

4. Perspektivnye bobovye kormovye kul'tury dlya sukhostepnoi zony (Promising legumes forage crops for the dry steppe zone), E.P. Denisov [i dr.], Kormoproizvodstvo, 2011, No. 1, pp. 14-16.
5. Sagalbekov U.M., Sagalbekov E.U. Sorta mnogoletnikh trav dlya Zapadnoi Sibiri i Severnogo Kazakhstana (Perennial grasses varieties for Western Siberia and Northern Kazakhstan), Kormoproizvodstvo, 2012, No. 9, pp. 29-30.
6. Karashchuk I.M. Espartset v Zapadnoi Sibiri (Sainfoin in the Western Siberia), Novosibirsk, Zapadno-Sibirskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1978, 78 p.
7. Yakovleva L.V. Vliyanie izvestkovaniya na vymyvanie elementov pitaniya iz dernovo-podzolistykh pochv Severo-Zapadnoi zony (Liming effect on leaching of nutrients from sod-podzolic soils of the North-West zone), avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk, L., Pushkin, 1984, 23 p.
8. Golubev B.A. Kislye pochvy i ikh uluchshenie (Acidic soils and its improvement), M., Sel'khozgiz, 1954, 166 p.
9. Bambara S. Ndakidemi P.A. The potential roles of lime and molybdenum on the growth, nitrogen fixation and assimilation of metabolites in nodulated legume: A special reference to Phaseolus vulgaris L., African Journal of Biotechnology, 2010, Vol. 8 (17), pp. 2482-2489.
10. Cline G.R., Kaul K. Inhibitory effects of acidified soil on the soybean / Bradyrhizobium symbiosis, Plant and Soil, 1990, Vol. 127, Is. 2, pp. 243 -249.
11. Hue N.V, Ikawa H. Limind acid soil of Hawaii, Agronomy and Soils, Nov., 1997, pp. 1-3.
12. Khodyrev I.A. Nekotorye osobennosti formirovaniya urozhaya lyutserny v sravnenii s kleverom na zernovo-podzolistoi pochve pri raznykh dozakh izvesti (Some features of alfalfa crop formation in comparison with clover on sod-podzolic soil at different doses of lime), avtoreferat dis. ... kand. s.-kh. nauk, Perm', 1976, 15 p.
13. Osheva G.M., Polezhaeva N.I Lyadvenets rogatyi v Permskoi oblasti (Lotus corniculatus in the Perm region), Kormoproizvodstvo, 2005, No. 11, pp. 31-32.
14. Kosolapova A.I. Osnovnye priemy vozdeleyvaniya novoi v Predural'e kul'tury donnika belogo (The main methods of cultivation of a new culture of white melon in the Urals), dis. ... kand. s.-kh. nauk, Perm', 1982, 394 p.
15. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (Methods of field experience), Moskva, Kolos, 1985, 336 p.
16. Metodika opytov na senokosakh i pastbishchakh (Methods of experiments on hayfields and pastures), M., VNIIC im. V. R. Vil'yamsa, 1971, 229 p.
17. Kirichenko I.I. Espartset – u kozhne gosudarstvo, Donets'k, 1974, 144 p.
18. Voloshin V.A., Matolinets N.N. Formirovanie travostoya espartseta peschanogo (Onobrychis arenaria) pervogo goda zhizni v Srednem Predural'e (The formation of the grass sainfoin sandy (Onobrychis arenaria) first year of life in the middle Urals), Permskii agrarnyi vestnik, 2017, No. 2, pp. 34-38.

УДК 631.58:631.46:581.5

ЦИФРОВОЙ МОНИТОРИНГ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АГРОЭКОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКИХ И БЕСПИЛОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

О. А. Оленин, канд. с.-х. наук,

E-mail: agrotonik63@mail.ru;

С. Н. Зудилин, д-р с. - х. наук,

E-mail: zudilin_sn@mail.ru;

Ю. В. Осоргин, аспирант,

E-mail: osrgin-jura@mail.ru;

Самарский государственный аграрный университет,

ул. Учебная, 2, пгт. Усть-Кинельский, г. Кинель, Самарская обл., Россия, 446442

Аннотация. Цель исследований – разработать методику цифрового мониторинга показателей агроэкосистем на основе космических и беспилотных технологий с переводом результатов цифровых аэрофотосъемок в реальные параметры показателей агрофитоценозов в физических единицах. В работе использованы результаты исследований по цифровому мониторингу агро-

