

Тенденции развития технических средств аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель

Юлия Сергеевна Ценч,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник;

Наталья Ивановна Захарова,
младший научный сотрудник,
e-mail: smedia@vim.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Аэрофотосъемка становится неотъемлемой частью дистанционного зондирования в цифровом земледелии. Первые аэрофотографии были получены в середине XIX века. (*Цель исследования*) Провести ретроспективный анализ развития аппаратуры для аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель с момента создания первого аэрофотоснимка по настоящее время. (*Материалы и методы*) Выполнен анализ литературных источников путем применения историко-аналитического метода. В рамках исследования история развития аппаратуры для аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель была разделена на четыре периода: 1885-1908, 1909-1945, 1946-1979 годы, с 1980 года по настоящее время. (*Результаты и обсуждение*) В период первых экспериментальных разработок аэрофотоаппаратуры была получена первая фотография, разработаны первые портативные камеры и их крепления к воздушным шарам и змеям, ракетам, птицам. Технологический прогресс в первой половине XX века способствовал становлению аэрофотосъемки инструментом для широкого круга разведывательных операций, включая сельскохозяйственные задачи. Развитие космических технологий во второй половине XX века способствовало интенсивному развитию аппаратуры для аэросъемки и их носителей. Цветная аэрофотосъемка использовалась для изучения поверхности Земли. Развитие цифровых технологий в конце XX и начале XXI века способствовало использованию цифровых аэрофотоаппаратов высокого разрешения, установленных на различные носители от беспилотных воздушных судов до искусственных спутников Земли. (*Выводы*) Ретроспективный анализ показывает, что процесс разработки и создания аппаратуры для аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель происходил скачкообразно. Развитие было связано с политической, социальной и экономической ситуацией в мире, уровнем прогресса технологий в смежных областях. Дальнейшее применение аэрофотоаппаратуры в сельском хозяйстве в ближайшие десять лет будет способствовать повышению производительности беспилотных воздушных судов, снижению производственных затрат на аэрофотосъемку и повсеместному внедрению технологии цифрового дистанционного зондирования в аграрной сфере.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, аэрофотография, аэрофотоаппарат, фотограмметрия, дистанционное зондирование.

■ **Для цитирования:** Ценч Ю.С., Захарова Н.И. Тенденции развития технических средств аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №3. С. 16-26. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-16-26. EDN YNLXVD.

Trends in Development of Agricultural Aerial Photography Technology

Yuliya S. Tsench,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher;

Natalia I. Zakharova,
junior researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Aerial photography is becoming an integral part of remote sensing in digital agriculture. The first aerial photographs were taken in the mid-19th century. (*Research purpose*) The paper aims to retrospectively analyze the evolution of aerial photography equipment for capturing agricultural lands, beginning with the creation of the first aerial photograph up to the present day. (*Materials and methods*) A historical-analytical approach was employed to examine the existing literature. Within this study, the development of agricultural aerial photography equipment was categorized into four distinct time periods: 1885-1908, 1909-1945, 1946-1979, and from 1980 to the present day. (*Results and discussion*) In the initial phase of experimental aerial photographic equipment development, significant advancements were achieved, encompassing the emergence of the first photograph, the creation of portable cameras and their adaptation for use with hot air balloons and kites, rockets, and birds. Technological growth in the first half of the 20th century contributed to elevating aerial photography to a versatile tool applied for

a wide range of intelligence operations, including agricultural tasks. The evolution of space technologies in the second half of the 20th century resulted in the rapid development of both aerial photography equipment and their carriers. This progress facilitated the use of color aerial photography for the examination of the Earth's surface. The advancements of digital technologies at the end of the 20th century and the beginning of the 21st century facilitated the use of high-resolution digital aerial cameras mounted on various carrier platforms, ranging from unmanned aircraft to artificial Earth satellites. (*Conclusions*) A retrospective analysis reveals that the development and creation of equipment for aerial photography of agricultural lands unfolded in a sporadic fashion. This progression was closely intertwined with global political, social, and economic situation, as well as the state of technological advancement in related areas. Over the coming decade, the sustained application of aerial photography in agriculture is poised to enhance the efficiency of unmanned aircraft, reduce the production costs associated with aerial photography, and facilitate the widespread adoption of digital remote sensing technology within the agricultural sector.

Keywords: aerial photography, aerophotography, aerial camera, photogrammetry, remote sensing.

For citation: Tsench Yu.S., Zakharova N.I. Tendentsii razvitiya tekhnicheskikh sredstv aerofotosemki sel'skokhozyaystvennykh zemel' [Trends in development of agricultural aerial photography technology]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N3. 16-26 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-16-26. EDN YNLXVD.

В сельском хозяйстве в последнее десятилетие стали активно использоваться данные аэрофотосъемки с беспилотных воздушных судов (БВС). Это позволяет оптимизировать процесс селекции и производства сельскохозяйственных культур, повысить урожайность [1-3]. Беспилотные воздушные технологии рассматриваются как будущее дистанционного зондирования в цифровом земледелии [4-8]. Оперативная аэрофотосъемка способствует сбору информации о посевах, почве, визуализации и анализу данных для оперативного принятия эффективных управленческих решений [9].

Цель исследования – выполнить ретроспективный анализ развития аппаратуры для аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель с момента создания первого аэрофотоснимка в середине XIX века по настоящее время.

Материалы и методы. Проведен анализ литературных источников путем применения историко-аналитического метода. Объекты исследования – оригинальные работы отечественных и зарубежных авторов: монографии, научные журналы, материалы конференций, экспозиции музеев, фотоматериалы в открытом доступе.

Результаты и обсуждение. В рамках исследования история развития аппаратуры для аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель разделена на четыре периода: 1885-1908 годы – первые экспериментальные разработки аэрофотоаппаратуры; 1909-1945 годы – активные разработки, съемка с самолетов, применение аэрофотосъемки в военных целях; 1946-1979 годы – становление дистанционного зондирования Земли, получение спутниковых изображений; с 1980 по настоящее время – развитие цифрового аэрофотоаппарата, применение беспилотных технологий.

