

К вопросу об основных элементах точного земледелия в Костанайской области на примере ТОО «СХОС „Заречное“»

Д. Б. Жамалова¹✉, М. Б. Ташмухамедов²

¹ Костанайский инженерно-экономический университет им. М. Дулатова, Костанай, Республика Казахстан

² Костанайский региональный университет им. А. Байтурсынова, Костанай, Республика Казахстан

✉ E-mail: tashdinara@mail.ru

Аннотация. Целью исследований является анализ качества посевных работ (огрехи, просевы), полноты всходов на основе мультиспектральных снимков. Исследования проведены в соответствии с целью реализации научно-технической программы «Трансферт и адаптация технологий по точному земледелию при производстве продукции растениеводства по принципу «демонстрационных хозяйств (полигонов)» в Костанайской области» в 2019 г. **Методы.** Для выполнения мониторинговых работ использовались беспилотный летательный аппарат самолетного типа; мультиспектральная (МС) камера, оснащенная сенсорами основных каналов. Выработаны агротехнические требования с учетом данных электронной карты полей и спецификой региона. Выполнен анализ состояния посевов с использованием информационно-аналитического ресурса. **Результаты.** Проведено обследование сельскохозяйственных культур с целью получения данных о состоянии полей беспилотным летательным аппаратом. Была выполнена аэрофотосъемка мультиспектральной камерой Micasense Red-Edge на высоте 300 метров. Съемка производилась над 19 полями в пяти спектральных диапазонах: синий, зеленый, красный, крайний красный, ближний инфракрасный. Данные аэрофотосъемки являются исходными данными для построения ортофотопланов, цифровой модели поверхности, 3D-модели. После проведения облета территории было проанализировано общее состояние сельскохозяйственных угодий. На эталонных полях измерения производились с помощью портативного прибора – N-Tester. **Научная новизна** заключается в том, что проведена аэрофотосъемка яровой пшеницы, находящаяся в стадии 3–4 листьев, которая позволила выявить изменения значения NDVI, что в ходе наземного обследования подтвердило увеличение степени засорения однолетними просовидными сорняками выделенных областей.

Ключевые слова: точное земледелие, аэрофотосъемка, беспилотный летательный аппарат (БПЛА), ортофотоплан, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Для цитирования: Жамалова Д. Б., Ташмухамедов М. Б. К вопросу об основных элементах точного земледелия в Костанайской области на примере ТОО «СХОС „Заречное“» // Аграрный вестник Урала. 2021. № 08 (211). С. 11–17. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-211-08-11-17.

Дата поступления статьи: 15.03.2021, **дата рецензирования:** 25.03.2021, **дата принятия:** 15.07.2021.

Постановка проблемы (Introduction)

Для Республики Казахстан актуальны вопросы реформирования аграрного комплекса страны, внедрения технологии точного земледелия, способствующих повышению плодородия почв и получению стабильных урожаев при минимальных затратах [1, с. 3].

В основе точного земледелия лежат цифровые карты полей. Существующие кадастровые карты не дают практически никакой полезной информации. Также необходимо проводить регулярное обновление информации, сохраняя данные о химическом составе и влажности почвы, наклонах поверхности

на различных участках, наличии искусственных и природных объектов и удаленности от них, количестве солнечного излучения, севообороте, внесенных удобрениях, использованных средствах защиты растений, применяемой агротехнологии [2].

Основная цель данной статьи – дать каждому растению то, что ему нужно для оптимального роста, при одновременном сокращении затрат (производство продукции по принципу «больше с меньшими затратами»).

Концепция точного земледелия базируется на том, что в рамках каждого поля существуют неоднородности почвы по физическому, биологическому и

химическому составу. И здесь наша задача – поиск этих неоднородностей, составление цифровых карт и карт-заданий с геопривязкой для определения точки безубыточности урожайности для определенной культуры. Точка безубыточности урожайности заключается во взаимосвязи агрохимического состава каждого поля и технологии возделывания культуры на каждом поле с учетом всех его особенностей [3, p. 13], [4, p. 6].