фитоценозов одновидовых и поливидовых посевов зерновых колосовых и зернобобовых культур на опытном поле Самарского ГАУ в 2018 году (южная лесостепь Заволжья). Цифровой мониторинг проводили методом получения снимков высокого разрешения на различных стадиях вегетации полевых культур с применением беспилотных авиационных систем (БАС) по вегетационным индексам, в том числе индекса биомассы NDVI. Показатели агрофитоценозов в виде полевой статистики определялись по общепринятым методикам на основании ГОСТ. Результаты аэрофотосъемок калибровались собранными показаниями полевой статистики соответствующих участков опытных полей. Выявлено, что заявленная основная цель решается в принципе, и требует накопления базы данных в течение последующих двух-трех лет исследований для дальнейшего совершенствования методики, а затем написания цифровой платформы. По результатам 2018 года наибольшая корреляция между индексом биомассы NDVI и урожайностью зерна для озимой пшеницы выявлена в фазе молочной спелости в одновидовом посеве до $r = 0,36$, в поливидовом – до $r = 0,82$; для ячменя в фазе начала колошения – до $r = 0,97$. Оптимальными фенофазами зерновых колосовых культур (озимая и яровая пшеница, ячмень) для цифрового мониторинга показателей одновидовых и поливидовых агрофитоценозов являются: кущение; цветение; молочная спелость.

Ключевые слова: цифровая трансформация АПК, беспилотные авиационные системы, цифровой мониторинг, вегетационные индексы.

Введение. В 2018 г. в России принят на законодательном уровне национальный проект «Цифровая экономика» – один из тринадцати национальных проектов в России на период с 2019 по 2024 гг. (паспорт национальной программы утверждён решением президента Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам 24.12.2018 г.) [1].

В связи с чем, Министерство сельского хозяйства РФ в 2018 г. выступило основным разработчиком и приняло к реализации ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство», срок реализации: 2019-2021 гг.

В числе соавторов Концепции «Научно-технологическое развитие цифрового сельского хозяйства «Цифровое сельское хозяйство», помимо Министерства сельского хозяйства РФ и других организаций, выступил и «Самарский аграрный университет» (ФГБОУ ВО) [2, 3].

Развитие космических и беспилотных технологий, беспилотных авиационных систем (БАС) и специального программного обеспечения (в том числе цифровые платформы) позволит в земледелии повысить мобильность, оперативность и качество мониторинга показателей агрофитоценозов в рамках цифрового органического земледелия – в частно-

сти, и адаптивно-ландшафтного земледелия – в целом [4-12].

В использовании беспилотной аэрофотосъемки наиболее перспективны следующие направления: построение цифровых моделей рельефа, анализ неоднородности плодородия земель по спектральным характеристикам, контроль выполнения работ на полях, оценка вариативности посевов по вегетационным индексам, термокарты посевов, выявление повреждений растительности от внешних воздействий [4, 5].

Цифровой мониторинг показателей агроэкосистем проводится на основе оценки вариативности посевов по вегетационным индексам, с помощью аэрофотосъемки на мультиспектральную и другие виды камер.

Имея данные мультиспектральной съемки, можно рассчитать множество вегетационных индексов: нормализованный индекс биомассы (NDVI) – позволяет проводить качественную и количественную оценку объема биомассы, оценивать интенсивности вегетации растений; улучшенный нормализованный индекс биомассы (ENVI) – подобно NDVI, но используется также и часть видимого спектра для более эффективного показания состояния здоровья растений; зеленый нормализованный индекс биомассы (GNDVI) – позволяет оце-

нить содержание хлорофилла, степень старения, наличия стресса у растения; дифференцированный вегетационный индекс (DVI) – позволяет определить области затемнения, застоя воды, почвы и растительности; зеленый дифференцированный вегетационный индекс (GDVI) – показывает количество азота в листьях, что может оптимизировать внесение удобрений исходя из реальных потребностей [4, 5].

Вегетационные индексы дают общую картину состояния определенных показателей агрофитоценоза, так как являются относительными величинами (например, значения индекса NDVI от 0 до 1). Но для сельхозпроизводителей нужны конкретные данные в физических величинах, например, объем биомассы на поле или потенциальная урожайность зерна в тоннах на га.