1 этап. 1885-1908 годы – первые экспериментальные разработки аэрофотоаппаратуры

История аэрофотосъемки берет начало в середине XIX века. В 1858 году французский фотограф Гас-

пар Феликс Турнашон, более известный как Надар (1820–1910), с привязного воздушного шара сделал первую в мире фотографию деревни Пти-Бисетр (ныне Пти-Клармар) в пригороде Парижа. В то время для фиксации изображений использовался коллодиевый процесс, при котором фотоматериал нужно было обработать в течение 15 минут. Для этого в корзине воздушного шара была целая фотолаборатория. Полученные изображения не удалось сохранить, тем не менее, Надар стал автором первого аэроснимка. В 1858 году он запатентовал устройство для поддержания камеры в вертикальном положении.

13 октября 1860 года в Соединенных Штатах Америки фотограф Джеймс Уоллес Блэк (1825-1896) сделал серию фотоснимков над Бостоном с привязного воздушного шара «Королева воздуха» Сэмюэля Кинга. Для создания изображений использовались мокрые коллодиевые пластины. Получилось только одно изображение вида с высоты 1200 футов (~365 м), которое является первым сохранившимся аэрофотоснимком (*рис. 1*).

В 1877 году английский изобретатель Уолтер Бентли Вудбери (1834-1885) запатентовал фотоаппарат, которым можно было управлять с земли с использованием электрического кабеля. В то время фотография находилась в зачаточном примитивном состоянии.

Через несколько лет был изобретен способ, не требующий наличия фотолаборатории в корзине воздушного шара. Внедрение технологии с применением сухой пластины и более совершенного оборудования для фотоаппаратов позволило сосредоточиться на процессе съемки. Француз Жан Никола Трушелю (1811-1890) считается автором первых фотографий, сделанных камерой с сухой пластиной при полете на воздушном шаре над Парижем в 1879 году.

В России первая аэрофотосъемка состоялась 18 мая 1886 года. Использовалась камера, разработанная Вячеславом Измайловичем Срезневским (1849-1937). Камера имела фокус на бесконечность, уста-

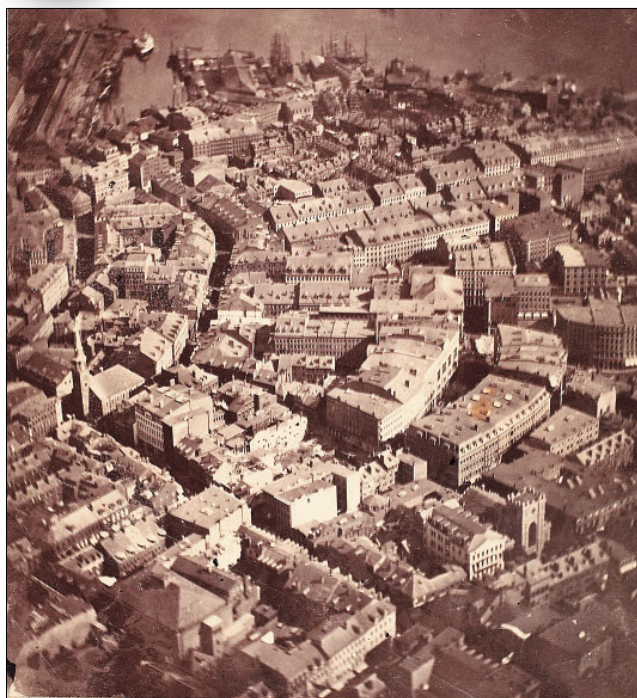


Рис. 1. Надпись на аэрофотоснимке «Бостон, каким его видят орел и дикий гусь», автор Джеймс Уоллес Блэк. [Онлайн экспозиция Метрополитен-музея, Нью-Йорк, США. <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/283189>]

Fig. 1. The first existing aerial photograph titled «Boston, as the Eagle and the Wild Goose See It» by James Wallace Black [the Metropolitan Museum of Art Online Exhibition, New York, USA. <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/283189>]

навливалась объективом вниз. Она крепилась с помощью специального кронштейна, использовались фотопластинки форматом 24×24 см [10]. Во время этой аэрофотосъемки Леонид Николаевич Зверинцев и Александр Матвеевич Кованько (1856-1919) сделали четыре снимка по маршруту полета воздушного шара от Санкт-Петербурга до Кронштадта на высоте 800 метров (рис. 2). В 1887 году Л.Н. Зверинцев опубликовал книгу «Фотографирование с воздушных шаров».

В следующие несколько лет фотографические технологии продолжали развиваться, и вскоре появилась возможность прикреплять камеры к беспилотным летательным объектам. Британец Эдмунд Дуглас Арчибальд (1851-1913) проводил эксперименты с воздушными змеями в 1882 году. Для создания фотографии применялся заряд взрывчатого вещества на таймере. Несколько лет спустя французский фотограф Артур Батут (1846-1919) подвесил камеру к воздушному змею и автоматически установил выдержку, затвор срабатывал через несколько мгновений после запуска змея (рис. 3). Первый аэрофотоснимок им был сделан в мае 1888 года. В 1890 году Артур Батут опубликовал книгу по аэрофотосъемке с помощью воздушных змеев «La photographie aérienne par cerf-volant».

В 1897 году Альфред Нобель (1833-1896), знамени-



Рис. 2. Фотоснимок Санкт-Петербурга с воздушного шара, сделанный А.М. Кованько 18 мая 1886 г.

Fig. 2. Photograph of St. Petersburg captured from a hot air balloon by A.M. Kovanko on May 18, 1886

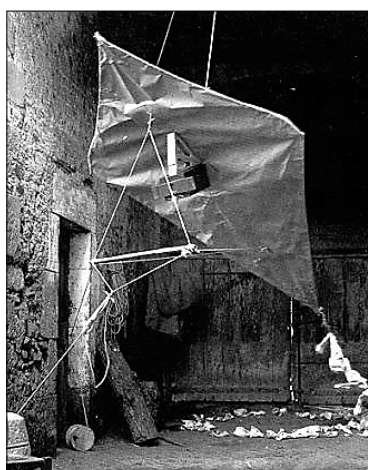


Рис. 3. Воздушный змей Артура Батута

Fig. 3. Arthur Batut's kite

тый шведский изобретатель, впоследствии учредивший Нобелевскую премию, предложил установить камеру на ракету. Идея заключалась в том, что с ракеты во время ее спуска на парашюте камера успевала сделать один снимок. Семь лет спустя немецкий инженер Альфред Мауль (1864–1941) первым использовал ракету, чтобы сделать аэрофотоснимок местности с высоты 2600 футов (~972,48 м). Камера была катапультирована и сброшена на землю. Такая ракета образца 1912 года несла фотопластинку размером 20×25 см, стабилизированную гироскопом.

