, кроме того, отмечалось раннее возобновление весенней вегетации и своевременное выпадение осадков в репродуктивный период. Наиболее благоприятным как по температурному режиму, так и по количеству осадков был 2013–2014 сельскохозяйственный год, положительное влияние наблюдалось во все периоды роста и развития озимой пшеницы.

Нормализованный разностный вегетационный индекс получали с помощью сервиса «Вега» ИКИ РАН [9, с. 581]. Определение химического состава органов растений озимой пшеницы проводили по методике В. Т. Куркаева с соавторами, а содержание хлорофилла – по Милаевой и Примак. Также для анализа использовали данные Статуправления Ставропольского края.

Статистические данные по качеству зерна озимой пшеницы предоставлены Ставропольским филиалом ФГБУ «Федеральный центр оценки безопасности и качества зерна и продуктов его переработки» [10].

Математическую и статистическую обработку полученных данных проводили на персональном компьютере с помощью пакета программ Microsoft Office 2010.

Результаты (Results)

Нами были построены карты распределения качества зерна озимой пшеницы и различных показателей, характеризующих динамику NDVI озимой пшеницы по каждому району Ставропольского края (рис. 2).

На рисунке представлены показатели ДЗЗ, наиболее тесно связанные с качеством зерна. Полного совпадения ни с одной из характеристик нами не выявлено. Однако для таких показателей, как максимальный и средний NDVI за период от начала весенней вегетации до полной спелости, связь прослеживается. Так, максимальные их значения отмечены на территории Изобильного город-

ского округа (ГО) и Новоалександровского ГО, а также Шпаковского муниципального района (МР), Кочубеевского и Предгорного МР, а минимальные – Ипатовского и Нефтекумского ГО, Апанасенковского, Арзгирского и Левокумского МР.

Анализ данных качественных показателей зерна показал, что наибольшее количество зерна 2-го и 3-го классов в Ставропольском крае в 2012–2018 гг. получают в таких муниципальных районах, как Александровский, Кочубеевский, Новоселицкий, Степновский, Курский, а также в Благодарненском, Минераловодском, Георгиевском и Советском ГО. Наименьшее – в Красногвардейском МР,

Петровском ГО, Левокумском МР, Арзгирском МР, Грачевском МР и Шпаковском МР. Максимальное количество продовольственного зерна было выращено на территории Кочубеевского, Александровского и Новоселицкого районов. Минимальные значения этого показателя отмечены в Петровском ГО, Буденновском, Апанасенковском, Предгорном, Туркменском и Арзгирском муниципальных районах. В целом по Ставропольскому краю ухудшение качества производимого зерна озимой пшеницы происходит с запада на восток, так как в этом направлении изменяются почвенно-климатические зоны, следовательно, и условия выращивания.

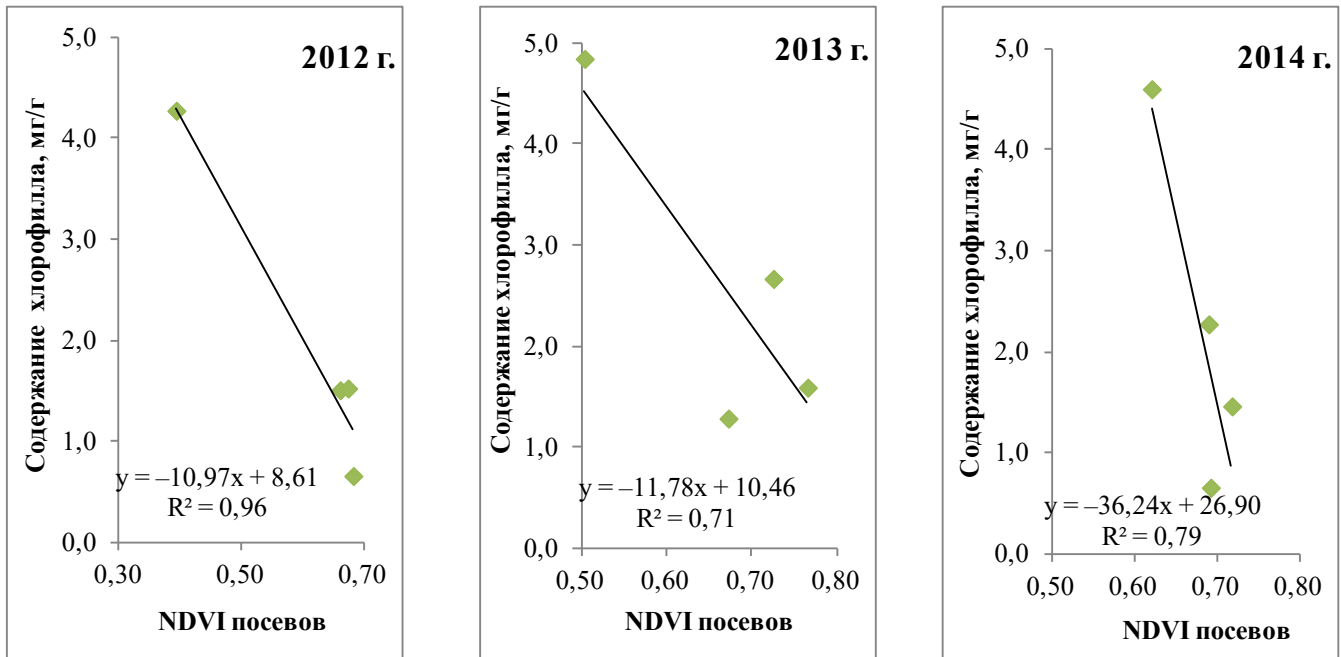


Рис. 3. Регрессионные модели зависимости NDVI посевов от количества хлорофилла в органах растений озимой пшеницы

