

УДК: 633.11«324»:581.144:581.131.1(470.63)

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-199-209

Ф.В. Ерошенко¹, И.Г. Сторчак², И.В. Энговатова³, А.А. Лиховид⁴

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА В РАСТЕНИЯХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ФАЗЕ КОЛОШЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

АННОТАЦИЯ

Изучена возможность использования данных дистанционного зондирования Земли (RED, NIR, NDVI) для мониторинга содержания азота в растениях озимой пшеницы в условиях производственных посевов. Исследование проведено в два этапа: 1) анализ корреляционной связи показателей NDVI и содержания азота на производственных посевах ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»; 2) сравнительный анализ корреляционной связи содержания азота и данных ДЗЗ в условиях сельхозпредприятия «Родина» Шпаковского района Ставропольского края.

Отборы растительных образцов (сноповой материал) проводили по общепринятой методике. Повторность — 4-кратная. Определение химического состава органов растений проводили по методике В.Т. Куркаева с соавторами, а содержание хлорофилла — по методу Я.И. Милаёвой и Н.П. Примак. В работе использованы данные дистанционного зондирования Земли, полученные сканирующим спектрометрическим прибором Modis и предоставленные спутником Terra.

На первом этапе изучена взаимосвязь содержания азота в растениях озимой пшеницы и значений нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI). Доказано наличие высокой корреляции между этими показателями на ранних этапах роста и развития растений озимой пшеницы. Коэффициент корреляции в среднем по полям в 2012 г. был равен -0,89, а в 2013 и 2014 гг. — -0,82. В более поздние фазы роста и развития растений озимой пшеницы такая связь не выявлена.

На втором этапе установлена целесообразность применения показателя отражения в красной области спектра (RED) для оценки содержания азота в фазе колошения на локальном уровне (отдельное сельхозпредприятие). В этих условиях наблюдалась устойчивая обратная корреляционная связь, величина которой составила -0,71 (в среднем по трём годам исследований). При использовании в анализе других показателей ДЗЗ (NDVI и NIR) связи либо отсутствуют, либо проявляются в меньшей степени.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вегетационный индекс, динамика NDVI, озимая пшеница, содержание азота, Terra (Modis)

¹ ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ул. Никонова, д. 49, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, Михайловск, Россия; *e-mail*: yer-sniish@mail.ru

² ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ул. Никонова, д. 49, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, Михайловск, Россия; *e-mail*: sniish.storchak@gmail.com

³ ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ул. Никонова, д. 49, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, Михайловск, Россия; *e-mail*: chernova_skf@mail.ru

⁴ ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», ул. Пушкина, д. 1, 355000, Ставропольский край, Ставрополь, Россия; *e-mail*: ALikhovid@mail.ru

Fedor V. Eroshenko¹, Irina G. Storchak², Irina V. Engovatova³, Andrey A. Likhovid⁴

**POSSIBILITY OF DETERMINING THE NITROGEN CONTENT
IN WINTER WHEAT PLANTS DURING THE EARING PHASE
USING REMOTE SENSING DATA**

ABSTRACT

The study examined the possibility of using remote sensing Data (RED, NIR, NDVI) for monitoring winter wheat crops in production conditions for nitrogen content in plants. This work is divided into two stages: 1) analysis of the correlation between NDVI indicators and nitrogen content on production crops of the North-Caucasian FNAC; 2) comparative analysis of the correlation between nitrogen content and remote sensing data in the conditions of the “Rodina” agricultural enterprise in the Shpakovsky district of the Stavropol territory.

Selection of plant samples (sheaf material) was carried out according to the generally accepted method. Repeatability — 4-fold. The chemical composition of plant organs was determined using the method of V.T. Kurkaev and co-authors, and the chlorophyll content was determined by Y.I. Milaeva and N.P. Primak. We used the earth remote sensing data provided by the Terra satellite and obtained by the Modis scanning Spectroradiometer.

At the first stage, the relationships between the nitrogen content in winter wheat plants and the values of the normalized difference vegetation index (NDVI) were studied. At the early stages of growth and development of winter wheat plants, high correlation coefficients between these indicators were obtained. Thus, the correlation coefficient on average for the fields in 2012 was equal to -0.89, and in 2013 and 2014 — -0.82. In later phases of growth and development of winter wheat plants, this relationship was not observed.

At the second stage, it was found that it is advisable to use the red reflection index to assess the nitrogen content at the local level (a separate agricultural enterprise) in the earing phase. In this case, there is a stable inverse correlation — the average for three years of research was -0.71. When other remote sensing indicators (NDVI and NIR) are used in the analysis, the links are either absent or less apparent.