Цель данной работы – разработка методики цифрового мониторинга показателей агрофитоценозов на основе космических и беспилотных технологий с переводом результатов различных видов цифровых аэрофотосъемок в реальные физические параметры показателей агрофитоценозов основных зерновых колосовых и зернобобовых культур.

Задачи исследований: 1. Мониторинг состояния растительности по снимкам высокого разрешения на различных стадиях вегетации с применением БАС по индексу биомассы NDVI. 2. Мониторинг рельефа и геоморфологических условий (высота над уровнем моря, уклон рельефа, экспозиция склонов). 3. Дешифровка электронных карт засоренности посевов на основе индекса биомассы. 4. Дешифровка электронных карт содержания азота в растениях посевов на основе индекса биомассы. 5. Составление термокарт посевов на основе тепловизионной съемки в различные фазы вегетации и в разное время суток. 6. 3D моделирование агрофитоценозов. 7. Прогноз потенциальной урожайности на основе индекса биомассы NDVI.

Совместно с компанией ООО «ГИС-Р» (г. Самара) лаборатория «АгроЭкология» при кафедре «Землеустройство, почвоведение и агрохимия» Самарского ГАУ в 2018 г. на

опытных полях провела исследования по теме «Цифровой мониторинг показателей агроэко-систем на основе космических и беспилотных технологий как основа Цифрового Органического Земледелия», в соответствии с заключенным Договором №810/к/2018 от 01.04.2018 г. (договор рассчитан на срок до 30.12.2020).

Методика. Цифровой мониторинг проводили методом получения снимков высокого разрешения на различных стадиях вегетации полевых культур с применением БАС: для производства аэрофотосъемки в спектральном диапазоне – Phantom 3 Professional; для производства термографической аэрофотосъемки – DJI Inspire 1.

По общепринятым методикам и ГОСТам проводились лабораторные и полевые анализы, учеты и наблюдения показателей полевой статистики: легкогидролизуемый азот (по Тюрину и Кононовой), засоренность посевов (количественно-весовой метод); фенологические наблюдения и структура урожая (методика Госсортсети); урожайность (с площадки площадью 1 м² растения культуры полностью собирались в сноп, с дальнейшим пересчетом на 100 %-ную чистоту и 14 %-ную влажность зерна); методы дисперсионного и корреляционного анализа (Доспехов Б.А., 1985).

Результаты аэрофотосъемок калибровались показаниями полевой статистики по разным фазам роста и развития полевых культур.

Опытный участок расположен в центральной зоне Самарской области, что соответствует южной лесостепи Заволжья. Почва опытного участка – чернозем типичный среднемошный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса 5,9 %, рН солевой вытяжки – 6,9.

Агрометеорологические условия 2018 сельскохозяйственного года можно охарактеризовать как не совсем благоприятные для возделывания большинства полевых культур: зимний период был теплее обычного на 9,2°С с превышением среднелетней нормы осадков на 137,4 %; засушливым оказался май с количеством осадков в 20,7 мм, что в 1,6 раза ниже нормы; июль и август оказались теплее обычного на 3,1 и 1,4°С соответственно; осадки в летний период выпадали крайне

неравномерно: июнь и август были крайне засушливыми с количеством осадков в эти месяцы в 2,1 и 3,6 раза ниже среднегодовой нормы.

Исследования проводили в полевом трехфакторном стационарном опыте, заложенном в 2017 году в рамках научной темы «Цифровое органическое земледелие», на полях двух шестипольных севооборотов.

Факторы: А – севообороты (A_1 и A_2); В – минеральные (B_1) и органические (B_2) удобрения; С – пестициды (C_1) и биопрепараты (C_2).

Севооборот №1 (A_1 , контроль) – одновидовые посевы: 1) чистый пар; 2) озимая пшеница; 3) яровая пшеница твердая; 4) горох; 5) ячмень; 6) подсолнечник. Севооборот №2 (A_2) – поливидовые посевы: 1) занятый пар (донник желтый); 2) озимая пшеница + озимая вика; 3) яровая пшеница твердая + ячмень + горох; 4) озимая пшеница + яровая пшеница твердая + горох (весенний посев); 5) ячмень + горох; 6) подсолнечник + донник желтый.

Количество и площади делянок, площадь поля: вариантов на поле – 4; повторности – 3; количество делянок – 12; площадь делянки – 0,0294 га; опытная площадь поля – 0,353 га.