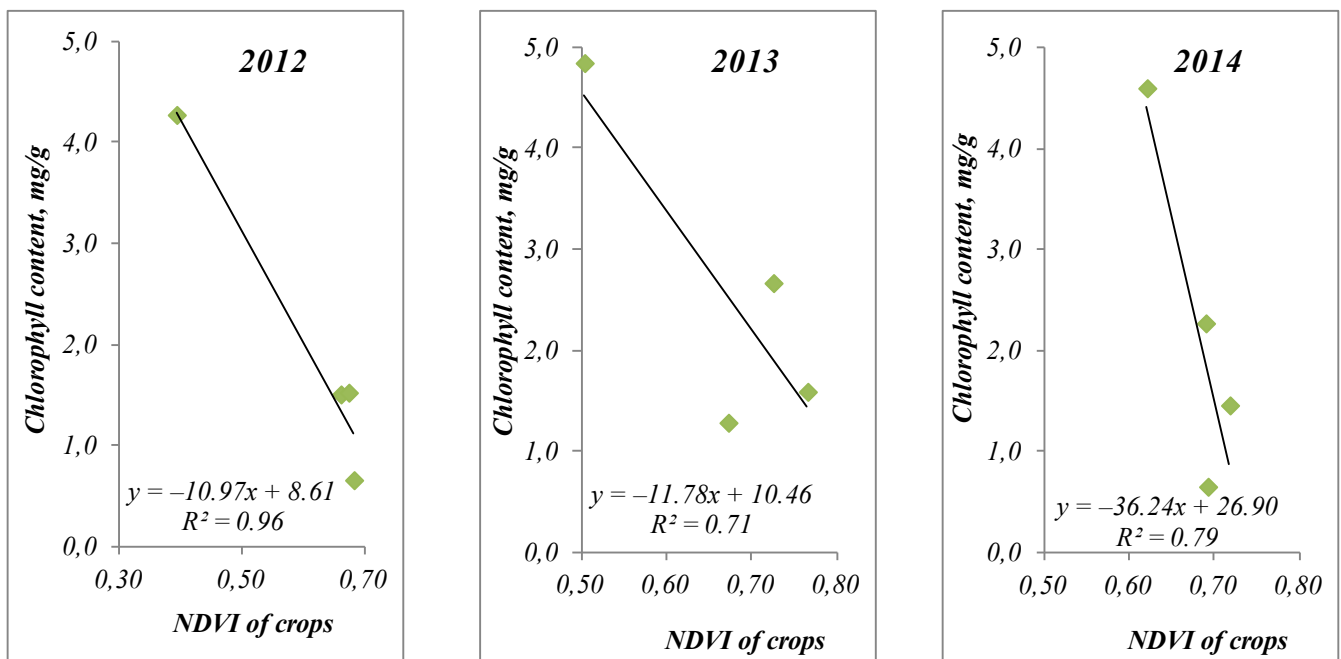


Fig. 3. Regression models of the dependence of NDVI crops on the amount of chlorophyll in the organs of winter wheat plants