KEYWORDS: vegetation index, NDVI dynamics, winter wheat, nitrogen content, Terra (Modis)

ВВЕДЕНИЕ

Азот является одним из важнейших элементов минерального питания зерновых культур. Его недостаток приводит к снижению урожайности и качества зерна озимой пшеницы. Существенное влияние на качество урожая оказывает некорневая азотная подкормка в фазе колошения. Так, в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края применение азотной подкормки на VIII этапе органогенеза озимой пшеницы способствовало повышению урожайности на 3,1 ц/га и улучшению качества зерна, за счёт увеличения содержания сырой клейковины на 2,5 % [Ерошенко и др., 2014]. Поэтому контроль азотного питания на протяжении всего периода роста и развития, в том числе в колошение озимой пшеницы, позволяет оценить потребность в азотных подкормках и является одной из важнейших

¹ North-Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Nikonova str., 49, 356241, Stavropol Territory, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Russia; *e-mail*: yer-sniish@mail.ru

² North-Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Nikonova str., 49, 356241, Stavropol Territory, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Russia; *e-mail*: sniish.storchak@gmail.com

³ North-Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Nikonova str., 49, 356241, Stavropol Territory, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Russia; *e-mail*: chernova_skf@mail.ru

⁴ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “North Caucasian Federal University”, Pushkin str., 1, 355000, Stavropol Territory, Stavropol, Russia; *e-mail*: Likhovid@mail.ru

задач аграрной науки. Необходимость применения некорневых азотных подкормок в фазе колошения определяется по результатам листовой диагностики, основанной на определении содержания азота в трёх верхних листьях растений.

С другой стороны, диагностика и контроль азотного питания сельскохозяйственных культур является наиболее сложной и недостаточно решённой проблемой в системе агроценозов [Гамзиков, 2018]. Причина этого — высокая мобильность минеральных соединений азота в почве [Завалин и др., 2018], тогда как методы определения содержания азота в растениях основаны на очень трудоёмких и длительных по времени лабораторных анализах.

В современной науке проблему оценки растений озимой пшеницы на предмет содержания азота целесообразно решать быстрыми и надёжными методами, основанными на использовании данных ДЗЗ. Поскольку оптические свойства посевов связаны с условиями минерального питания [Магомедов, 2008], то диагностику содержания азота в растениях озимой пшеницы возможно проводить на основе коэффициентов спектральных яркостей. Так, в красной области спектра фотосинтетически активной радиации (RED) находится один из максимумов поглощения света молекулой хлорофилла, а в инфракрасной (NIR) — область максимального отражения клеточных структур растений. В свою очередь, содержание хлорофилла высоко коррелирует с содержанием азота в растении и с продуктивностью растений озимой пшеницы [Андреанова, Тарчевский, 2000].

В связи с этим NDVI, значение которого рассчитывается исходя из указанных коэффициентов, является технологически удобным параметром для оценки состояния растений в течение их роста и развития.

NDVI может быть рассчитан на основе любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющих спектральные каналы в красном (0,55–0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75–1,0 мкм). Алгоритм расчёта NDVI встроен практически во все распространённые пакеты программного обеспечения, связанные с обработкой данных дистанционного зондирования:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

Для растительности индекс NDVI принимает положительные значения, обычно от 0,2 до 0,8. Отрицательные значения принимает в зоне облачности, снега или льда.

В научной литературе встречаются отдельные работы, свидетельствующие о том, что содержание азота в растениях оказывает влияние на данные дистанционного зондирования Земли [Ерошенко, 2017; Малышевский, 2018]. К сожалению, таких исследований крайне мало, а для производственных условий они не проводились вовсе. Поскольку Ставрополье является одним из лидеров в Российской Федерации по производству высококачественного зерна пшеницы, разработка методов объективного контроля условий азотного питания посевов для этого региона приобретает особую актуальность.

В связи с вышесказанным целью нашей работы было установить возможность использования коэффициентов спектральной яркости (RED и NIR), а также NDVI для оценки содержания азота в растениях озимой пшеницы на производственных посевах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнялась с 2012 по 2014 гг. в ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» на производственных посевах различных сортов озимой пшеницы (рис. 1) [Доспехов, 2014]. В работе анализировали данные, полученные в фазы весеннего кущения, трубкования, колошения, налива зерна. Отборы растительных образцов (сноповой материал) проводили по общепринятой методике. Повторность — 4-кратная. Кроме того, в 2013, 2014 и 2015 гг. в ООО СХП «Родина» Шпаковского района Ставропольского края на производственных посевах озимой пшеницы в рамках НИОКР проводили исследования по состоянию растений в фазе колошения.