Мультиспектральную и тепловизионную съемки проводили на полях, составляющих полигон №2: поле №1 – озимая пшеница; поле №2 – озимая пшеница + озимая вика; поле №3 – ячмень; поле №4 – яровая пшеница твердая + ячмень + горох. Оптические съемки (фото-, видео-, ортофотоплан) проводили на полигоне №3: 12 полей севооборотов №1 и №2.

Результаты. Получаемые значения вегетационных индексов (после обработки материалов аэрофотосъемки на специальной цифровой платформе «АгроГИС» компании ООО «ГИС-Р») необходимо интегрировать с данными полевой статистики для накопления базы данных (за 3-4 года), на основе которой в конечном итоге будет разработана цифровая платформа по переводу результатов аэрофотосъемки в виде вегетационных индексов в реальные физические параметры в режиме online [13, 14].

Для выполнения задачи сбора полевой статистики была разработана предварительная

методика, которая будет в 2019-20 гг. корректироваться:

1. На каждом поле в фазе весеннего кушения озимых и кушения яровых зерновых колосовых культур выбираются девять характерных площадок травостоя размером 1*1 м (площадь – 1 м²), значительно различающихся между собой по основным показателям агрофитоценоза (густота растений культур, количество и биомасса сорняков, структура травостоя растений культур, вредители и болезни и другие).

Значительные различия между выбранными площадками необходимы для разнообразия собираемой полевой статистики в целях повышения точности калибровки результатов аэрофотосъемки.

В центре площадки ставится маркер: высота – 1,50 м, верхняя часть (15 см) окрашивается в красный цвет (для максимальной визуализации), присваивается номер, на маркере пишутся спутниковые координаты.

Определяются координаты маркера по международной геодезической системе координат WGS84 (World Geodetic System 1984), которая привязывается к космическим снимкам любых спутниковых систем, в том числе американских, европейских и российских.

Количество выбранных площадок – девять – в данном случае определялось размером опытного поля в 0,353 га. Девять маркеров (площадок) позволяли задействовать максимальное количество наиболее характерных и наиболее различающихся участков травостоя посева.

2. На каждой площадке в день полетной сессии (или в течение 1-2, максимум 3 дней после сессии) проводились следующие наблюдения: густота и биомасса растений культур; высота растений культуры и длина колоса; кустистость растений культуры; цвет и состояние растений культуры; вредители и болезни растений культур; количество и биомасса сорняков; видовой состав сорняков; фото – общий вид площадки с маркером.

Дни полетных сессий были предварительно определены в Техническом Задании к Договору №810/к/2018 в предположительные

интервалы дат наступления фенофаз развития культур, которые затем корректировались в зависимости от складывающихся условий роста и развития растений культур.

3. После полного созревания растений культуры с выбранных площадок полностью (с 1 м²) собирались растения полевых культур в снопы для обработки структуры урожая, которая определялась в лаборатории.

4. Собранная полевая статистика обрабатывалась, систематизировалась и аккумулировалась в специальные таблицы в виде баз данных.

5. Завершающий этап работы: привязка собранной полевой статистики к результатам съемок (мультиспектральная, тепловизионная и оптическая).

По координатам на электронной карте определялось местонахождение конкретно-

го маркера, вырезалась площадка вокруг маркера, которая заносилась в таблицу с показателями агрофитоценоза с данной площадки.

В качестве примера приведем результаты цифрового мониторинга поля № 1 (озимая пшеница, сорт Бирюза, оригинатор – ФГБНУ «Самарский НИИСХ им. Н. М. Тулайкова») из полигона № 2.

Показатели агрофитоценоза на девяти маркерах определялись: 19 мая (фаза – кущение озимой пшеницы); 14 (цветение) и 25 (молочная спелость) июня и 24 июля (полная спелость, за 7 дней до уборки).

Полевые данные заносились в единую таблицу по результатам конкретной сессии (в качестве примера, табл. 1).