Эксперименты по фотосъемке с воздушными змеями и ракетами оказались успешными, а также проводились опыты с использованием птиц. В 1908 году немецкий аптекарь Юлиус Нойброннер (1852-1932) запатентовал способ установки фотокамеры на груди голубя (рис. 4). С помощью алюминиевых ремешков к голубю прикрепляли легкую камеру с временной задержкой и получался «вид с высоты птичьего полета». Метод был широко распространен во время

Первой мировой войны. Баварский голубиный корпус использовал голубей для почтового сообщения и воздушной разведки. Камера могла работать в режиме интервальной съемки с частотой 30 секунд. Траектория полета была не всегда надежной и предсказуемой.

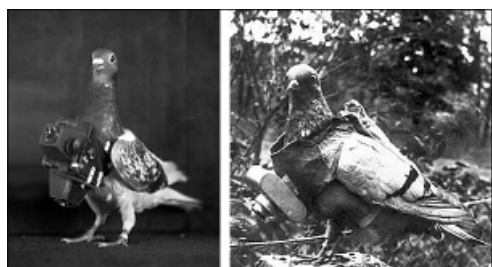


Рис. 4. «Голубиная камера» Юлиуса Нойброннера [11]
Fig. 4. «Pigeon camera» by Julius Neubronner

На этапе ранних экспериментальных разработок аэрофотоаппаратуры было получено первое изображение, созданы первые портативные камеры, предложены способы их крепления к носителям – воздушным шарам и змеям, ракетам, птицам (табл. 1).

В этот период различали четыре основные категории аэрофотосъемки с воздушных шаров: художественная, геодезическая, военная и исследовательская, включая научные наблюдения. Несмотря на значительную и зачастую опасную деятельность фотографов, связанную с воздухоплаванием, высотная аэрофотосъемка с немогущих летательных аппаратов оказалась в основном экспериментальной и непрактичной до появления более устойчивых воздушных платформ (жестких дирижаблей и самолетов) и более совершенной фотографической техники.

II этап. 1909-1945 годы – активные разработки, съемка с самолетов, применение аэрофотосъемки в военных целях

Период до 1945 год был временем технического совершенствования и экспериментов, поскольку фотография стала применяться в более широких сферах жизни.

Впервые аэрофотосъемка с самолета была сдела-

на в 1908 году американцем Уилбуром Райтом (1867-1912). В 1909 году появился немой фильм длительностью 3 минуты 28 секунд «*Wilbur Wright und seine Flugmaschine*» («Уилбур Райт и его летающая машина») с документальными кадрами 24 апреля 1909 года на аэродроме около Рима, запечатлевшие подготовку к полету и сам полет в доказательство того, что летающий самолет – это не обман.

В России в 1910 году первые опытные фотосъемки с самолета были выполнены пилотами Севастопольской офицерской школы авиации. В этом же году Сергей Алексеевич Ульянин (1871-1921) разработал первый для России фотоаппарат, устанавливаемый на борт самолета, и опубликовал брошюру «О стереофотограмметрии».

В 1911 году в России прошли испытания первого в мире пленочного полуавтоматического аэрофотоаппарата (рис. 5). Автор этого изобретения, созданный специально для съемки с самолета, военный инженер полковник Владимир Филиппович Потте. Аппарат состоял из деревянного корпуса, в котором размещалась камера и объектив с фокусным расстоянием 210 мм и диафрагмой 1:4,5. Заводной механизм активировал затвор камеры с помощью резиновой груши. Камера могла совершать 50 последовательных снимков размером 13×18 см на перематываемую пленку. Фотографии были достаточно высокого качества для составления точных топографических карт [12]. Аэрофотоаппарат применялся в ВВС с 1913 до 1930 года и позже был заменен автоматическим аналогом – камерой «АФА-ИМ».

К апрелю 1917 года 198 русских самолетов были оснащены фотоаппаратом В.Ф. Потте, 77 самолетов – камерами конструкции С.А. Ульянина и 114 – камерами других типов. Российские военные сделали около 1,5 миллиона аэрофотоснимков. После 1917 года аэрофотосъемка продолжала развиваться быстрыми темпами в России и Советском Союзе [13].

В Первую мировую войну (1914-1918) фотография широко использовалась как средство документирования военных действий. Развитие аэрофотосъемки позволило по-новому увидеть и оценить тактику боя,

Основные изобретения в I период развития аэрофотоаппаратуры KEY INNOVATIONS DURING THE INITIAL STAGE OF AERIAL PHOTOGRAPHIC EQUIPMENT DEVELOPMENT		
Год / Year	Разработка / Engineering	Изобретатель / Inventor
1858	Первая аэрофотография с привязного воздушного шара First aerial photograph taken from a tethered hot-air balloon	Гаспар-Феликс Турнашон, Надар Gaspard-Félix Tournachon, Nadar
1882	Съемка с воздушных змеев Kite aerial photography	Эдмунд Дуглас Арчибалд Edmund Douglas Archibald.
1886	Аэрофотосъемка специализированным фотоаппаратом Aerial photography using a specialised camera	Вячеслав Измайлович Срезневский Vyacheslav Izmailovich Sreznevsky
1897	Установка камеры на ракету Mounting a camera aboard the rocket	Альфред Нобель Alfred Nobel
1908	Патент на камеру для голубей A patent for a pigeon camera	Юлиус Густав Нойброннер Julius Gustav Neubronner

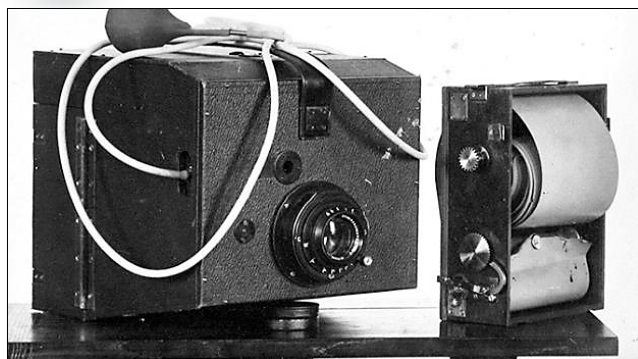


Рис. 5. Пленочный полуавтоматический аэрофотоаппарат В.Ф. Потте [Абрамов Г. Этапы развития отечественного фотоаппаратостроения. <http://www.photohistory.ru/index.php?pid=1531549784878758>]

Fig. 5. V.F. Potte's semi-automatic aerial film camera (Abramov G. *Etapy razvitiya otechestvennogo fotoapparatostroeniya* [Stages of domestic camera manufacturing development] <http://www.photohistory.ru/index.php?pid=1531549784878758>)

а также продвинуться в области картографии.