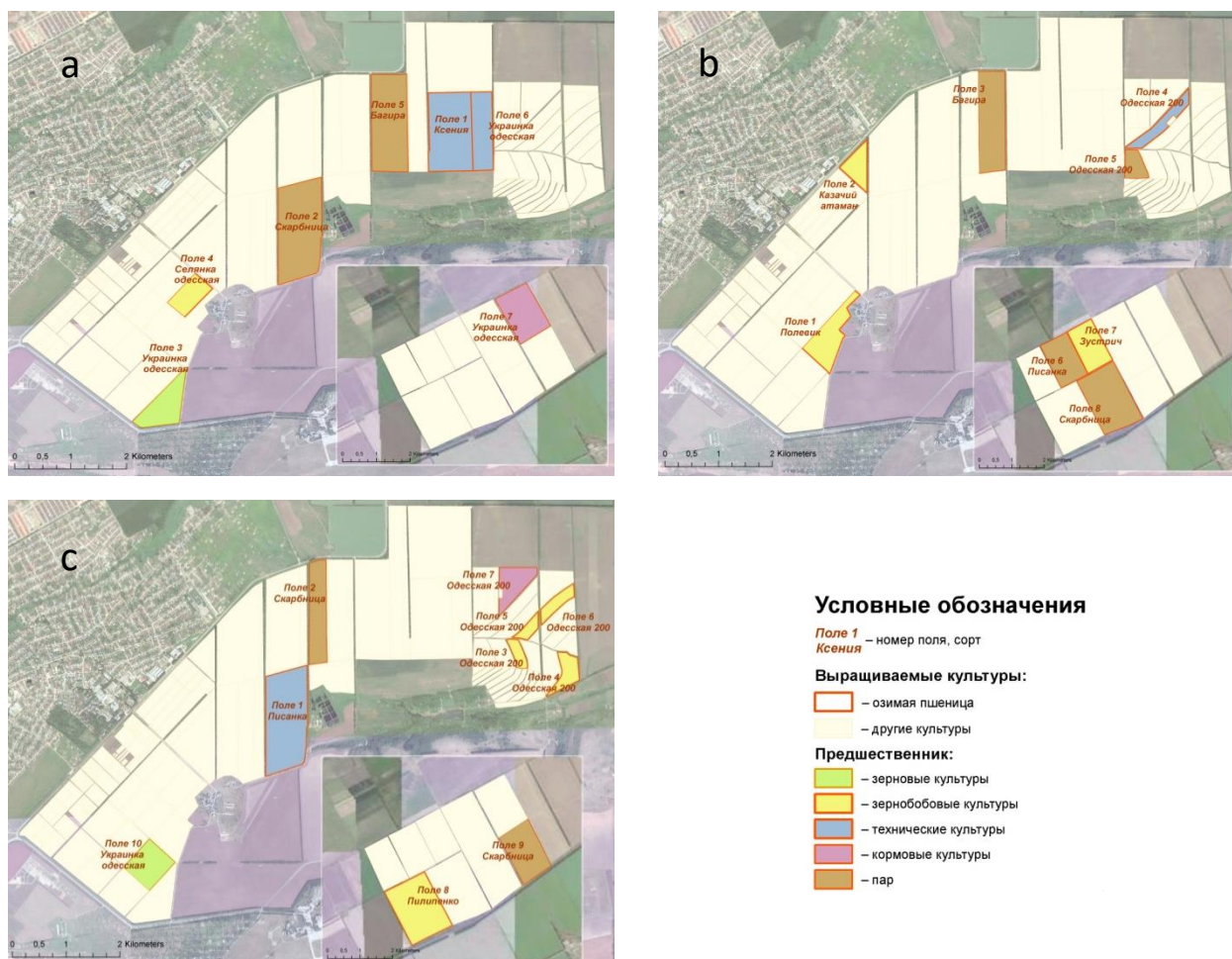


Рис. 1. Размещение посевов озимой пшеницы: а — 2012 г., б — 2013 г., с — 2014 г.
 Fig. 1. Placement of winter wheat crops: a — 2012, b — 2013, c — 2014

Определение химического состава органов растений озимой пшеницы проводилось согласно методике В.Т. Куркаева с соавторами, а содержание хлорофилла — по методу Я.И. Милаёвой и Н.П. Примак.

В качестве базового геоинформационного программного обеспечения использовалась платформа Quantum GIS 2.18, математическая и статистическая обработка данных проводилась в табличном редакторе Microsoft Excel 2010. Источником данных дистанционного зондирования производственных посевов послужил сервис ВЕГА-Science (sci-vega.ru) Института космических исследований РАН. Данный спутниковый сервис решает задачи сбора, хранения, предварительной обработки спутниковых данных и их тематического анализа. Архивы данных Веги представляют собой космические изображения различного пространственного разрешения (поступают более чем с 15 космических аппаратов с 2000 г.), прошедшие атмосферную коррекцию. Сервис позволяет анализировать с использованием временных рядов вегетационных индексов состояние растительного покрова (например, посевов сельскохозяйственных культур и лесов), его сезонную и многолетнюю динамику для любого заданного пользователем полигона (поля, лесного выдела и т.п.) [Ёлкина и др., 2017].