Таблица 1

Структура посевов: поле № 1, озимая пшеница, фаза – цветение, 14.06.2018

Показатели	№ маркеров								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Индекс биомассы NDVI	0,606 / 0,6	0,566 / 0,5	0,611 / 0,6	0,477 / 0,4	0,660 / 0,6	0,620 / 0,6	0,432 / 0,4	0,483 / 0,4	0,209 / 0,1
Температура поверхности почвы, °С	25,176	29,296	25,539	28,228	26,823	25,400	32,736	33,854	39,845
Высота местности, м	38,17	38,23	38,14	38,13	38,06	38,16	37,96	38,23	38,12
Густота растений, шт./м ²	198	189	199	98	190	137	132	131	4
Кустистость, продукт. стебли	4	4	3	3	4	4	4	2	3
Высота растений, см	87	90	85	65	80	74	75	80	42
Засоренность, шт./м ²	27	30	72	115	30	50	117	201	198
Биомасса сорняков, г/м ²	10,8	12	43,2	115	18	60	93,6	201	1425,6
Биомасса растений культуры, г/м ²	4356	4536	3582	1568	4560	3562	3432	2620	32
Состояние растений (по 5 баллам)	4	5	3	2	3,5	4,5	3	2	1
Виды сорняков	Горец птичий	Марь белая	Марь белая, вьюнок полевой	Марь белая, вьюнок полевой	Марь белая, вьюнок полевой	Марь белая, вьюнок полевой	Марь белая, вьюнок полевой	Марь белая, вьюнок полевой, щирица запрокинутая	Марь белая, осот желтый, щирица запрокинутая
Координаты WGS84	53.246389 50.7275	53.246111 50.7275	53.246389 50.727778	53.246389 50.727778	53.246944 50.727778	53.246944 50.7275	53.247222 50.727778	53.2475 50.7275	53.247778 50.727778
Биомасса растений культуры, всего, т/га	43,67	45,48	36,25	16,83	45,78	36,22	35,26	28,21	14,58

Примечание: образцы электронных карт, соответствующие выбранным площадкам (маркерам), в таблицу не заносились, так как необходимо высокоточное цветное изображение.

В дальнейшем, на основе таблиц всех цифрового мониторинга по данному полю аэрофотосессий (в данном случае – четыре даты) составлялась заключительная таблица (табл. 2).

Таблица 2

Структура посевов: поле №1, озимая пшеница, итоговая

Показатели	№ маркеров								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
NDVI от 19.05 (кущение)	0,555 / 0,5	0,720 / 0,7	0,693 / 0,6	0,345 / 0,3	0,530 / 0,5	0,584 / 0,5	0,649 / 0,6	0,670 / 0,6	0,670 / 0,6
NDVI от 14.06 (цветение)	0,606 / 0,6	0,566 / 0,5	0,611 / 0,6	0,477 / 0,4	0,660 / 0,6	0,620 / 0,6	0,432 / 0,4	0,483 / 0,4	0,209 / 0,1
NDVI от 25.06 (молочная спелость)	0,690 / 0,6	0,547 / 0,5	0,463 / 0,4	0,378 / 0,35	0,499 / 0,4	0,408 / 0,4	0,568 / 0,5	0,454 / 0,4	0,214 / 0,1
Количество зерна с колоса, шт.	42	36	35	38	33	41	42	37	34
Масса 1000 зерен, г	46,8	58,3	40,4	44,0	45,5	43,4	44,36	48,3	44,8
Масса зерна, т/га	5,33	6,84	4,12	2,32	3,68	4,22	3,19	3,09	4,27
Биомасса растений культуры, всего, т/га	8,80	9,75	7,90	5,40	7,90	9,40	5,80	5,30	7,75

Примечание: количество зерна с колоса, масса 1000 зерен, масса зерна и биомасса растений культуры, всего – приведены по результатам сбора полевой статистики в дату 24 июля; NDVI от 24.07 не определялось, так как растения культуры были уже в фазе полной спелости (высохший и одноцветный желтый травостой).

Полевые статистические данные, приведенные в таблице 2, послужат составной частью базы данных (за 3-4 года), на основе которой будет разработана цифровая платформа по переводу в режиме on-line вегетационных индексов в конкретные физические параметры (в т/га, мг/кг и так далее) показателей агрофитоценоза применительно к разным культурам в разные фазы развития в данных почвенно-климатических условиях.

По статистическим данным заключительной таблицы 2, были подсчитаны коэффициенты корреляции между биомассой – всего и массой зерна и вегетационными индексами биомассы NDVI.

Расчеты показали высокую корреляцию индекса NDVI с физическими показателями биомассы по датам: 14 июня (цветение озимой пшеницы) и 25 июня (молочная спелость). Однако, максимальная корреляция с массой зерна отмечена в фазе молочной спелости, то есть 25 июня:

1. От 19.05: NDVI – биомасса, всего, т/га – $r = 0,14$; NDVI – масса зерна, т/га – $r = 0,25$;
2. От 14.06: NDVI – биомасса, всего, т/га – $r = 0,39$; NDVI – масса зерна, т/га – $r = 0,22$;
3. От 25.06: NDVI – биомасса, всего, т/га – $r = 0,19$; NDVI – масса зерна, т/га – $r = 0,36$.