В 1915 г. капитан Джон Теодор Катберт Мур-Брабазон (1884-1964) при содействии компании *Thornton-Picard* изобрел первый специализированный аэрофотоаппарат, значительно расширивший возможности аэрофотосъемки. Пилот мог периодически включать камеру, которая была встроена в днище самолета. Мур-Брабазон также первым применил в аэрофотосъемке стереоскопическую технологию, позволяющую определять высоту объектов на местности путем сравнения фотографий, сделанных с разных ракурсов.

Ближе к концу войны американский бизнесмен и инвестор Шерман Миллс Фэйрчайлд (1896-1971) разработал фотоаппарат, в котором затвор располагался внутри объектива, что значительно улучшило качество изображения.

В период мировой войны 1914-1918 годов аэрофотосъемка выделилась в отдельную узкоспециализированную отрасль фотографии. В 1919 году была основана первая коммерческая компания *Aerofilm Ltd.*, занимающаяся аэрофотосъемкой в Великобритании. С 1921 года *Aerofilm Ltd.* производила вертикальную фотосъемку для геодезических и картографических целей. В 1930-х годах ее клиентом было национальное картографическое агентство Великобритании *Ordnance Survey (OS)*. *Aerofilm Ltd.* стала пионером в области фотограмметрии.

В Канаде многие ветераны в первые послевоенные годы с помощью специальных камер проводили картирование сельскохозяйственных полей, применяя аэрофотосъемку уже для гражданских нужд.

К 1931 году Советский Союз опередил остальную Европу по площади своей территории, сфотографированной с неба. Конструктор Лев Тимофеевич Сафронов (1911-1995) создал первый советский аэрофотоаппарат для ноч-

ной съемки «НАФА-19» на базе аппарата В.Ф. Потте.

В 1925 году была основана авиационная корпорация *Fairchild Aviation Corporation* (штат Нью-Йорк) для постройки самолета, специально разработанного для точной фотосъемки с комбинированным блоком из двух синхронизированных камер с пятью 6-дюймовыми объективами в каждой и 10-дюймовым объективом. Одна фотография отображала площадь около 580 км². Одним из первых полученных государственных заказов была аэрофотосъемка в штате Нью-Мексико для изучения эрозии почвы.

С 1936 года в США была поставлена задача создать полную и систематическую аэрофотосъемку сельскохозяйственных угодий страны. Предполагалось, что эти снимки послужат основой для реализации инициатив по стимулированию развития сельского хозяйства в США в рамках программы «Новый курс», проводимой администрацией президента Франклина Рузвельта. Аэроснимки были распространены по министерству сельского хозяйства и использовались в качестве инструментов для управления сельскохозяйственными ландшафтами.

Осознавая, что успех зависит от сбора точных данных о земле, сельскохозяйственный департамент прилагал все усилия для создания «адекватных и единых стандартов» на всех уровнях производства аэрофотоснимков: полета, обработки и интерпретации. Например, обработка аэрофотоснимков практически всегда включала в себя существенную оптическую и тригонометрическую коррекцию, а также тщательную проверку масштаба на основе наземных измерений и отбора проб [14-15].

Цветная аэрофотосъемка впервые была осуществлена в 1936 году одновременно в СССР и в Канаде. Фотографии, показывающие разделение тропосферы и стратосферы и реальную кривизну Земли, были сделаны в 1936 году капитаном Армии США Альбертом Вильямом Стивенсом (1886-1979) с воздушного шара на высоте 72 000 футов (~21 945,6 м).

Во время Второй мировой войны аэрофотосъемка была обычным явлением. Аэрофотоснимки с фронта войны регулярно публиковались в газетах и журналах, часто использовались для создания кинохроники и пропаганды. Наблюдения вели с небольших быстроходных самолетов. Фотографировать можно было с большой высоты и с более высокой скоростью для лучшего сбора разведывательной информации.

Развитие самолетов-разведчиков для записи передвижения и линии обороны противника во время двух мировых войн еще более способствовало применению аэрофотографии. С огромным технологическим прогрессом в первой половине XX века аэрофотосъемка быстро стала инструментом реализации широкого круга операций, в том числе в сельскохозяйственных секторах (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

ОСНОВНЫЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ II ПЕРИОДА РАЗВИТИЯ АЭРОФОТОАППАРАТУРЫ KEY INNOVATIONS DURING THE SECOND STAGE OF AERIAL PHOTOGRAPHIC EQUIPMENT DEVELOPMENT		
Год / Year	Разработка / Engineering	Изобретатель / Inventor
1908	Фотографии с пилотируемого самолета Aerial photos captured from a manned aircraft	Уилбур Райт Wilbur Wright
1911	Пленочный полуавтоматический аэрофотоаппарат Semi-automatic aerial film camera	Владимир Филиппович Потте Vladimir Filippovich Potte
1914-1918	Аэрофотосъемка как ключевой инструмент разведки во время Первой мировой войны Aerial photography becomes a key intelligence tool during World War I	Россия, Германия, Франция, Великобритания, США
1915	Первая специализированная аэрофотокамера The first specialised aerial camera	Джон Мур-Брабазон John Moore-Brabazon
1916	Первая камера с затвором внутри объектива The first camera with an internal lens shutter	Шерман Фэйрчайлд Sherman Fairchild
1921	Начало аэрофотосъемки для геодезических и картографических целей Start of aerial photography for geodetic and cartographic purposes	Компания Aerofilm Ltd.
1936	Фотография Земли с высоты более 20 км A photograph of the Earth from an altitude of more than 20 kilometers	Альберт Вильям Стивенс Albert William Stevens
1936	Аэрофотосъемка сельскохозяйственных земель страны Aerial photography of the country's agricultural lands.	Министерство сельского хозяйства США US Department of Agriculture (USDA)
1939	Первые цветные аэрофотоснимки The first colour aerial photographs	СССР, Канада USSR, Canada
1939-1945	Аэрофотосъемка для военных целей. Разработки и усовершенствования камер Aerial photography for military use. Camera developments and improvements	СССР, Германия, Франция, Великобритания, США USSR, Germany, France, Great Britain, USA

III этап. 1946-1979 годы – становление дистанционного зондирования Земли, получение спутниковых изображений

После войны возобновился выпуск фотоаппаратов для гражданской сферы, применялся опыт и улучшались технологии, разработанные в ходе военных действий. Для создания аэрофотокарты Манхэттена использовалась серия перекрывающихся изображений. С точки зрения составления карт такие съемки оказались лучше, чем картографирование с земли, и коммерческая аэрофотосъемка быстро стала популярной.