В последние годы для решения задач, связанных с прогнозом пространственного распределения экологических данных, широко применяются спутниковые снимки. Однако данный источник информации имеет ряд недостатков, основными из которых являются высокая стоимость снимков; ограничение возможности получения снимков в короткие сроки и с необходимой периодичностью; необходимость расшифровки снимков; погрешности, вызванные погодными условиями, облачностью и дымкой [5].

В связи с этим перспективной альтернативой данному методу является использование радиоуправляемых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Применение БПЛА для мониторинга и сбора данных дистанционного зондирования позволяет существенно снизить стоимость исследований и ускорить процесс получения актуальных данных с высоким временным и пространственным разрешением [6, p. 3], [7, p. 1].

В европейских странах широко используют достижения космических технологий в сельском хозяйстве – от GPS, позволяющих определять местоположение техники, организовывать параллельное вождение, контролировать работы исполнительных устройств, до использования снимков в ближнем инфракрасном диапазоне для определения неоднородности произрастания культур, дальнейшего их выравнивания с помощью систем и агрегатов точного внесения удобрений [8, p. 14].

Обследование сельскохозяйственных полей при помощи аэрофотосъемки позволяет оптимизировать агротехнические операции (например, определять сроки и дозы внесения агрохимикатов) и выявлять различные стрессы растений, что способствует снижению экономических затрат на производство растениеводческой продукции [9, p. 12].

Аэрофотосъемка получила широкое применение в рамках технологий точного земледелия, в основу которых положен мелкомасштабный дифференцированный подход к системе «поле – посев» как к объекту управления [10, p. 503].

Новые методы, основанные на анализе аэрофотоснимков, являются перспективными альтернативными методами оценки обеспеченности растений полезными веществами и необходимости применения агрохимикатов [11, p. 406].

По данным некоторых ученых, при сопоставлении показателей NDVI, полученных посредством дистанционной и наземной съемки за три года наблюдений, было установлено, что для зерновых

культур наибольшие расхождения между результатами наземной и дистанционной оценки были отмечены в начальные фазы развития (25–33 %), а наименьшие – в момент достижения пика NDVI в фазу колошения. Помимо необходимой процедуры атмосферной коррекции, результаты спутниковой съемки должны быть подвергнуты калибровке по наземным реперным объектам: пруд, асфальт, вспаханная почва без растительности, посевы при разных фонах удобрений. Для калибровки следует использовать датчик с активным источником излучения в красной и инфракрасной области спектра, например, GreenSeeker [12, p. 164], [13, p. 512].

На сегодняшний день активно используются дроны, снимки с космоса для мониторинга полей. Определяется состояние полей на той или иной фазе развития растения на наличие вредителей, болезней и метеорологических данных. Применение дронов в хозяйстве помогает оперативно принять решение о недопущении экономического порога вредоносности. Составление карты полей – это целенаправленная работа, которая закладывает прочный фундамент в повышение эффективности всего хозяйства [14, p. 755].

Точное земледелие рассматривает каждое поле как отдельную единицу учета, каждая из которых неоднородна по рельефу, почвенному покрову, агрохимическому содержанию. На основании данных лабораторных и полевых обследований рассчитываются и вносятся дифференцированная доза элементов питания растений, учитывающая разработанную почвенную карту. Это приводит к экономии удобрений, повышению урожайности и качества сельскохозяйственной продукции, а также создает условия для сохранения окружающей природной среды. Кроме того, снижение химического антропогенного влияния на агробиоценозы повышает их устойчивость, позволяет получать дополнительную прибавку урожая за счет биологических факторов [15, p. 41], [16, p. 128].

Главными преимуществами съемки полей беспилотными летательными аппаратами являются высокая производительность и оперативность данных, достоверность информации и возможность детального анализа и оценки состояния сельскохозяйственных полей.

Методология и методы исследования (Methods)

Работы были выполнены в соответствии с методикой, изложенной в заявке на изобретение «Способ и система обработки зон сельскохозяйственных культур на основании данных мониторинга».