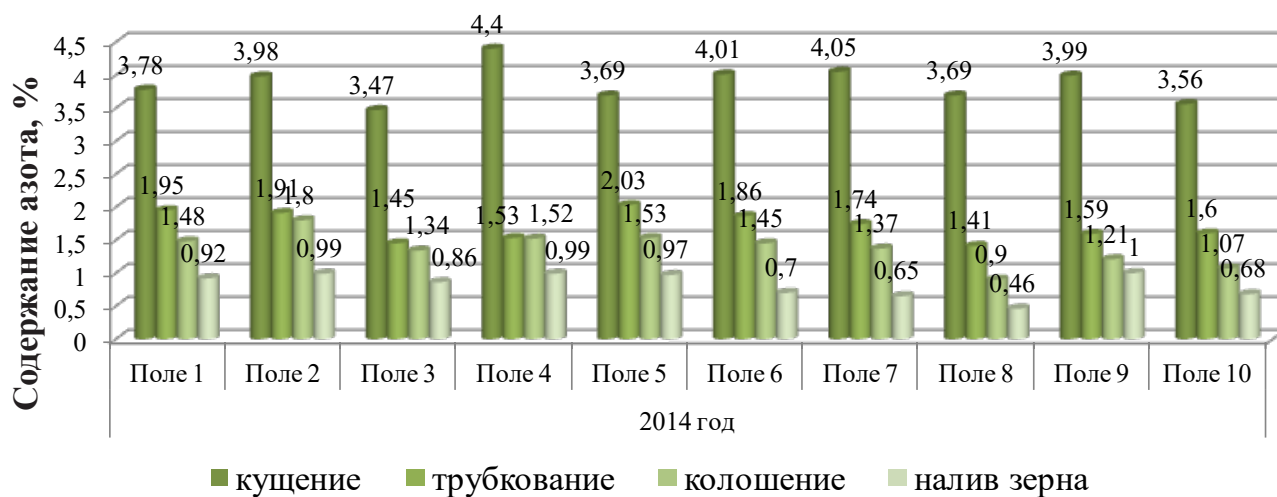
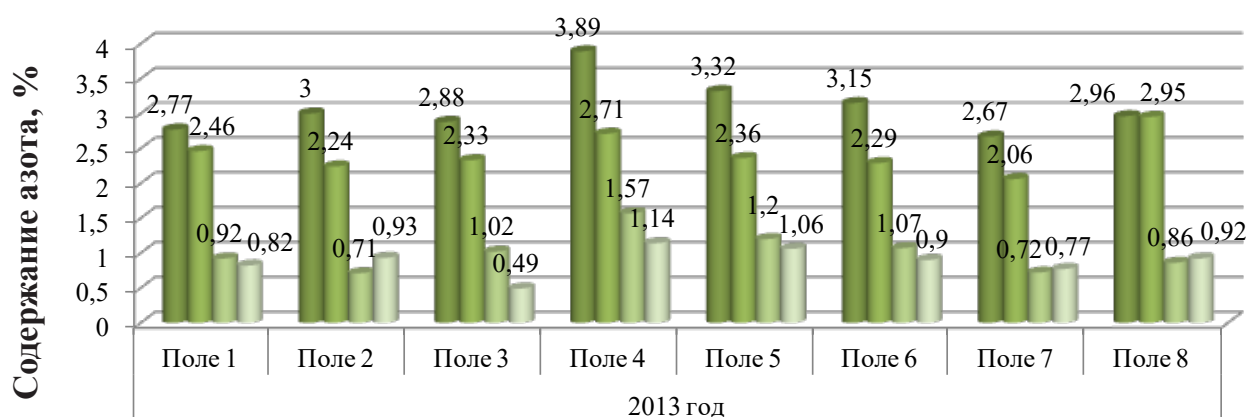
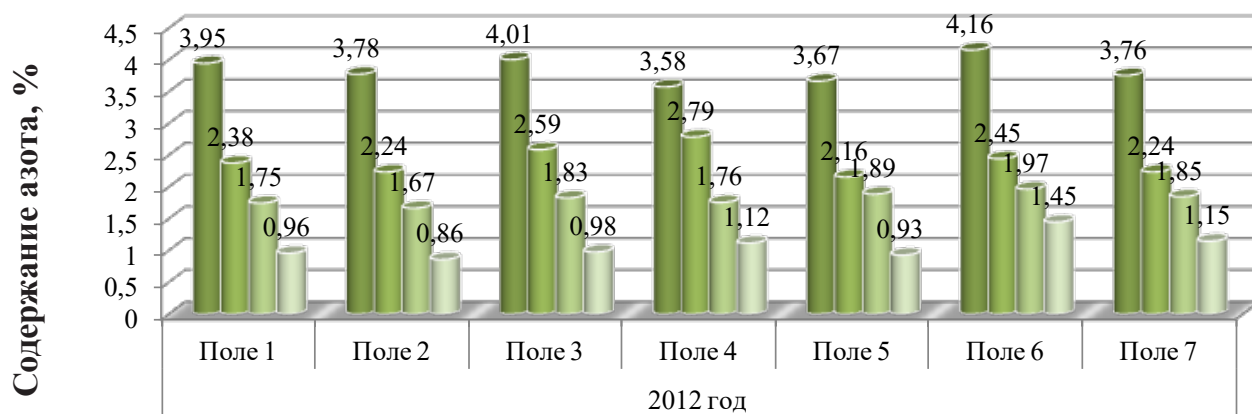


Рис. 4. Динамика относительного содержания азота в растениях озимой пшеницы

Так как качество зерна напрямую зависит от обеспеченности посевов азотом, то есть основание предположить наличие связи между данными дистанционного зондирования Земли с содержанием этого элемента минерального питания в растениях озимой пшеницы.

Исследования по определению содержания азота в растениях на основе данных ДЗЗ связаны с использованием оптических характеристик посевов. Так, отражение в красной области спектра зависит от содержания хлорофилла в растениях озимой пшеницы. В свою очередь,

динамика содержания хлорофилла параллельна динамике концентрации азота в растениях.

Мы проанализировали несколько показателей, связанных с хлорофиллом, характеризующих фотосинтетический аппарата растений: на единицу площади ассимиляционной поверхности – мг/дм^2 , относительное содержание зеленых пигментов в единице биомассы – мг/г , а также валовое их количество на 1 квадратном метре посева – г/м^2 . Провели анализ корреляционной связи между хлорофилловыми показателями посевов озимой пшеницы