Официально первым снимком Земли, сделанным из космоса, считается изображение, полученное 24 октября 1946 года ВВС США с высоты ~105 км над Нью-Мексико. Фотография была снята 35-миллиметровой кинокамерой, прикрепленной к ракете «Фау-2».

К концу 1950-х годов цветная аэрофотосъемка распространилась при решении научных и хозяйственных вопросов: общегеографического изучения Земли; геологического картирования территорий; лесоустройства хвойно-лиственных насаждений; учета древостоев, пораженных промышленными выбросами или насекомыми-вредителями; создания почвенных карт сельскохозяйственных земель; обследования посевов; изучения континентального шельфа [16].

Развитие спутникового дистанционного зондирования началось с гонки за освоение космоса 1950-1960 годов. В 1957 году Советский Союз запустил первый в мире искусственный спутник Земли «Спутник-1» [17]. В США в 1960 году успешно стартовал спутник «Explorer 1». Следующие десятилетия привели к бы-

строму развитию спутников и технологий обработки изображений.

Первый в мире образец аналитического фотограмметрического прибора *AP-1 (analytical plotter)*, созданный фирмами *OMI (Италия)* и *Bendix (США)*, был продемонстрирован в 1960 г. Конструктивно прибор состоял из измерительного блока, в качестве которого использовали стереокомпаратор, и электронно-вычислительной машины (ЭВМ). Программное обеспечение составил Ууно Вилхо Хелава (1923-1994) канадский разработчик и пионер международного картографирования с помощью аэрофотосъемки. Это ознаменовало начало перехода фотограмметрии на использование компьютерной техники.

Термин «дистанционное зондирование» появился в начале 1960-х годов, когда американский географ Эвелин Прюитт (1918-2000) осознала, что аэрофотосъемка больше не является адекватным термином для описания потоков данных, генерируемых новыми технологиями.

В 1972 году США запустили первый спутник дистанционного зондирования Земли «*Landsat-1*». С помощью полученных от него данных решались задачи сельского хозяйства, геологии, гидрологии, океанологии и картографии; проводился мониторинг и контроль лесных, минеральных и водных ресурсов; оценивалось загрязнение окружающей среды, прогнозировались метеорологические явления. Спутник был оснащен трехкамерным видиконом с возвращаемым лучом для получения фотографических изображений Земли в видимом и коротковолновом ин-

Таблица 3		Table 3	
ОСНОВНЫЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ III ПЕРИОДА РАЗВИТИЯ АЭРОФОТОАППАРАТУРЫ KEY INNOVATIONS DURING THE THIRD STAGE OF AERIAL PHOTOGRAPHIC EQUIPMENT DEVELOPMENT			
Год / Year	Разработка / Engineering	Изобретатель / Inventor	
1946	Первая фотография Земли, сделанная из космоса The first photograph of Earth taken from space	BBC США US Air Force	
1950-е 1950s	Развитие спутникового дистанционного зондирования Development of satellite remote sensing	СССР, США USSR, USA	
1959	Первый искусственный спутник Земли «Спутник-1» The first artificial earth satellite Sputnik-1	СССР USSR	
1960	Первый в мире образец аналитического фотограмметрического прибора The world's first prototype of an analytical photogrammetric instrument	ОМИ (Италия), Bendix (США), Уно Вилхо Хелава OMI (Italy), Bendix (USA) and Uuno Vilho Helava	
1960-е 1960s	Введение термина «Дистанционное зондирование» Introduction of the term «Remote Sensing»	Эвелин Лорд Приюитт Evelyn Lord Pruitt	
1972	Первый спутник для дистанционного зондирования Земли «Landsat-1» The first earth remote sensing satellite Landsat-1	США USA	
1970-е 1970s	Коммерческое использование данных аэрофотосъемки Commercial use of aerial survey data	Италия, Франция, СССР, США, Канада, Великобритания Italy, France, USSR, USA, Canada, UK	

фракрасном излучении, а также четырехканальный мультиспектральный сканер для получения радиометрических изображений Земли. В 1970-е годы полученные со спутника данные использовались по всему миру в коммерческих и научно-исследовательских целях, в том числе в США, Канаде, Великобритании, Италии, Франции, СССР.

Развитие космических технологий во второй половине XX века способствовало интенсивной разработке аппаратуры для аэросъемки и их носителей (табл. 3). Цветное фотографирование стало новым средством изучения поверхности Земли и происходящих на ней явлений. Съемка проводилась на различных высотах, от нескольких метров (малогабаритные самолеты и вертолеты) до изображений, полученных с искусственных спутников Земли.

Значительные изменения в технологиях производства аппаратуры для аэрофотосъемки начались с созданием и развитием цифровых камер. Первый экспериментальный образец такой камеры был разработан в 1975 году инженером компании *Eastman Kodak* Стивеном Сассоном (род. 1950). Этот прототип считается не первой камерой, производившей цифровые изображения, а первой ручной цифровой камерой (рис. 6).

Камера весила 3,6 кг, в ней использовалась специализированная аналоговая микросхема (CCD) с разрешением 100×100 пикселей (0,01 мегапикселя). Изображения записывались в цифровом виде на кассету, процесс записи каждого изображения занимал 23 секунды.