Для выполнения мониторинговых работ использовались:

- беспилотный летательный аппарат самолетного типа;
- мультиспектральная (МС) камера, оснащенная сенсорами основных каналов:
 - зеленый – 550 нм;
 - красный – 660 нм;

- крайний красный – 735 нм;
- ближний инфракрасный – 790 нм;
- синий – 480 нм;
- фотограмметрическое ПО;
- геоинформационная система.

Место проведения работ – г. Костанай. Культура – яровая пшеница.

С помощью портативного прибора N-Tester проводилось измерение уровня поглощения азота культурой для определения точной его потребности. Работа с прибором N-Tester выполнялась путем измерения содержания хлорофилла в листьях непосредственно в поле, без использования вспомогательных средств, которое связано с азотным состоянием растения. Точка измерения должна находиться в середине пластины первого, полностью развитого листа. Тридцать случайных измерений в поле, выполненных с использованием обычной схемы *W*, дают среднее значение, которое используется для определения количества азота, нужного растению.

Для индексов NDVI и GNDVI использовались снимки спутника Sentinel-2. Диапазон значений индекса: $-1...+1$. Карты качественной оценки содержания азота в листьях растений GNDVI получены в сервисе «Геоаналитика. Агро», генерируются по данным Landsat с пространственным разрешением 30 метров. Временное разрешение – 16 суток.

Нормализованный разностный Red Edge индекс (Normalized Difference Red Edge Index, NDRE) – показатель фотосинтетической активности растительного покрова, используемый для оценки концентраций азота в листьях растений с использованием ближнего инфракрасного (750–1000 нм) и крайнего красного (690–730 нм) каналов.



Рис. 1. Определение относительного содержания хлорофилла при помощи N-тестера
Fig. 1. Determination of the relative chlorophyll content using an N-tester

Результаты (Results)

Аэрофотосъемка исследуемой территории производилась на высоте 300 метров с помощью камеры Micasense Red-Edge. Одновременно получены фотографические изображения объекта в различных участках (зонах) спектра электромагнитных волн.

1. Данные аэрофотосъемки были обработаны специализированным фотограмметрическим программным обеспечением для получения многоканальных (мультиспектральных) карт полей и ортофотопланов.

По данным съемки сельскохозяйственных полей беспилотным летательным аппаратом были построены ортофотопланы. Ввиду благоприятных природных условий и высокого разрешения снимков границы полей удалось рассмотреть более детально, в результате чего проведены точные границы полей и уточнены площадные характеристики. Иными словами, площади, непосредственно возделываемые техникой, без учета близлежащих полевых дорог и характерных форм рельефа, не поддающихся сельскохозяйственному возделыванию.

2. После проведения облета территории агроном анализирует общее состояние сельскохозяйственных угодий. На эталонных полях агроном производит измерения с помощью портативного прибора – N-Tester (рис. 1).

Значения, отображаемые измерителем уровня хлорофилла, изменяются в соответствии с фактическим содержанием хлорофилла в листьях. Значения рассчитываются на основании спектрального пропускания на двух участках спектра, поглощение в которых значительно изменяется в зависимости от содержания хлорофилла. По результатам аэрофотосъемки для каждого поля были сформированы следующие продукты: ортофотоплан, плотное облако точек, цифровая модель поверхности (карта высот), обработанная цифровая модель поверхности, текстурированная геопривязанная модель территории (3D-модель). На основе созданных ортофотопланов строились индексные карты состояния растительности (рис. 2).

На основном этапе обработки и анализа изображений были построены карты нормализованного вегетационного индекса (NDVI) и нормализованного вегетационного индекса зелени (GNDVI) с использованием спектральных каналов ближнего инфракрасного (NIR), красного (RED), красного края (REDEGE), зеленого (GREEN).

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности (обычно называемый вегетационным индексом) – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы. Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра проявляется максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом

высших сосудистых растений, а в инфракрасной области находится область максимального отражения клеточных структур листа.

Высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему – в инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять и анализировать растительные сообщества от прочих природных объектов (рис. 3).

По результатам облета поля № 93 на карте NDVI видны междурядья, т. е. засоренность здесь невысокая, при этом в некоторых местах видны проплешины, что подтверждает и наземное обследование (рис. 4).