Нами были использованы данные спутника Terra, полученные сканирующим спектрорадиометром Modis. Приборы датчика фиксируют данные в 36 спектральных диапазонах длин волн от 0,4 мкм до 14,4 мкм и при различных пространственных разрешениях

(2 полосы на 250 м, 5 полос на 500 м и 29 полос на 1 км). Использовались спектральные каналы в красном (0,55–0,75 мкм) и инфракрасном диапазонах (0,75–1,0 мкм) с пространственным разрешением 250 м. Частота съёмки — 1–2 дня.

Каждому полю присваивалось среднее значение коэффициентов спектральной яркости в границах поля. В дальнейшем по ним рассчитывался коэффициент корреляции.

Почвы исследуемых полей представлены чернозёмом обыкновенным среднетяжелым 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 низким и находилось в пределах 3,17–3,77 %. В среднем по полям содержание подвижного фосфора в пахотном слое было в пределах 23–27 мг/кг, азота — 0,2–0,23 %, подвижного калия варьировалось от 140 мг/кг до 470 мг/кг.

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, что положительно повлияло на рост и развитие растений озимой пшеницы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определение содержания азота в растениях на основе данных ДЗЗ связано 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.

Проведено исследование изменения содержания азота в растениях озимой пшеницы различных сортов в течение вегетации (табл. 1). В 2012 г. в фазе кущения опытные образцы имели достаточно высокие показатели относительного содержания азота в растениях. Среди них выделяется поле 6 (4,16 %), которое даже в период налива зерна имело более высокое значение данного показателя (1,45 %) по сравнению с другими образцами. Наименьшее содержание азота в фазе кущения наблюдалось на 4-ом поле — 3,58 %, но к фазе 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 и 2014 гг., особенно в периоды колошения и налива зерна.

Результаты растительной диагностики в фазе кущения в 2013 году показали более низкие значения 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 оно было самым низким — 2,67 %. В последующие фазы различия по годам были менее выражены. Так, в период налива зерна средняя величина содержания азота в растениях на опытных полях в 2013 г. составила 0,88 %, что выше показателя 2014 г. на 0,06 %.

Анализ относительного содержания азота в растениях озимой пшеницы в 2014 г. показал, что существенное изменение этого показателя связано с резким снижением концентрации азота при переходе от фазы кущения к фазе трубкования, вызванного, видимо, недобором осадков в этот период. 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 %.

Табл. 1. Динамика относительного содержания азота в растениях озимой пшеницы
 Table 1. Dynamics of relative nitrogen content in winter wheat plants

Год	№ поля	Содержание азота, %			
		кущение	трубкование	колошение	налив зерна
2012	Поле 1	3,95±0,14	2,38±0,08	1,75±0,06	0,96±0,03
	Поле 2	3,78±0,13	2,24±0,08	1,67±0,06	0,86±0,03
	Поле 3	4,01±0,14	2,59±0,09	1,83±0,06	0,98±0,03
	Поле 4	3,58±0,13	2,79±0,10	1,76±0,06	1,12±0,04
	Поле 5	3,67±0,13	2,16±0,08	1,89±0,07	0,93±0,03
	Поле 6	4,16±0,15	2,45±0,09	1,97±0,07	1,45±0,05
	Поле 7	3,76±0,13	2,24±0,08	1,85±0,06	1,15±0,04
Среднее		3,84±0,13	2,41±0,08	1,79±0,06	1,06±0,04
2013	Поле 1	2,77±0,10	2,46±0,09	0,92±0,03	0,82±0,03
	Поле 2	3±0,11	2,24±0,08	0,71±0,02	0,93±0,03
	Поле 3	2,88±0,10	2,33±0,08	1,02±0,04	0,49±0,02
	Поле 4	3,89±0,14	2,71±0,09	1,57±0,05	1,14±0,04
	Поле 5	3,32±0,12	2,36±0,08	1,2±0,04	1,06±0,04
	Поле 6	3,15±0,11	2,29±0,08	1,07±0,04	0,9±0,03
	Поле 7	2,67±0,09	2,06±0,07	0,72±0,03	0,77±0,03
	Поле 8	2,96±0,10	2,95±0,10	0,86±0,03	0,92±0,03
Среднее		3,08±0,11	2,42±0,08	1,01±0,04	0,88±0,03
2014	Поле 1	3,78±0,13	1,95±0,07	1,48±0,05	0,92±0,03
	Поле 2	3,98±0,14	1,91±0,07	1,8±0,06	0,99±0,03
	Поле 3	3,47±0,12	1,45±0,05	1,34±0,05	0,86±0,03
	Поле 4	4,4±0,15	1,53±0,05	1,52±0,05	0,99±0,03
	Поле 5	3,69±0,13	2,03±0,07	1,53±0,05	0,97±0,03
	Поле 6	4,01±0,14	1,86±0,07	1,45±0,05	0,7±0,02
	Поле 7	4,05±0,14	1,74±0,06	1,37±0,05	0,65±0,02
	Поле 8	3,69±0,13	1,41±0,05	0,9±0,03	0,46±0,02
	Поле 9	3,99±0,14	1,59±0,06	1,21±0,04	1±0,04
	Поле 10	3,56±0,12	1,6±0,06	1,07±0,04	0,68±0,02
Среднее		3,86±0,14	1,71±0,06	1,37±0,05	0,82±0,03