IV этап. С 1980 года по настоящее время – развитие цифрового аэрофотоаппарата, применение беспилотных технологий

В 1980-е годы компании по всему миру начали разрабатывать зеркальные коммерческие цифровые камеры. Этому способствовали параллельные техноло-

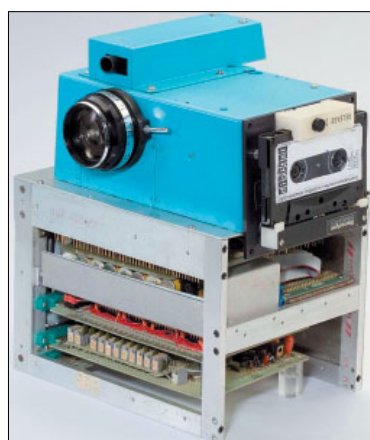


Рис. 6. Оригинальный прототип цифровой камеры Стивена Сассона [Дом Джорджа Истмана <https://www.eastman.org/>]
Fig. 6. The original prototype of Stephen Sasson's digital camera [George Eastman Museum. <https://www.eastman.org/>]

гические разработки *Sony Mavica* (1981 год), *Nikon QV-1000C* (1988 год), *FUJIX DS-X* (1989 год). В первых цифровых камерах хранение изображений было сложной задачей. Цифровые хранилища только зарождались, а имеющиеся на тот момент решения (зачастую магнитная лента) вмещали максимум 25-50 изображений, после чего их приходилось выгружать. Это сильно ограничило применение цифровых камер как профессиональных инструментов.

Была и другая проблема – отсутствие единых требований и методов кодирования полученных изображений. Деятельность Объединенной группы экспертов по фотографии (комитет) была сосредоточена на фактическом файле цифрового изображения и разработке новых методов кодирования, которые позволяют хранить изображения практически без потери качества. Группа завершила свои исследования в конце 1980-х годов, и в 1992 году был официально выпу-

щен новый стандарт сжатия изображений *.jpeg*. Данный формат активно используется в настоящее время.

С 1980-х годов начали появляться беспилотные воздушные суда (БВС) в их современном виде. Израильские инженеры под руководством Абрахама Карема (род. 1937) разработали модель «Альбатрос», оснащенную видеокамерами наблюдения. Вскоре и США представили собственные модели БВС [18].

В 1980-1990-е годы начали разрабатывать радиоуправляемые вертолеты с камерами, стабилизированными гироскопом. Миниатюрные транспортные средства оказались полезными для решения задач, когда эксплуатировать полноразмерный самолет было опасно или нецелесообразно, например, при низкоскоростных полетах над сельскохозяйственными полями. К первым таким аппаратам относится радиоуправляемый вертолет *Nitrohawk*, разработанный Робертом Шенноном с 1988 по 1998 год. Видеосъемка с интеграцией видеопередачи изображения расширила использование радиоуправляемых вертолетов в качестве надежного инструмента аэрофотосъемки.

В 1990-е годы завершился переход на компьютерные технологии и цифровую обработку снимков, полученных различными системами. Компьютер с программным пакетом полной обработки снимков стал цифровой фотограмметрической системой. Появился термин «цифровая фотограмметрия» и новые виды картографических документов – цифровая карта и цифровая модель местности, построенные на основе фотограмметрической обработки данных аэрофотосъемки. Был создан высокоточный фотограмметрический сканер, преобразующий в цифровую форму фотоснимки с сохранением их геометрических, фотометрических и точностных характеристик. Фотокамеры уступают место цифровым фотоаппаратам, позволяющим вводить снимки в компьютер без использования сканера.

До середины 1990-х годов единственной доступной микросхемой была *CCD*, имеющая большой динамический диапазон и низкий уровень шума. Команда под руководством профессора Эрика Фоссума (род. 1957) из лаборатории реактивного движения НАСА усовершенствовала технологию, изобретенную в 1960-х годах Шерманом Фэйрчайлдом, и разработала в 1990-е годы новую микросхему *CMOS* (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник). Новая микросхема с низким энергопотреблением позволила уменьшить вес камер.

В 2004 году была представлена экшен-камера компании *GoPro*. Малый вес, прочный корпус и возможность качественной съемки в движении делали ее идеальной для установки на БВС малого размера. В январе 2013 года компания *DJI* выпускает первый коммерческий дрон *DJI Phantom 1*. Камера *GoPro* устанавливалась с помощью специального крепления. В октябре того же года был выпущен дрон *DJI Phantom 2*

Vision, оснащенный встроенной камерой высокого разрешения (14 Мп). Изображение с камеры передавалось на мобильный телефон, подключенный к пульта управления. В ноябре 2016 года был представлен БВС *DJI Phantom 4 Pro*, имеющий камеру с матрицей *CMOS 1"*, разрешением 20 Мп и механическим затвором. Камера с механическим затвором позволяет уменьшить дисторсию и смазанность изображений по сравнению с электронным затвором при аэрофотосъемке. *DJI Phantom 4 Pro* используется для аэрофотосъемки, в том числе в сельском хозяйстве.

В 2010-х годах началось производство мультиспектральных камер для БВС. Наиболее распространены в агросекторе мультиспектральные камеры *Parrot Sequoia*, *RedEdge-MX*, выпущенные в 2016 году, и *MicaSense Altum* (выпуска 2018 года). В камерах предусмотрены датчик освещенности, встроенный *GPS* модуль и отдельные камеры для каждого из спектральных каналов. К новым разработкам относится добавление панхроматического канала, например в камерах *RedEdge-P* и *Altum-PT*, для увеличения пространственного разрешения растрового изображения спектрального канала. Одновременная установка нескольких камер на БВС позволяет собирать *RGB* и мультиспектральные изображения за один полет [19].

В настоящее время проводятся разработки в данной области. Сотрудниками Федерального научного агроинженерного центра ВИМ разработано платформенное решение на базе БВС *DJI Phantom 4 Pro* мультиспектральной камеры *Parrot Sequoia* и подвеса для ее крепления, получен патент *RU 2728846 C1* (рис. 7) [20].