Следовательно, наибольший коэффициент корреляции между вегетационным индексом биомассы NDVI и урожайностью зерна озимой пшеницы выявлен в фазе молочной спелости озимой пшеницы ($r = 0,36$).

По такой же методике проводили цифровой мониторинг остальных полей полигона № 2: поле № 2 – озимая пшеница + озимая вика; поле № 3 – ячмень; поле № 4 – яровая пшеница твердая + ячмень + горох.

Подсчет коэффициентов корреляции между индексами NDVI и физическими показателями биомассы – всего и массы зерна показал, что наибольшая корреляция на поле № 2 отмечена также в фазе молочной спелости озимой пшеницы (с массой зерна, $r = 0,82$); на поле № 3 – в фазе начала колошения ячменя (с массой зерна, $r = 0,97$).

На поле № 4 25 июня в фазе цветения твердой яровой пшеницы и начале колошения ячменя получена отрицательная корреляция между индексом NDVI и биомассой, всего ($r = -0,63$) и массой зерна ($r = -0,59$).

Отрицательные коэффициенты корреляции получены из-за маркеров 3, 6, 7 и 8, на которых выявлено значительное преобладание биомассы сорняков над биомассой растений культур. Данный фактор необходимо учиты-

вать при дальнейших исследованиях, а затем и при написании цифровой платформы.

На поле № 2 (озимая пшеница + озимая вика) в дату 19.05.2018 – озимая пшеница находилась в фенофазе «кущение», однако корреляция между массой зерна (полученной после уборки) и индексом NDVI от 19.05 подсчитывалась, так как важно выявить уровень взаимосвязи между состоянием растений озимой пшеницы в фазе весеннего кущения, выраженным индексом NDVI и урожайностью зерна культуры в конечном итоге. И установлена высокая существенная корреляция, $r = 0,79$. Данная выявленная взаимосвязь, в случае подтверждения в последующие годы исследований, может использоваться в методике сверххранного прогнозирования потенциальной урожайности зерновых колосовых культур.

Выводы. Таким образом, проведенная в 2018 году НИР выявила, что заявленная основная цель – разработка методики цифрового мониторинга показателей агрофитоценозов на основе космических и беспилотных технологий с переводом результатов различных видов цифровых аэрофотосъемок в реальные физические параметры показателей агрофитоценозов – решаема в принципе, и требует накопления базы данных в течение последующих двух-трех лет исследований для дальнейшего совершенствования методики, а затем и написания цифровой платформы.

В полевом сезоне 2019 года необходимо продолжить накопление базы данных как основы для разработки цифровой платформы по переводу в режиме on-line вегетаци-

онных индексов в конкретные физические параметры основных показателей одновидовых и поливидовых агрофитоценозов применительно к разным культурам и разным фенофазам.

По результатам 2018 года наибольшая корреляция между индексом биомассы NDVI и урожайностью зерна для озимой пшеницы выявлена в фазе молочная спелость в одновидовом посеве до $r = 0,36$, в поливидовом – до $r = 0,82$; для ячменя – в одновидовом – в начало колошения, до $r = 0,97$.

По результатам 2018 года выявлены основные оптимальные фенофазы зерновых колосовых культур для цифрового мониторинга показателей одно- и поливидовых агрофитоценозов: кущение; цветение; молочная спелость.

Необходимо расширить линейку изучаемых культур следующими высокорентабельными для Поволжья видами: подсолнечник и кукуруза на зерно; нут, чечевица, соя и маш; горчица и рапс; овес голозерный.

Полный анализ полученных цифровых и полевых статистических данных, их взаимная адаптация и интеграция могут дать существенные результаты для выявления фундаментальных закономерностей функционирования одно- и поливидовых посевов, в том числе в рамках Цифрового Органического земледелия, и в условиях повышения аридности и нестабильности глобального климата и нарастания дефицита пресной воды.