Параллельно с использованием БПЛА мониторинг производился и с применением спутниковых снимков (рис. 5).

Так, мониторинг индекса вегетации в целом по полям позволил выявить следующее. В первых числах августа наблюдалось естественное снижение индекса, что было связано с укорачиванием вегетационного периода более чем на 14 дней из-за неординарно острой засухи и отсутствия продуктивных осадков, что в сильнее проявилось по стерновым предшественникам. Более высокий индекс (от 0,127 до 0,302) принадлежал полям, на которых возделывалась культура по паровому предшественнику. Индекс в диапазоне от $-0,194$ до $-0,047$ имели паровые поля после обработки.

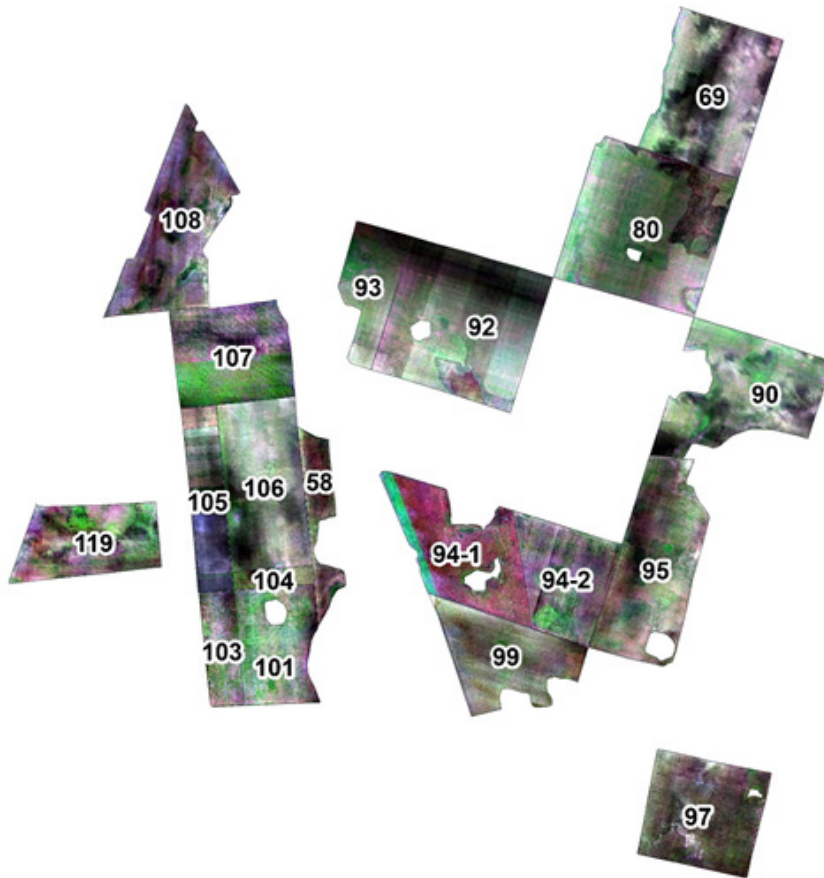


Рис. 2. Комплексное изображение ортофотопланов всех полей
Fig. 2. Complex image of orthophotoplanes of all fields

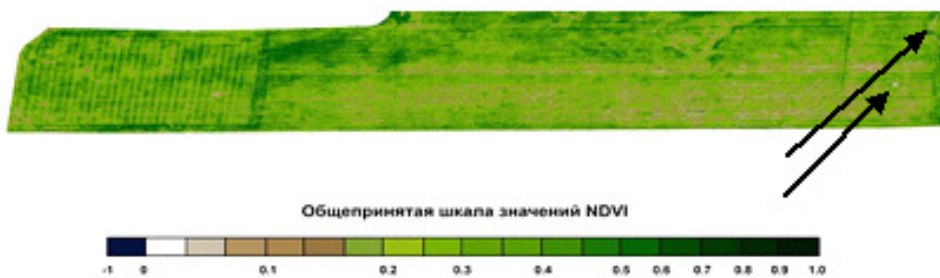


Рис. 3. Распределение значений индекса NDVI участка поля № 93, 2019 г.
Fig. 3. Distribution of NDVI index values of field section No. 93, 2019