Рис. 7. Платформа на базе БВС, разработанная сотрудниками ФНАЦ ВИМ

Fig. 7. UAV-based platform developed by FSAC VIM employees

К 1980-м годам и на рубеже тысячелетий достижения в области камер, их миниатюризация и другие технологии увеличили доступность и широкое использование аэрофотосъемки (табл. 4). Одним из наиболее значительных достижений в технологии беспилотных камер стала разработка подвесных систем

Таблица 4

Table 4

ОСНОВНЫЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ IV ПЕРИОДА РАЗВИТИЯ АЭРОФОТОАППАРАТУРЫ
KEY INNOVATIONS DURING THE FOURTH STAGE OF AERIAL PHOTOGRAPHIC EQUIPMENT DEVELOPMENT

Год / Year	Разработка / Engineering	Изобретатель / Inventor
1981	Первая коммерческая цифровая камера The first commercially available digital camera	Sony Mavica
1980-1990-е 1980-1990s	Активное развитие цифровых камер Active development of digital cameras	Sony, Nikon, FUJIX
1980-е 1980s	БВС самолетного типа «Альбатрос» со встроенной камерой «Albatross» aircraft-type UAV with an integrated camera	Абрахам Карем Abraham Kareem
1988-1998	Установка гироскопа для стабилизации камер во время полета БВС Installation of a gyroscope to stabilise the cameras during the UAV flight	Роберт Шеннон Robert Shannon
1992	Стандарт сжатия изображений JPEG JPEG image compression standard	Объединенная группа экспертов по фотографии Joint Photographic Experts Group
1990-е 1990s	Разработка матрицы CMOS CMOS sensor development	Эрик Фоссум Eric Fossum
2000-е 2000s	Интенсивное развитие беспилотных технологий Intensive development of unmanned technologies	GoPro, DJI, Parrot, 3D Robotics, Micasense

стабилизации. Эти системы обеспечивают плавную и стабильную съемку даже в ветреную погоду или во время маневров на высокой скорости.

Дальнейшее развитие аэрофотоаппаратуры будет зависеть от инноваций и разработок в других областях. Рассмотрим три возможные тенденции развития аэрофотоаппаратуры в сельском хозяйстве в ближайшие десять лет: повышение качества изображений, развитие гибридных камер высокого разрешения и внедрение технологий искусственного интеллекта при анализе изображений в режиме реального времени.

Использование миниатюрных камер с разрешением 60-70 Мп и качеством изображений 8-10К позволит создавать цифровые карты высокого пространственного разрешения на местности <1 см/пикс при высоте полета 100-150 м. Увеличение высоты полета и расстояния между смежными пролетами увеличит производительность БВС до 150 га за один вылет. Разработки в этом направлении ведутся компанией DJI, в 2020 году была представлена камера DJI Zenmuse P1, имеющая механический затвор, разрешение 45 Мп и качество изображений 8К.

Развитие гибридных цифровых камер началось в 2010-х годах. Например, мультиспектральная камера Parrot Sequoia, имеющая RGB и четыре монохромные камеры с электронным затвором и низким разрешением. Для получения данных высокого разрешения необходимо совершать полеты на высоте 30-40 м, что значительно снижает производительность БВС. Компания DJI в 2020 году выпустила камеру DJI Zenmuse H20, оснащенную двумя RGB-камерами высокого разрешения (широкоугольную и с цифровым зумом) и лазерным дальнометром. При этом камеры, имеющей комбинацию RGB и мультиспектральной камеры высокого разрешения, на рынке не существует. Использование подобной камеры позволит снизить массу полезной нагрузки и необходимость установки двух и более камер на борт БВС одновременно.

Технологии искусственного интеллекта при анализе изображений в режиме реального времени являются перспективой, которая будет способствовать выявлению стресса, заболеваний у растений, недостатка азота в листьях или различий между сортами сельскохозяйственных культур во время полета БВС. Частично технология реализована компанией DJI в аппаратах Phantom 4 Multispectral или Mavic 3 Multispectral со встроенными мультиспектральными камерами. Оператор может видеть вегетационную карту NDVI в режиме реального времени. При этом отсутствует возможность расчета других вегетационных индексов или выделения проблемных областей, а полученные мультиспектральные и RGB-изображения низкого пространственного разрешения. Развитие технологий искусственного интеллекта также ограничивается размерами микрокомпьютеров и скоростью записи и передачи данных.

Выводы. Проведенный ретроспективный анализ создания и применения аппаратуры для аэрофото съемки сельскохозяйственных земель показывает, что отрасль развивалась скачкообразно. Развитие было связано с политической, социальной, экономической ситуацией в мире, уровнем технологий в смежных областях. В ранний период (1885-1908) исследования и разработки проводили любители воздухоплавания и фотографы. Предпринимались первые попытки использовать аэрофотоснимки как источник информации о состоянии городов и сельскохозяйственных угодий. Во второй период (1909-1945) на активное развитие технологий для создания аэрофотоаппаратов и проведение аэрофотосъемки влияли военно-политические факторы, в том числе две мировые войны, этому направлению уже уделялось внимание высших государственных структур. Третий период (1946-1979) характеризуется развитием технологий по всему миру, осознанием необходимости использования данных аэрофотосъемки для оценки и мониторинга сель-

скохозайственных полей. Для четвертого периода (с 1980 по настоящее время) характерно использование цифровых аэрофотоаппаратов высокого разрешения, установленных на различные носители от БВС до искусственных спутников Земли.

Дальнейшее развитие аэрофотоаппаратуры в сельском хозяйстве на ближайшее десятилетие возможно в следующих направлениях: повышение качества получаемых изображений, развитие гибридных камер