Литература

1. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/614/events/> (дата обращения: 14.07.2019).
2. Концепция научно-технологического развития цифрового сельского хозяйства «Цифровое сельское хозяйство» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.viapi.ru/download/2018/Цифровое%20сельское%20хозяйство.pdf> (дата обращения: 20.08.2019).
3. И. А. Ганиева Ведомственный проект Цифровое сельское хозяйство.pdf [Электронный ресурс]. URL: <http://agromosreg.ru/uploads/27/3/> (дата обращения: 20.08.2019).
4. Фахрутдинов Р. Р., Барышников Н. А., Гусева С. А. Беспилотные технологии в АПК – перспективы и востребованность на рынке [Электронный ресурс]. URL: <http://docplayer.ru/64559340-Oblasti-primeniya-bpla.html> (дата обращения: 20.08.2019).

5. Фахрутдинов Р. Р., Барышников Н. А., Гусева С. А. Опыт применения мультиспектральной съемки в области сельского хозяйства [Электронный ресурс]. URL: <https://ssau.ru/pagefiles/final%20002%20web.pdf> (дата обращения: 20.08.2019).
6. Черепанов А. С., Дружинина Е. Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Гео-Матика. 2009. № 3. С. 28-32.
7. Возможности дистанционной оценки урожайности озимой пшеницы на основе вегетационного индекса фотосинтетического потенциала / Ф. В. Ерошенко [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 99-112.
8. Weediness and yield of spring barley depending on the farmingsystem elements / V.G. Kutilkin [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9. № 5. P. 911-918.
9. Brisco В., Brown R. J. Agricultural applications with radar // Principles and applications of imaging radar. New York: Wiley, 1998. p. 381-406.
10. Biologization and efficiency of crop rotation types under conditions of the forest-steppe zone of the Volga region / A. L. Toigildin [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9. № 6. P. 1063-1070.
11. Технология мониторинга состояния посевов по данным дистанционного зондирования Земли на юге Западной Сибири / Л. А. Сладких [и др.] // Геоматика. 2016. № 2. С. 39-48.
12. Зубкова К. И., Куревлева Т. Г., Пермитина Л. И. Оценка погрешности расчета NDVI при использовании эмпирических методов учета влияния атмосферы // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2016. Т. 3. Вып. 2. С. 24-30.
13. // АгроГИС. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. URL: <https://gis2.prom.aero/help.pdf> (дата обращения: 20.08.2019).
14. Осоргин Ю. В., Осоргина О. Н. Агроэкологическая оценка сельскохозяйственных культур и их места в составе проектируемых севооборотов // Территория инноваций. 2016. №1. С. 41-48.

DIGITAL MONITORING OF AGRO-ECOSYSTEMS INDICATORS BASED ON SPACE AND UNMANNED TECHNOLOGIES

O. A. Olenin, Cand. Agr. Sci.,

E-mail: agrotonik63@mail.ru;

S. N. Zudilin, Dr. Agr. Sci., Professor ,

E-mail: zudilin_sn@mail.ru;

Y. V. Osorgin, PG student,

E-mail: osrgin-jura@mail.ru;

Samara State Agrarian University,

2, Uchebnaya St., Ust-Kinelskiy, Samara oblast, Russia, 446442

ABSTRACT

The aim of the research is to develop a digital monitoring methodology for agro-ecosystem indicators based on space and unmanned technologies with the conversion of digital aerial photography results into real parameters of agrophytocenosis indicators as physical units. The paper uses the results of research on digital monitoring of agrophytocenosis of single- and poly-species crops of spiked cereals and pulses on the experimental field the Samara State Agrarian University in 2018 (southern forest-steppe of Trans-Volga region). We performed the digital monitoring using the method of obtaining high-resolution images at different crop vegetation stages with the help of unmanned aircraft systems (UAS) using vegetation indices, including the biomass index (NDVI). Indicators of agrophytocenosis in the form of field statistics were determined according to generally accepted methods based on national standard (GOST). The results of aerial photography were calibrated by the collected data of the field statistics of the relevant parts of experimental fields. A research carried out in 2018 revealed that

the stated main goal is solvable in principle, and requires the accumulation of a database during the next 2 or 3 years of research to further improve the methodology, and then writing a digital platform. According to the results of 2018, the greatest correlation between the NDVI and grain yield for winter wheat was detected at the milky stage in single-species crop, up to $r = 0.36$, in poly-species crop it was detected up to $r = 0.82$, for barley it was up to $r = 0.97$.

Based on the results of 2018, we identified the main optimal phenophases of cereal crops (winter and spring wheat, barley) for digital monitoring of indicators of single-species and poly-species agrophytocenosis: tillering, bloom, milky stage.