Проведён анализ связи между содержанием азота в растениях озимой пшеницы и значениями вегетационного индекса NDVI рассматриваемых полей. Установлена корреляция между этими показателями только в начальный период роста и развития растений озимой пшеницы (коэффициент корреляции в среднем по полям в 2012 г. был равен -0,89 и -0,82 в 2013 и 2014 гг.). В более поздних фазах роста и развития растений озимой пшеницы такая связь не наблюдалась, что может быть связано с проявлением сортовых и технологических особенностей накопления биомассы и хлорофилла, а также морфофизиологических признаков.

В целях установления возможности использования данных ДЗЗ в производственных условиях для оценки содержания азота в растениях в фазе колошения проанализированы данные обследования полей в СХП «Родина» Шпаковского района, проведённого сотрудниками отдела физиологии растений ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в рамках выполнения хозяйственных работ по научному обеспечению возделывания озимой пшеницы (2013, 2014 и 2015 г.). Данное предприятие расположено в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края.

Нами выполнена оцифровка всех полей с озимой пшеницей в каждый год исследований. С помощью сервиса ВЕГА Института космических исследований РАН получены данные дистанционного зондирования Земли соответствующих полей в даты, близкие к датам проведения отборов растительных образцов. В качестве данных ДЗЗ использованы коэффициенты спектральной яркости в инфракрасной и красной областях спектра электромагнитных волн (RED и NIR) и вегетационный индекс NDVI.

Анализ полученных данных в фазе колошения (рис. 2) показал достаточно высокий уровень сопряжения между показателем отражения в красной области спектра (RED) и содержанием азота в растениях озимой пшеницы. Так, в 2013 г. коэффициент корреляции был значимый для $p=0,05$ (-0,60), в 2014 — для $p=0,05$ (-0,60), а в 2015 — для $p=0,01$ (-0,70).

Кроме того, связь между значениями RED и содержанием азота в растениях озимой пшеницы в фазе колошения за все три года исследований проявляется ещё более явно (для $p=0,01$) — коэффициент корреляции составляет -0,71.