Рис. 4. Фото наземного контрольного обследования поля № 93
Fig. 4. Photo of the ground control survey of field No. 93

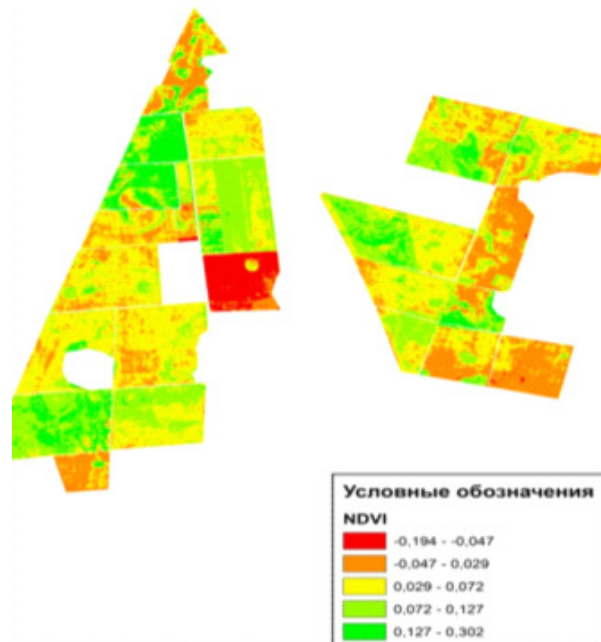


Рис. 5. Мониторинг NDVI-снимков по полям в период вегетации 2019 г.
Fig. 5. Monitoring of NDVI images by fields during the growing season of 2019

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведение аэрофотосъемки яровой пшеницы, находящейся в стадии 3–4 листьев, позволил выявить изменения значения NDVI, что в ходе наземного обследования подтвердило увеличение степени засорения однолетними просовидными сорняками выделенных областей.

Фенологические наблюдения в период вегетации, так же как и мониторинг вредных организмов, проводились посредством использования NDVI-снимков, предоставляемых информационно-аналитическим сервисом, и глазомерным методом.

Библиографический список

1. Абуова А. Б., Тулкубаева С. А. Практическое применение элементов точного земледелия в условиях Северного Казахстана // Инновационные достижения науки и техники АПК: сборник научных трудов. Кинель, 2020. С. 3–7.
2. Spitzkó T., Nagy Z., Zsubori Z. T., Szöke C., Berzy T., Pintér J., Marton C. L. Connection between normalized difference vegetation index and yield in maize // Plant, Soil and Environment. 2016. No. 62 (7). Pp. 293–298.
3. Gebbers R., Adamchuk V. I. Precision agriculture and food security. Science. 2010. No. 327 (5967). Pp. 828–831. DOI: 10.1126/science.1183899.
4. Liaghat S., Balasundram S. K. A Review: The Role of Remote Sensing in Precision Agriculture // American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 2010. No. 5. Pp. 50–55.
5. De Baerdemaeker J. Precision Agriculture Technology and Robotics for Good Agricultural Practices // IFAC Proceedings Volumes. 2013. No. 4. Pp. 1–4.
6. Vasin V. G., Abuova A. B., Tulkubaeva S. A., Zhamalova D. B., Tashmuhamedov M. B. Culture of priority oil crops in the north of Kazakhstan // Bio Web of Conferences. 2020. Vol. 17. Article number 00029. DOI: 10.1051/bioconf/20201700029.
7. Yongzong Lu, Yongguang Hu, Pingping Li, Kyaw Tha Paw U, Snyder R. L. Prediction of Radiation Frost Using Support Vector Machines Based on Micrometeorological Data // Environmental Sciences. 2019. No. 10. Article number 283. DOI: 10.3390/app10010283.
8. Akramkhanov A., Brus D. J., Walvoort D. J. J. Geostatistical monitoring of soil salinity in Uzbekistan by repeated EMI surveys // Geoderma. 2014. No. 213. Pp. 600–607.
9. Duhan J. S., et al. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture // Biotechnology Reports. 2017. No. 15. Pp. 11–23.