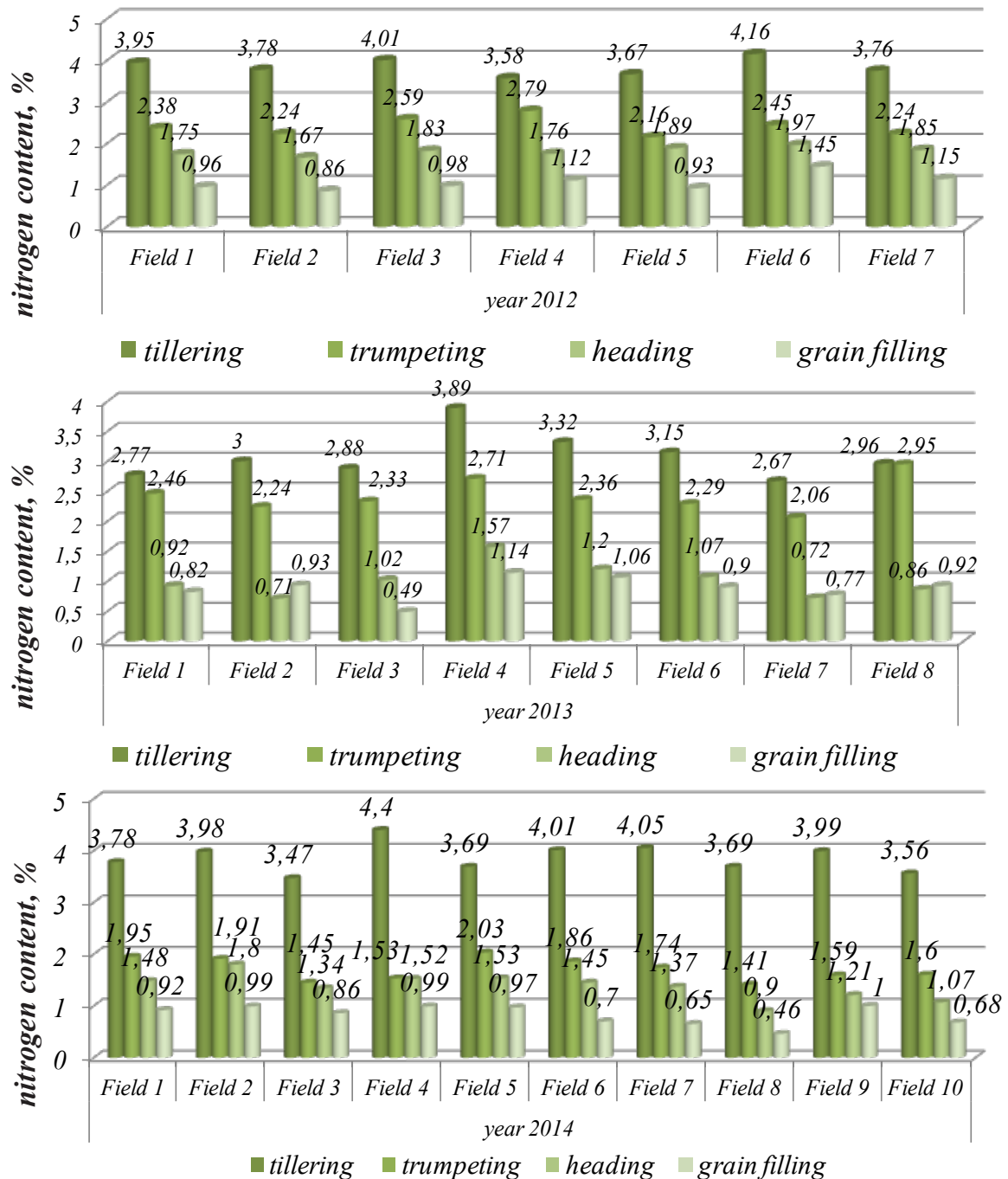


Fig. 4. Dynamics of relative nitrogen content in winter wheat plants

и NDVI для набора полей при разных технологических (сорт, предшественник, удобрения) и погодных (2012, 2013 и 2014 гг.) условиях выращивания. Установили, что корреляционная взаимосвязь достаточно неоднозначна как по годам, так и по объектам, показателям.

Из рассмотренных показателей, связанных с хлорофиллом, наиболее устойчивая связь NDVI прослеживается с содержанием хлорофилла в единице биомассы растений. Эту величину часто используют для определения размеров фотосинтетического аппарата вместе с валовым количеством зеленых пигментов на квадратном метре посева.

В результате анализа полученных данных удалось установить, что коэффициент корреляции между NDVI и относительным содержанием хлорофилла в мг/г составляет величину $-0,79$ в среднем по всем изученным полям

за годы исследований, что указывает на существенную зависимость данных ДЗЗ с количеством фотосинтетических пигментов в органах растений озимой пшеницы.

В результате были построены регрессионные модели, отражающие зависимость NDVI посевов озимой пшеницы от содержания хлорофилла в различных органах растений озимой пшеницы, они наглядно демонстрируют влияние внешних факторов на взаимосвязь между этими оптико-биологическими характеристиками (рис. 3).

Таким образом, наиболее тесная и стабильная взаимосвязь между хлорофилловыми показателями растений озимой пшеницы и вегетационным индексом посевов наблюдается в случае с относительным содержанием зеленых пигментов в единице биомассы, коэффициент корреляции составляет величину $-0,79$.