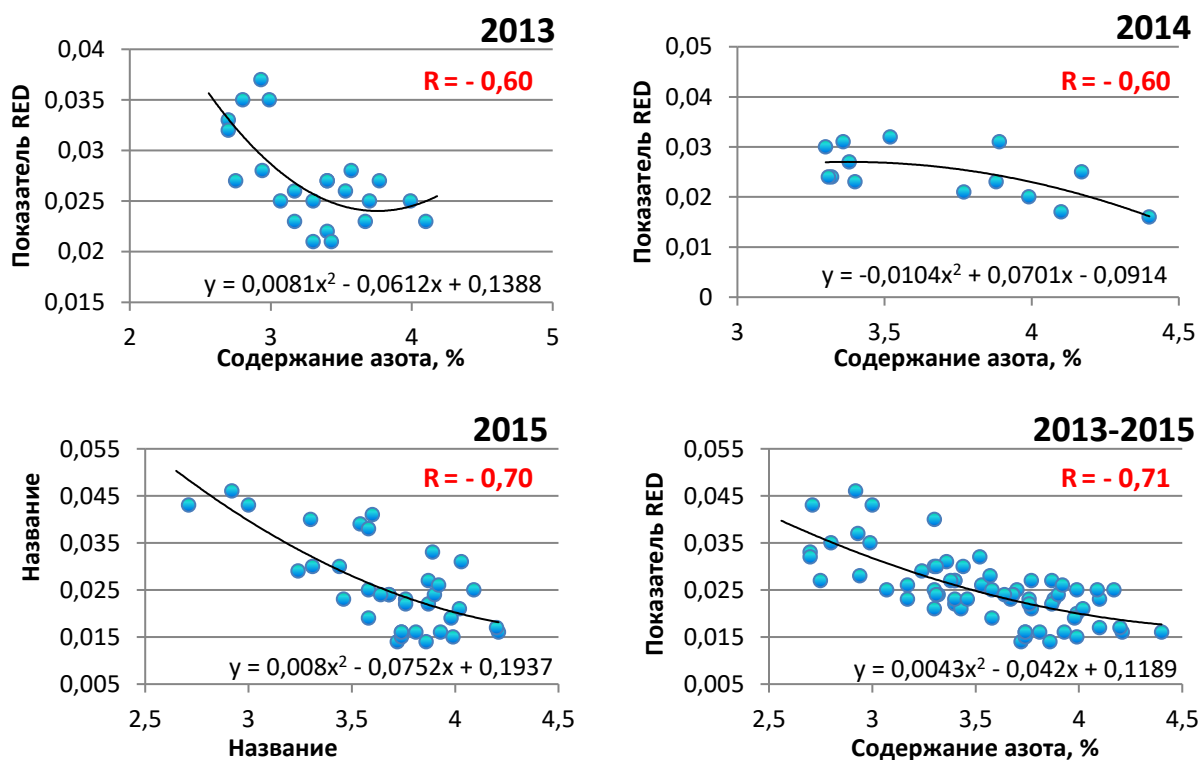


Рис. 2. Зависимость показателей отражения посевов в красной области спектра от содержания азота в растениях озимой пшеницы ООО СХП «Родина»

Fig. 2. Dependence of crop reflection indicators in the red region of the spectrum on the nitrogen content in winter wheat plants of the "Rodina" agricultural complex

Поскольку величина RED зависит от количества хлорофилла в растениях (максимум поглощения зелёных пигментов находится в красной области спектра), онтогенетическое изменение которого параллельно динамике содержания азота, то полученные значения коэффициентов корреляции были ожидаемо высокими.

Связь NDVI с относительным содержанием азота в фазе колошения нами не выявлена. Так, в 2013 г. коэффициент корреляции между содержанием азота и NDVI составил 0,61, в то время как в 2014 и в 2015 гг. — всего 0,28 и 0,33 соответственно (рис. 3).

Такая же закономерность установлена и в случае с коэффициентом спектральной яркости в инфракрасной области спектра (NIR) (рис. 4), что объясняется отсутствием устойчивой зависимости между объёмом биомассы и количеством азота в растениях.

Таким образом, наши исследования показали, что для оценки содержания азота в растениях озимой пшеницы в период колошения, в т.ч. в производственных условиях, могут быть использованы данные дистанционного зондирования Земли. Для этой цели следует применять значения спектральной яркости в красной области спектра (RED).