10. Mogili U. R., Deepak B. B. V. L. Review on application of drone systems in precision agriculture // *Procedia Computer Science*. 2018. Vol. 133. Pp. 502–509.
11. Karim F., Karim F., Frihida A. // *Procedia Computer Science*. 2017. Vol. 110. Pp. 402–409.
12. Leonard E. C. Precision Agriculture // In: *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition*, 2015. Pp. 162–167.
13. Puri V., Nayyar A., Raja L. Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture // *Journal of Statistics and Management Systems*. 2017. No. 20. Pp. 507–518 .
14. Bendre M. R., Thool R. C., Thool V. R. // In: *Proceedings on 2015 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT)*. 2015. Pp. 744–750.
15. Kernecker M., Knierim A., Wurbs A., Kraus T., Borges F. Experience versus expectation: farmers' perceptions of smart farming technologies for cropping systems across Europe // *Precision Agriculture*. 2020. Pp. 34–50. DOI: 10.1007/s11119-019-09651-z.
16. Pham X., Stack M. How data analytics is transforming agriculture // *Business Horizons*. 2018. No. 61. Pp. 125–133.

Об авторах:

Динара Булатовна Жамалова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, сеньор-лектор,
ORCID 0000-0003-2281-4817; +7 747 804-94 55, tashdinara@mail.ru

Марат Булатович Ташмухамедов², магистр сельскохозяйственных наук, докторант,
ORCID 0000-0003-0375-4601; +7 707 670 98 99

¹ Костанайский инженерно-экономический университет им. М. Дулатова, Костанай, Республика Казахстан

² Костанайский региональный университет им. А. Байтурсынова, Костанай, Республика Казахстан

On the question of the main elements of precision agriculture in Kostanay region on the example of LLP “Agricultural Experimental Station “Zarechnoye”

✉ D. B. Zhamalova¹, M. B. Tashmukhamedov²

¹ Kostanay Engineering and Economics University named after M. Dulatov, Kostanay, Republic of Kazakhstan

² Kostanay Regional University named after A. Baitursynov, Kostanay, Republic of Kazakhstan

✉ E-mail: tashdinara@mail.ru

Abstract. The purpose of the research is to analyze the quality of sowing operations (flaws, sifting), the completeness of seedlings based on multispectral images. The research was carried out in accordance with the purpose of implementing the scientific and technical program “Transfer and adaptation of precision farming technologies in the production of crop production on the principle of “demonstration farms (landfills)” in Kostanay region” in 2019.

Methods. To perform monitoring work, an unmanned aerial vehicle of an airplane type was used; a multispectral (MS) camera equipped with sensors of the main channels. Agrotechnical requirements have been developed taking into account the data of the electronic map of fields and the specifics of the region. The analysis of the state of crops using an information and analytical resource was carried out. **Results.** A survey of agricultural crops was conducted in order to obtain data on the state of the fields by an unmanned aerial vehicle. Aerial photography was performed with the Make sense Red-Edge multispectral camera at an altitude of 300 meters. The survey was carried out over 19 fields in five spectral ranges: blue, green, red, extreme red, near infrared. Aerial photography data are the initial data for the construction of orthophotoplanes, digital surface models, 3D-models. After conducting a flyby of the territory, the general condition of agricultural land was analyzed. Measurements are made on the reference fields using a portable device – an N-tester. **The scientific novelty** lies in the fact that aerial photography of spring wheat, which is at the stage of 3–4 leaves, was carried out, which revealed changes in the NDVI value, which during the ground survey confirmed an increase in the degree of clogging by annual millet weeds of the selected areas.

Keywords: precision agriculture, aerial photography, unmanned aerial vehicle (UAV), orthophotoplane, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

For citation: Zhamalova D. B., Tashmukhamedov M. B. K voprosu ob osnovnykh elementakh tochnogo zemledeliya v Kostanayskoy oblasti na primere TOO “SKhOS „Zarechnoe“ [On the question of the main elements of precision agriculture in Kostanay region on the example of LLP “Agricultural Experimental Station “Zarechnoye”] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021. No. 08 (211). Pp. 11–17. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-211-08-11-17. (In Russian.)