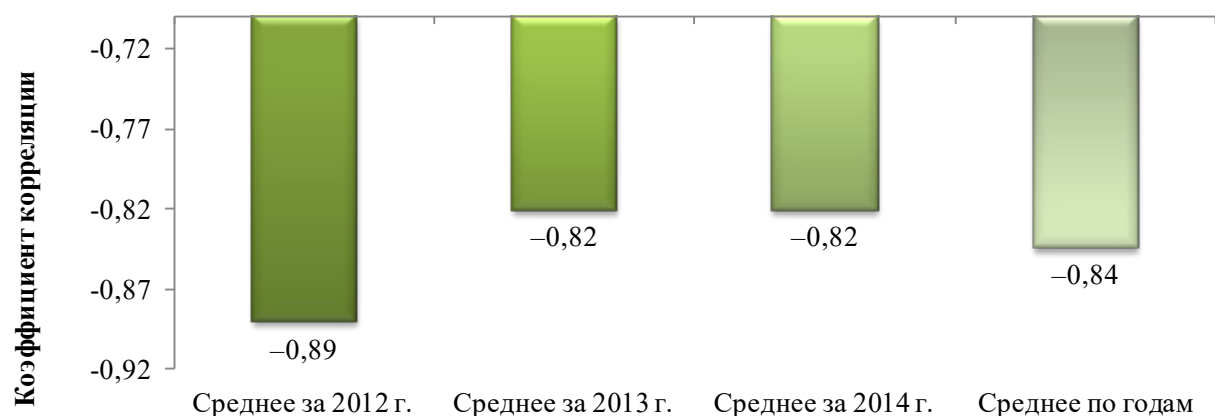


Рис. 5. Коэффициенты корреляции NDVI с содержанием азота в растениях озимой пшеницы

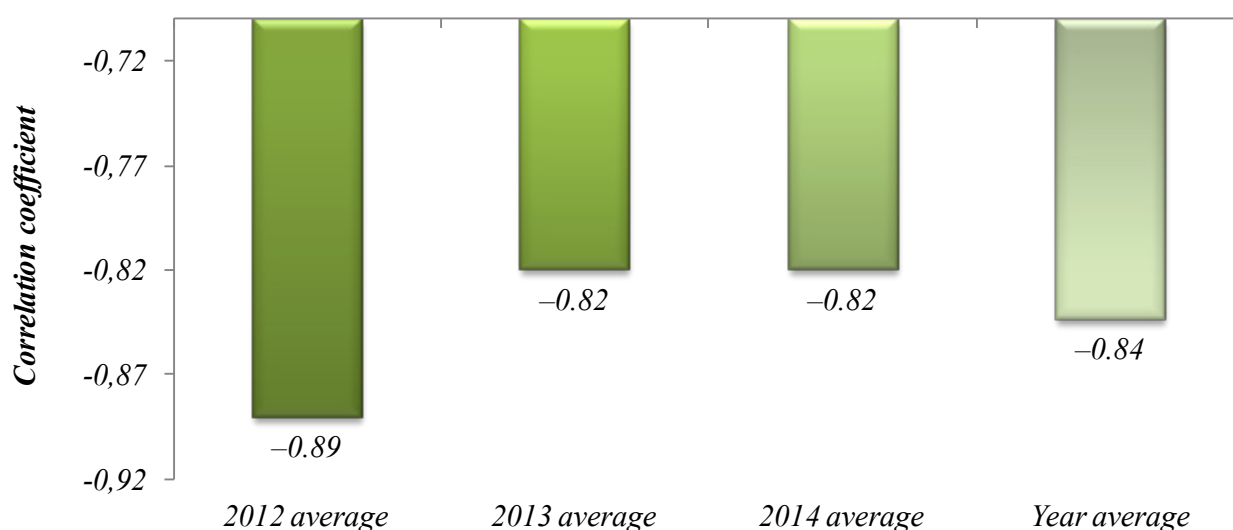


Fig. 5. Correlation coefficients of NDVI with nitrogen content in winter wheat plants

Нами было изучено изменение содержания азота в растениях в течение вегетации (рис. 3). В 2012 году в фазу кущения опытные образцы имели достаточно высокие показатели относительного содержания азота в растениях. Среди них выделяется поле 6 (4,16 %), которое вплоть до периода налива зерна имело высокий показатель (1,45 %) по сравнению с другими образцами. Наиболее низкое содержание азота в фазу кущения наблюдалось на 4-м поле – 3,58 %, но к периоду налива зерна разрыв в показателях сократился и составил 1,12 %, что превышало среднее значение по всем полям (1,06 %). В целом в 2012 г. доля азота в растениях озимой пшеницы значительно превышала показатели 2013, 2014 гг., особенно в периоды колошения и налива зерна.

Результаты растительной диагностики в фазу кущения в 2013 году отразили значительное отставание показателя содержания азота в растениях на всех опытных полях по сравнению с 2012 и 2014 гг. (3,08 % от 3,84 % и 3,86 % соответственно). На поле 7 отличалось самым низким показателем – 2,67 %. В последующие фазы погодные условия способствовали стиранию различий между годами. Так, в период налива зерна средняя доля содержания азота по опытным полям в 2013 г. составила 0,88 %, что выше показателя 2014 г. на 0,06 %.

Анализ относительного содержания азота в растениях озимой пшеницы в 2014 году показал значительную его неустойчивость. Существенные изменения этого показателя были связаны с резким его сокращением при переходе с фазы кущения к фазе трубкования, что, по-видимому, связано с недобором осадков. Так, на 4-м опытном поле относительное содержание азота сократилось с 4,4 % до 1,53 %. В среднем по полям этот показатель составил 1,71 %, что значительно меньше, чем в 2012 и 2013 гг. (2,41 % и 2,42 % соответственно). К фазе налива зерна разрыв значений по годам сократился и составил 0,82 %.