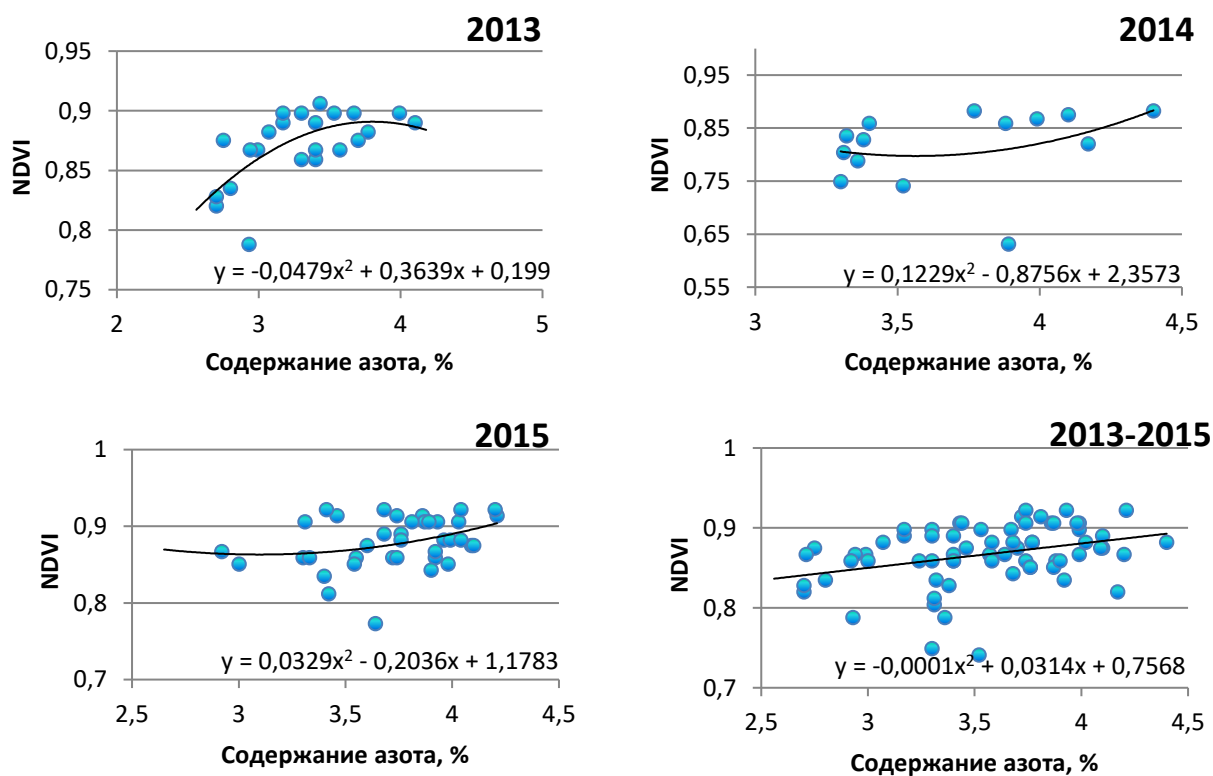


Рис. 3. Зависимость NDVI от содержания азота в растениях озимой пшеницы ООО СХП «Родина»
 Fig. 3. Dependence of NDVI on the nitrogen content in winter wheat plants of the “Rodina” agricultural complex

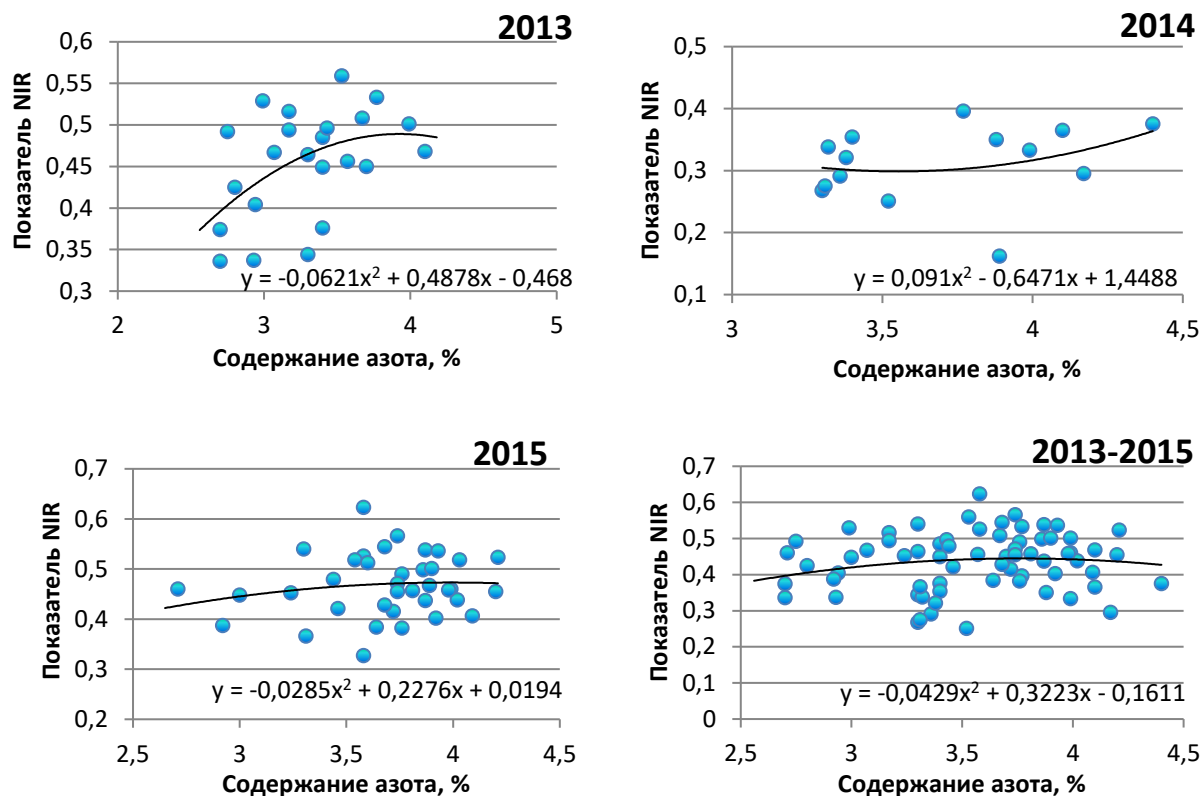


Рис. 4. Зависимость показателей отражения посевов в инфракрасной области спектра от содержания азота в растениях озимой пшеницы ООО СХП «Родина»

Fig. 4. Dependence of indicators of reflection of crops in the infrared region of the spectrum on the nitrogen content in winter wheat plants of the "Rodina" agricultural complex

ВЫВОДЫ

1. В условиях 2012–2014 гг. существовала обратная связь между динамикой вегетационного индекса NDVI и изменениями содержания азота в растениях озимой пшеницы в онтогенезе, которая в среднем по годам оценивается коэффициентом корреляции равным -0,84.