Date of paper submission: 15.03.2021, **date of review:** 25.03.2021, **date of acceptance:** 15.07.2021.

References

1. Abuova A. B., Tul'kubaeva S. A. Prakticheskoe primeneniye elementov tochnogo zemledeliya v usloviyakh Severnogo Kazakhstana [Practical application of precision farming elements in the conditions of Northern Kazakhstan] // *Innovatsionnye dostizheniya nauki i tekhniki APK: sbornik nauchnykh trudov*. Kinel, 2020. Pp. 3–7. (In Russian.)
2. Spitzkó T., Nagy Z., Zsubori Z. T., Szóke C., Berzy T., Pintér J., Marton C. L. Connection between normalized difference vegetation index and yield in maize // *Plant, Soil and Environment*. 2016. No. 62 (7). Pp. 293–298.
3. Gebbers R., Adamchuk V. I. Precision agriculture and food security. *Science*. 2010. No. 327 (5967). Pp. 828–831. DOI: 10.1126/science.1183899.
4. Liaghat S., Balasundram S. K. A Review: The Role of Remote Sensing in Precision Agriculture // *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 2010. No. 5. Pp. 50–55.
5. De Baerdemaeker J. Precision Agriculture Technology and Robotics for Good Agricultural Practices // *IFAC Proceedings Volumes*. 2013. No. 4. Pp. 1–4.
6. Vasin V. G., Abuova A. B., Tulkubaeva S. A., Zhamalova D. B., Tashmuhamedov M. B. Culture of priority oil crops in the north of Kazakhstan // *Bio Web of Conferences*. 2020. Vol. 17. Article number 00029. DOI: 10.1051/bioconf/20201700029.
7. Yongzong Lu, Yongguang Hu, Pingping Li, Kyaw Tha Paw U, Snyder R. L. Prediction of Radiation Frost Using Support Vector Machines Based on Micrometeorological Data // *Environmental Sciences*. 2019. No. 10. Article number 283. DOI: 10.3390/app10010283.
8. Akramkhanov A., Brus D. J., Walvoort D. J. J. Geostatistical monitoring of soil salinity in Uzbekistan by repeated EMI surveys // *Geoderma*. 2014. No. 213. Pp. 600–607.
9. Duhan J. S., et al. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture // *Biotechnology Reports*. 2017. No. 15. Pp. 11–23.
10. Mogili U. R., Deepak B. B. V. L. Review on application of drone systems in precision agriculture // *Procedia Computer Science*. 2018. Vol. 133. Pp. 502–509.
11. Karim F., Karim F., Frihida A. // *Procedia Computer Science*. 2017. Vol. 110. Pp. 402–409.
12. Leonard E. C. Precision Agriculture // In: *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition*, 2015. Pp. 162–167.
13. Puri V., Nayyar A., Raja L. Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture // *Journal of Statistics and Management Systems*. 2017. No. 20. Pp. 507–518 .
14. Bendre M. R., Thool R. C., Thool V. R. // In: *Proceedings on 2015 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT)*. 2015. Pp. 744–750.
15. Kernecker M., Knierim A., Wurbs A., Kraus T., Borges F. Experience versus expectation: farmers' perceptions of smart farming technologies for cropping systems across Europe // *Precision Agriculture*. 2020. Pp. 34–50. DOI: 10.1007/s11119-019-09651-z.
16. Pham X., Stack M. How data analytics is transforming agriculture // *Business Horizons*. 2018. No. 61. Pp. 125–133.

Authors' information:

Dinara B. Zhamalova¹, candidate of agricultural sciences, senior lecturer, ORCID 0000-0003-2281-4817; +7 747 804-94 55, tashdinara@mail.ru

Marat B. Tashmukhamedov², master of agricultural sciences, doctoral student, ORCID 0000-0003-0375-4601; +7 707 670 98 99

¹ Kostanay Engineering and Economics University named after M. Dulatov, Kostanay, Republic of Kazakhstan

² Kostanay Regional University named after A. Baitursynov, Kostanay, Republic of Kazakhstan