Нами проведен анализ взаимосвязи между содержанием азота в растениях озимой пшеницы и значениями вегетационного индекса NDVI. Были получены довольно высокие коэффициенты корреляции между этими показателями. Так, в среднем по полям R_{corr} в 2012 году был равен -0,89, а в 2013 и 2014 годах – 0,82 (рис. 4).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

1. Для условий Ставропольского края существует взаимосвязь между качеством зерна озимой пшеницы и данными дистанционного зондирования Земли. Наиболее тесной она отмечается в случае с максимальным и средним NDVI за период от возобновления весенней вегетации до полной спелости.

2. Динамика содержания азота в растениях напрямую связана с содержанием хлорофилла. В случае определения содержания хлорофилла в растениях озимой пшеницы данные ДЗЗ наилучшим образом коррелируют с относительным содержанием зеленых пигментов в единице биомассы, коэффициент корреляции составляет величину $-0,79$.

3. Существует обратная связь между вегетационным индексом NDVI и содержанием азота в растениях озимой пшеницы, которая в среднем по годам оценивается коэффициентом корреляции равным $-0,84$. Полученные результаты свидетельствуют о том, что нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) вполне допустимо использовать для оперативного дистанционного контроля содержания азота в растениях озимой пшеницы.

Библиографический список

1. Eroshenko F. V., Simatin T. V., Godunova E. I., Dridiger V. K., Storchak I. G. Using physiologically active substances into the technology for winter wheat cultivation in the zone of unstable moistening of the Stavropol region // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Т. 9. No. 5. Pp. 2121–2128. DOI: 10.25930/gwmr-ad54.
2. Волкова Е. С. Использование ГИС-технологий в сельском хозяйстве Ставропольского края // Проблемы рационального природопользования и пути их решения: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 45-летию ФГБОУ ВО «ДГТУ». Махачкала, 2018. С. 202–204.
3. Фомин Д. С., Чашин А. Н. Вегетационный индекс NDVI в оценке зерновых культур опытных полей Пермского НИИСХ // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (72). С. 39–42.
4. Елкина Е. С., Барталев С. А., Толпин В. А., Лупян Е. А. Возможности сервиса спутникового мониторинга ВЕГА // Современные подходы к изучению экологических проблем в физической и социально-экономической географии: сборник материалов X Международной молодежной школы-конференции Института географии РАН. Москва, 2017. С. 162–163.
5. Федулов Ю. П., Подушин Ю. В., Мязина А. Н., Чухиль А. А., Сафонова Т. Г. Связь нормализованного индекса вегетации (NDVI) с урожайностью посевов озимой пшеницы // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 71-й научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2015 год. Краснодар, 2016. С. 106–107.
6. Ториков В. Е., Осипов А. А. Влияние условий выращивания и минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы // Аграрный вестник Урала, 2015. № 6 (136). С. 24–28.
7. Ерошенко Ф. В. Оценка качества зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае по данным дистанционного зондирования Земли // Бюллетень Ставропольского научно-исследовательского института сельского хозяйства. 2017. № 9. С. 118–128.
8. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений. Стереотип. изд., перепеч. с 5-го изд., доп. и перераб., 1985. М.: Альянс, 2014. 351 с.
9. Толпин В. А., Лупян Е. А., Барталев С. А., Плотников Д. Е., Матвеев А. М. Возможности анализа состояния сельскохозяйственной растительности с использованием спутникового сервиса «ВЕГА» // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 7 (306). С. 581–586.
10. О качестве зерна, произведенного в Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fczerma.ru/News.aspx?id=6445> (дата обращения: 10.04.2019).
11. Ерошенко Ф. В., Барталев С. А., Кулинцев В. В., Сторчак И. Г., Шестакова Е. О., Симатин Т. В. Возможности региональной оценки качества зерна озимой пшеницы на основе спутниковых данных дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 7. С. 153–165. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-153-165.
12. Лупян Е. А., Барталев С. А., Крашенинникова Ю. С., Плотников Д. Е., Толпин В. А., Уваров И. А. Анализ развития озимых культур в южных регионах Европейской части России весной 2018 года на основе данных дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 266–271. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-266-271.
13. Лупян Е. А., Барталев С. А., Крашенинникова Ю. С. Наблюдение аномально раннего развития сельскохозяйственных культур в южных регионах России весной 2016 года на основе данных дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 240–243. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-2-240-243.
14. ГОСТ Р 54478-2011. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице [Электронный ресурс]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/51588> (дата обращения: 22.04.2019).
15. Pashkova G. I., Kuzminykh A. N., Gryazina F. I., Evdokimova M. A., Novoselov S. I., Ivanova A. V. The activity of glutamine synthetase enzyme, content of ammonia and phytometrcal indexes of spring wheat planting depending on different tie periods and doses of nitrogen fertilizers // Biology and Medicine. 2016. Т. 8. No. 7. P. 352.