Key words: AIC digital transformation, unmanned aircraft systems, digital monitoring, vegetation indices.

References

1. Natsional'naya programma «Tsifrovaya ekonomika Rossiiskoi Federatsii» (National program «Digital economy of the Russian Federation») [Elektronnyi resurs], URL: <http://government.ru/rugovclassifier/614/events/> (data obrashcheniya: 14.07.2019).
2. Kontseptsiya nauchno-tehnologicheskogo razvitiya tsifrovogo sel'skogo khozyaistva «Tsifrovoe sel'skoe khozyaistvo» (Concept of scientific and technological development of digital agriculture «Digital agriculture») [Elektronnyi resurs], URL: <http://www.viapi.ru/download/2018/Tsifrovoe%20sel'skoe%20khozyaistvo.pdf> (data obrashcheniya: 20.08.2019).
3. I. A. Ganieva Vedomstvennyi proekt Tsifrovoe sel'skoe khozyaistvo.pdf (Departmental project of Digital agriculture.pdf) [Elektronnyi resurs], URL: <http://agromosreg.ru/uploads/27/3/> (data obrashcheniya: 20.08.2019).
4. Fakhruddinov R. R., Baryshnikov N. A., Guseva S. A. Bepilotnye tekhnologii v APK – perspektivy i vostrebovanost' na rynke (Unmanned technologies in agriculture-prospects and demand in the market) [Elektronnyi resurs], URL: <http://docplayer.ru/64559340-Oblasti-primeniya-bpla.html> (data obrashcheniya: 20.08.2019).
5. Fakhruddinov R. R., Baryshnikov N. A., Guseva S. A. Opyt primeniya mul'tispektral'noi s"emki v oblasti sel'skogo khozyaistva (Experience in the application of multispectral surveying in the field of agriculture) [Elektronnyi resurs], URL: <https://ssau.ru/pagefiles/final%20002%20web.pdf> (data obrashcheniya: 20.08.2019).
6. Cherepanov A. S., Druzhinina E. G. Spektral'nye svoystva rastitel'nosti i vegetatsionnye indeksy (Spectral properties of vegetation and vegetation indices), GeoMatika, 2009, No. 3, pp. 28-32.
7. Vozmozhnosti distantsionnoi otsenki urozhainosti ozimoi pshenitsy na osnove vegetatsionnogo indeksa fotosinteticheskogo potentsiala (Possibilities of remote estimation of winter wheat yield on the basis of vegetative index of photosynthetic potential), F. V. Eroshenko [i dr.], Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2016, T. 13, No. 4, pp. 99-112.
8. Weediness and yield of spring barley depending on the farmingsystem elements, V.G. Kutilkin [et al.], Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 2018, Vol. 9, No. 5, pp. 911-918.
9. Brisco B., Brown R. J. Agricultural applications with radar, Principles and applications of imaging radar, New York, Wiley, 1998, pp. 381-406.
10. Biologization and efficiency of crop rotation types under conditions of the forest-steppe zone of the Volga region, A. L. Toigildin [et al.], Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 2018, Vol. 9, No. 6, pp. 1063-1070.
11. Tekhnologiya monitoringa sostoyaniya posevov po dannym distantsionnogo zondirovaniya Zemli na yuge Zapadnoi Sibiri (Technology of monitoring the state of crops according to remote sensing of the Earth in the South of Western Siberia), L. A. Sladkikh [i dr.], Geomatika, 2016, No. 2, pp. 39-48.
12. Zubkova K. I., Kurevleva T. G., Permitina L. I. Otsenka pogreshnosti rascheta NDVI pri ispol'zovanii empiricheskikh metodov ucheta vliyaniya atmosfery (Evaluation of errors in the calculation of NDVI when using empirical methods account for the influence of the atmosphere), Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informatsionnye sistemy, 2016, T. 3, Vyp. 2, pp. 24-30.
13. // AgroGIS. Rukovodstvo pol'zovatelya (AgroGIS. User manual) [Elektronnyi resurs], URL: <https://gis2.prom.aero/help.pdf> (data obrashcheniya: 20.08.2019).
14. Osorgin Yu. V., Osorgina O. N. Agroekologicheskaya otsenka sel'skokhozyaistvennykh kul'tur i ikh mesta v sostave proektiruemykh sevooborotov (Agroecological assessment of crops and their place in the projected crop rotations), Territoriya innovatsii, 2016, No. 1, pp. 41-48.