2. В условиях 2013–2015 гг. на производственных посевах для оценки содержания азота в растениях озимой пшеницы в фазе колошения целесообразно использовать коэффициент отражения посевов в красной области спектра, когда наблюдается устойчивая обратная связь между этими показателями, которая оценивается коэффициентом корреляции -0,71.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А. Хлорофилл и продуктивность растений. М.: Наука, 2000. 135 с.
2. Гамзиков Г.П. Практические рекомендации по почвенной диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений в сибирском земледелии: производственно-практ. изд. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 48 с.
3. Голубева Е.И., Каширина Е.С., Новиков А.А., Глухова А.В. Использование индекса NDVI для геоэкологической оценки особо охраняемых природных территорий на примере города Севастополя. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого

развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 320–331. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-320-331.

4. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений. М.: Альянс, 2014. 351 с.

5. *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.

6. *Ерошенко Ф.В., Ерошенко А.А., Сторчак И.Г.* Эффективность поздних некорневых азотных подкормок озимой пшеницы. Достижения науки и техники АПК, 2014. № 8. С. 32–35.

7. *Ёлкина Е.С., Барталёв 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. X Международная молодёжная школа-конференция. М.: Институт географии РАН, 2017. С. 162–163.

8. *Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я.* Азот в агросистеме на чернозёмных почвах. М.: РАН, 2018. 180 с.

9. *Магомедов М.Х.-М., Маммаев А.Т., Алиева М.Ю.* Влияние условий минерального питания на флуоресценцию, фотосинтетическую активность и ростовые параметры растений. Юг России: экология, развитие, 2008. № 2. С. 52–56.

10. *Мальшевский В.А., Федулов Ю.П., Мальшевский П.В.* Создание карт-заданий для дифференцированного внесения азотной подкормки с использованием данных ДЗЗ. Энтузиасты аграрной науки: Сборник статей по материалам Международной конференции, 2018. С. 7–14.

REFERENCES

1. *Andrianova Yu.E., Tarchevsky I.A.* Chlorophyll and plant productivity. Moscow: Nauka, 2000. 135 p. (in Russian).

2. *Gamzikov G.P.* Practical recommendations for soil diagnostics of nitrogen nutrition of field crops and application of nitrogen fertilizers in Siberian agriculture: production and practice ed. Moscow: FSBSI “Rosinformagrotech”, 2018. 48 p. (in Russian).

3. *Golubeva E.I., Kashirina E.S., Novikov A.A., Glukhova A.V.* Using the NDVI index for geoecological assessment of specially protected natural territories on the example of the city of Sevastopol materials. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2019. V. 25. Part 1. P. 320–331. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-320-331 (in Russian).

4. *Dospikhov B.A.* Method of field experience (with the basics of statistical processing of research results): textbook for higher agricultural educational institutions. Moscow: Alliance, 2014. 351 p. (in Russian).

5. *Eroshenko F.V.* Assessment of the quality of winter wheat grain in the Stavropol territory according to remote sensing Data. Bulletin of the Stavropol Research Institute of Agriculture, 2017. No 9. P. 118–128 (in Russian).

6. *Eroshenko F.V., Eroshenko A.A., Storchak I.G.* Efficiency of late non-root nitrogen feedings of winter wheat. Achievements of Science and Technology of AIC, 2014. No 8. P. 32–35 (in Russian).

7. *Elkina E.S., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Lupyan E.A.* Possibilities of satellite monitoring service “VEGA”. Modern approaches to the study of environmental problems in physical and socio-economic geography. X International Youth School-Conference. Moscow: Institute of Geography RAS, 2017. P. 162–163 (in Russian).

8. *Magomedov M.Kh.-M., Mammaev A.T., Alieva M.Yu.* Influence of mineral nutrition conditions on fluorescence, photosynthetic activity and growth parameters of plants. South of Russia: Ecology, Development, 2008. No 2. P. 52–56 (in Russian).

9. *Malyshevsky V.A., Fedulov Yu.P., Malyshevsky P.V.* Creating task maps for differentiated application of nitrogen fertilization using remote sensing data. *Agricultural Science Enthusiasts: Proceedings of the International Conference*, 2018. P. 7–14 (in Russian).
 10. *Zavalin A.A., Sokolov O.A., Shmyreva N.Ya.* Nitrogen in the agricultural system on Chernozem soils. Moscow: RAS, 2018. 180 p. (in Russian).
-