Об авторах:

Ирина Геннадьевна Сторчак¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела физиологии растений, ORCID 000-0001-8741-6882, AuthorID 760778; +7 918 747-02-56, sniish.storchak@gmail.com

Ирина Владимировна Чернова¹, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории оценки экологического состояния агроценозов, ORCID 0000-0001-7438-6880, AuthorID 744093; +7 918 885-79-37, chernova_skfu@mail.ru

Федор Владимирович Ерошенко¹, доктор биологических наук, заведующий отделом физиологии растений, ORCID 0000-0003-0238-3861, AuthorID 319650; +7 962 454-14-96, yer-sniish@mail.ru

Татьяна Владимировна Волошенкова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории оценки экологического состояния агроценозов, ORCID 0000-0001-9323-3708, AuthorID 69271; +7 909 385-80-55, tvoloshenkova@yandex.ru

Елена Олеговна Шестакова¹, научный сотрудник лаборатории ГИС-технологий, ORCID 0000-0001-5764-0576, AuthorID 917940; +7 988 858-18-85, shestakova.e.o@yandex.ru

¹ Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

The use of NDVI to determine the nitrogen content in winter wheat plants in the Stavropol region

I. G. Storchak¹, I. V. Chernova¹✉, F. V. Eroshenko¹, T. V. Voloshenkova¹, E. O. Shestakova¹

¹ North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, Mikhailovsk, Russia

✉ E-mail: chernova_skfu@mail.ru

Abstract. Lack of nitrogen leads to a decrease in yield and grain quality in winter wheat plants. Therefore, it is necessary to monitor nitrogen nutrition throughout the period of growth and development of plants, which will quickly assess the need for fertilizing to obtain high yields of quality grain. Therefore, the aim of the study was to establish the possibility of using the normalized difference vegetation index (NDVI) to control the nitrogen content in winter wheat plants in the Stavropol territory. **Methods.** The work was performed in federal state budgetary scientific institution “North-Caucasian Federal Agricultural Research Centre” at the production of winter crops. Selection of plant samples (sheaf material) was carried out according to the generally accepted method. Repeated – 4x. Determination of the chemical composition of plant organs was carried out by the method of V. T. Kurkaev with co-authors, and the content of chlorophyll – Milaeva and Primak. **Results.** Since the quality of winter wheat grain directly depends on the nitrogen supply of plants, the relationships between the nitrogen content in winter wheat plants and the values of the vegetation index NDVI were studied. High correlation coefficients between these indicators are obtained. Thus, the average of R_{corr} fields in 2012 it was equal to -0.89 , and in 2013 and 2014 -0.82 . In addition, due to the dependence of nitrogen content on the amount of chlorophyll, it was possible to analyze the correlation between these indicators and NDVI fields, which showed that a stable relationship (inverse) is observed in the case of the amount of chlorophyll per unit biomass (mg/g), which is estimated on average at -0.79 . The interrelation between grain quality and earth remote sensing data is revealed. It is most clearly seen in the case of the maximum and average NDVI for the period from the resumption of spring vegetation to full ripeness of winter wheat. **Scientific novelty.** For the first time in the conditions of unstable humidification of the Stavropol territory, a high inverse correlation between the vegetation index NDVI and the nitrogen content in winter wheat plants was determined, which on average is estimated by the correlation coefficient equal to -0.84 .

Keywords: vegetation index, NDVI dynamics, winter wheat, nitrogen content, chlorophyll content, grain quality, correlation coefficients, remote sensing.

For citation: Storchak I. G., Chernova I. V., Eroshenko F. V., Voloshenkova T. V., Shestakova E. O. Ispol'zovaniye NDVI dlya opredeleniya soderzhaniya azota v rasteniyakh ozimoy pshenitsy v usloviyakh Stavropol'skogo kraya [The use of NDVI to determine the nitrogen content in winter wheat plants in the Stavropol region] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. Pp. 19–30. DOI: 10.32417/1997-4868-2019-191-12-19-30. (In Russian.)

Paper submitted: 13.09.2019.

References

1. Eroshenko F. V., Simatin T. V., Godunova E. I., Dridiger V. K., Storchak I. G. Using physiologically active substances into the technology for winter wheat cultivation in the zone of unstable moistening of the Stavropol region // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. T. 9. No. 5. Pp. 2121–2128. DOI: 10.25930/gwmmr-ad54.
2. Volkova E. S. Ispol'zovaniye GIS-tekhnologiy v sel'skom khozyaystve Stavropol'skogo kraya [Use of GIS technologies in agriculture of Stavropol territory] // Problemy ratsional'nogo prirodopol'zovaniya i puti ikh resheniya: sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 45-letiyu FGBOU VO “DGTV”. Makhachkala, 2018. Pp. 202–204. (In Russian.)
3. Fomin D. S., Chashchin A. N. Vegetatsionnyy indeks NDVI v otsenke zernovykh kul'tur opytnykh poley Permskogo NI-ISKH [Vegetation index NDVI in the assessment of grain crops of experimental fields of Perm Scientific Research Institute of Agriculture] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. No. 4 (72). Pp. 39–42. (In Russian.)

4. Elkina E. S., Bartalev S. A., Tolpin V. A., Lupyan E. A. Vozmozhnosti servisa sputnikovogo monitoringa VEGA [VEGA satellite monitoring service capabilities] // *Sovremennyye podkhody k izucheniyu ekologicheskikh problem v fizicheskoy i sotsial'no-ekonomicheskoy geografii: sbornik materialov X Mezhdunarodnoy molodezhnoy shkoly-konferentsii Instituta geografii RAN*. Moscow, 2017. Pp. 162–163. (In Russian.)
5. Fedulov Yu. P., Podushin Yu. V., Myazina A. N., Chukhil' A. A., Safonova T. G. Svyaz' normalizovannogo indeksa vegetatsii (NDVI) s urozhaynost'yu posevov ozimoy pshenitsy [The relationship between the normalized vegetation index (NDVI) and the yield of winter wheat crops] // *Nauchnoye obespecheniye agropromyshlennogo kompleksa: sbornik statey po materialam 71-y nauchno-prakticheskoy konferentsii prepodavateley po itogam NIR za 2015 god*. Krasnodar, 2016. Pp. 106–107 (In Russian.)
6. Torikov V. E., Osipov A. A. Vliyaniye usloviy vyrashchivaniya i mineral'nykh udobreniy na urozhaynost' i kachestvo zerna ozimoy pshenitsy [The influence of growing conditions and mineral fertilizers on the yield and quality of grain of winter wheat] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2015. No. 6 (136). Pp. 24–28. (In Russian.)
7. Eroshenko F. V. Otsenka kachestva zerna ozimoy pshenitsy v Stavropol'skom kraye po dannym distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Grain quality assessment of winter wheat in the Stavropol Territory according to Earth remote sensing data] // *Byulleten' Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta sel'skogo khozyaystva*. 2017. No. 9. Pp. 118–128. (In Russian.)
8. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy): uchebnik dlya vysshikh sel'skokhozyaystvennykh uchebnykh zavedeniy [Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results): textbook for higher agricultural educational institutions]. Stereotyped edition, reprinted from the 5th edition, supplemented and revised. 1985. Moscow: Al'yans, 2014. 351 p. (In Russian.)
9. Tolpin V. A., Lupyan E. A., Bartalev S. A., Plotnikov D. E., Matveyev A. M. Vozmozhnosti analiza sostoyaniya sel'skokhozyaystvennoy rastitel'nosti s ispol'zovaniyem sputnikovogo servisa "VEGA" [Possibilities for analyzing the state of agricultural vegetation using the VEGA satellite service] // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2014. T. 27. No. 7 (306). Pp. 581–586. (In Russian.)
10. O kachestve zerna, proizvedennogo v Rossiyskoy Federatsii [About the quality of grain produced in the Russian Federation] [e-resource]. URL: <http://www.fczerna.ru/News.aspx?id=6445> (appeal date: 10.04.2019). (In Russian.)
11. Eroshenko F. V., Bartalev S. A., Kulintsev V. V., Storchak I. G., Shestakova E. O., Simatin T. V. Vozmozhnosti regional'noy otsenki kachestva zerna ozimoy pshenitsy na osnove sputnikovyykh dannyykh distantsionnogo zondirovaniya [Possibilities of a regional assessment of winter wheat grain quality based on satellite remote sensing data] // *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2017. T. 14. No. 7. Pp. 153–165. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-153-165. (In Russian.)
12. Lupyan E. A., Bartalev S. A., Krashenninnikova Yu. S., Plotnikov D. E., Tolpin V. A., Uvarov I. A. Analiz razvitiya ozimyykh kul'tur v yuzhnykh regionakh Evropeyskoy chasti Rossii vesnoy 2018 goda na osnove dannyykh distantsionnogo monitoring [Analysis of the development of winter crops in the southern regions of the European part of Russia in the spring of 2018 based on remote monitoring data] // *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2019. T. 16. No. 1. Pp. 266–271. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-266-271. (In Russian.)
13. Lupyan E. A., Bartalev S. A., Krashenninnikova Yu. S. Nablyudeniye anomal'no rannego razvitiya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v yuzhnykh regionakh Rossii vesnoy 2016 goda na osnove dannyykh distantsionnogo monitoringa [Observation of abnormally early crop development in the southern regions of Russia in the spring of 2016 based on remote monitoring data] // *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2016. T. 13. No. 2. Pp. 240–243. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-2-240-243 (In Russian.)
14. GOST R 54478-2011. Zerno. Metody opredeleniya kolichestva i kachestva kleykoviny v pshenitse [GOST R 54478-2011. Corn. Methods for determining the quantity and quality of gluten in wheat] [e-resource]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/51588> (appeal date: 22.04.2019). (In Russian.)
15. Pashkova G. I., Kuzminykh A. N., Gryazina F. I., Evdokimova M. A., Novoselov S. I., Ivanova A. V. The activity of glutamine synthetase enzyme, content of ammonia and phytometrcal indexes of spring wheat planting depending on different tie periods and doses of nitrogen fertilizers // *Biology and Medicine*. 2016. T. 8. No. 7. P. 352.

Authors' information:

Irina G. Storchak¹, candidate of agricultural sciences, senior researcher at the department of plant physiology, ORCID 000-0001-8741-6882, AuthorID 760778; +7 918 747-02-56, sniish.storchak@gmail.com

Irina V. Chernova¹, candidate of geographical sciences, senior researcher of the laboratory for assessing the ecological state of agrocenoses, ORCID 0000-0001-7438-6880, AuthorID 744093; +7 918 885-79-37, chernova_skfu@mail.ru

Fedor V. Eroshenko¹, doctor of biological sciences, head of the department of plant physiology, ORCID 0000-0003-0238-3861, AuthorID 319650; +7 962 454-14-96, yer-sniish@mail.ru

Tatyana V. Voloshenkova¹, candidate of agricultural sciences, chief researcher of the laboratory for assessing the ecological state of agrocenoses, ORCID 0000-0001-9323-3708, AuthorID 69271; +7 909 385-80-55, tvoloshenkova@yandex.ru

Elena O. Shestakova¹, researcher at the GIS-technology laboratory, ORCID: 0000-0001-5764-0576, AuthorID 917940; +7 988 858-18-85, shestakova.e.o@yandex.ru

¹ North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, Mikhailovsk, Russia