высокого разрешения и внедрение технологий искусственного интеллекта при анализе изображений в режиме реального времени. Совершенствование аэрофотоаппаратуры будет способствовать увеличению производительности БВС, снижению стоимости съемки гектара сельскохозяйственных полей и стремительному распространению технологии цифрового дистанционного зондирования в аграрной сфере.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Костомахин М.Н., Курбанов Р.К., Кынев Н.Г. Точное земледелие расширяет свои границы // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2018. №3. С. 7-9
2. Личман Г.И., Коротченя В.М., Смирнов И.Г., Курбанов Р.К. Концепция точного земледелия на основе понятий идеального поля и цифрового двойника // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020. Т. 67. №3(40). С. 81-86.
3. Марченко Л.А., Мочкова Т.В., Курбанов Р.К., Краснобородько В.В. Основные требования к беспилотным летательным аппаратам для внесения удобрений и пестицидов // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. № 4(33). С. 107-112.
4. Личман Г.И., Курбанов Р.К., Беленков А.И. Интернет вещей в сельском хозяйстве // *Нивы России*. 2019. №5(171). С. 48-56.
5. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Результаты научных исследований агроинженерных научных организаций по развитию цифровых систем в сельском хозяйстве (окончание) // *Техника и оборудование для села*. 2022. №4(298). С. 2-6.
6. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. №3(36). С. 40-45
7. Ценч Ю.С., Маслов Г.Г., Трубилин Е.Г. К истории развития сельскохозяйственной техники // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2018. №3(47). С. 117-123.
8. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. №15(4). С. 6-10.
9. Курбанов Р.К., Захарова Н.И., Захарова О.М., Горшков Д.М. Оценка перезимовки всходов селекционной озимой пшеницы с помощью БПЛА // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. №3(32). С. 133-139.
10. Кусов В.С. История аэрофотосъемки в фотографиях: славянский вклад // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. 1992. №6. С. 54-61.
11. Degiorgis N., Salomon A. The pigeon photographer. USA. RORHOF. 2018. 96 с.
12. Краснопевцев Б.В. Основные события истории фотограмметрии и воздушной съемки до 1918 года // *Геодезия и картография*. 1998. №8. С. 55-59.
13. Салемгараева Л.Р. История развития аэрофотосъемки в России // *Актуальные проблемы геодезии, картографии, геоинформатики и кадастра*. 2016. С. 170-172.
14. Weems J. Interpreting a 1930s aerial survey photograph: the artfulness of technological images. *History and Technology*. 2011. 27. 2. 223-231.
15. Monmonier M. Aerial Photography at the Agricultural Adjustment Administration: acreage controls, conservation benefits, and overhead surveillance in the 1930s. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2002. №68(12). 1257-1261.
16. Гольдман Л.М. Применение цветной аэросъемки для изучения местности (дешифрирование цветных аэроснимков) // *Труды Центрального научно-исследовательского института геодезии, аэросъемки и картографии*. 1960. 137. С. 57-63.
17. Бычкова И.А. История развития аэрометодов в России в 1880-1950-х годах // *Метеорологический вестник*. 2010. Т. 3. №1. С. 54-68.
18. Буянов М.С., Фискевич А.С., Федорченко А.А., Гаранин С.А. История создания и развития беспилотных летательных аппаратов // *Специальная техника и технологии транспорта*. 2022. №14. С. 13-25.
19. Курбанов Р.К., Захарова О.М. Рекомендации по подготовке БПЛА // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020. Т. 67. №1(38). С. 93-98.
20. Kurbanov R., Litvinov M. Development of a gimbal for the Parrot Sequoia multispectral camera for the UAV DJI Phantom 4 Pro. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Rostov-on-Don, 2020. 012062.

REFERENCES

1. Kostomakhin M.N., Kurbanov R.K., Kynev N.G. Tochnoe zemledelie rasshiryaet svoi granitsy [Technical support for modernization of AIC]. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*. 2018. №3. 7-9 (In Russian).
2. Lichman G.I., Korotchenya V.M., Smirnov I.G., Kurbanov R.K. Kontsepsiya tochnogo zemledeliya na osnove ponyatiy ideal'nogo polya i tsifrovogo dvoynika [A concept of precision farming based on the notions of the ideal field and digital twin]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2020. Vol. 67. №3(40). 81-86 (In Russian).
3. Marchenko L.A., Mochkova T.V., Kurbanov R.K., Krasnoborod'ko V.V. Osnovnye trebovaniya k bespilotnym letatel'nyim

- apparatum dlya vneseniya udobreniy i pestitsidov [Basic requirements for unmanned aerial vehicles for fertilizer and pesticides]. *Vestnik VIESH*. 2018. N 4(33). 107-112 (In Russian).
4. Lichman G.I., Kurbanov R.K., Belenkov A.I. Internet veshchey v sel'skom khozyaystve [Internet of things in agriculture]. *Nivy Rossii*. 2019. N5(171). 48-56 (In Russian).
 5. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogonov Yu.Kh. Rezul'taty nauchnykh issledovaniy agroinzhenernykh nauchnykh organizatsiy po razvitiyu tsifrovyykh sistem v sel'skom khozyaystve (okonchanie) [The results of scientific research of agro-engineering scientific organizations on the development of digital systems in agriculture]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2022. N4(298). 2-6 (In Russian).
 6. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistema tekhnologii i mashin [Digitization aspects of the system of technologies and machines]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).
 7. Tsench Yu.S., Maslov G.G., Trubilin E.G. K istorii razvitiya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [To the history of agricultural machinery development]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. N3(47). 117-123 (In Russian).
 8. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Tsifrovye tekhnologii i robotizirovannyye tekhnicheskiye sredstva dlya sel'skogo khozyaystva [Digital technologies and robotic devices in the agriculture]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. N15(4). 6-10.
 9. Kurbanov R.K., Zakharova N.I., Zakharova O.M., Gorshkov D.M. Otsenka perezimovki vskhodov selektsionnoy ozimoy pshe-nitsy s pomoshch'yu BPLA [Assessment of seedlings breeding winter wheat after overwintering using UAVs]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N3(32). 133-139 (In Russian).
 10. Kusov V.S. Istoriya aerofotosemki v fotografyakh: slavyanskiy vklad [History of aerial photography in photographs: Slavic contribution]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotosemka*. 1992. N6. 54-61 (In Russian).
 11. Degiorgis N., Salomon A. The pigeon photographer. USA. RORHOF. 2018. 96 (In English).
 12. Krasnopevtsev B.V. Osnovnyye sobyitiya istorii fotogrammetrii i vozduшной semki do 1918 goda [Milestones in the history of photogrammetry and aerial photography before 1918]. *Geodeziya i kartografiya*. 1998. N8. 55-59 (In Russian).
 13. Salemgaraeva L.R. Istoriya razvitiya aerofotosemki v Rossii [History of aerial photography development in Russia]. *Aktual'nyye problemy geodezii, kartografii, geoinformatiki i kadastra*. 2016. 170-172 (In Russian).
 14. Weems J. Interpreting a 1930s aerial survey photograph: the artfulness of technological images. *History and Technology*. 2011. 27. 2. 223-231 (In English).
 15. Monmonier M. Aerial Photography at the Agricultural Adjustment Administration: acreage controls, conservation benefits, and overhead surveillance in the 1930s. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2002. N68(12). 1257-1261 (In English).
 16. Gol'dman L.M. Primenenie tsvetnoy arosemki dlya izucheniya mestnosti (deshifrirovaniye tsvetnykh aerosnimkov) [Utilizing color aerial photography for terrain analysis (color photograph interpretation)]. *Trudy Tsentral'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta geodezii, arosemki i kartografii*. 1960. 137. 57-63 (In Russian).
 17. Bychkova I.A. Istoriya razvitiya aerometodov v Rossii v 1880-1950-kh godakh [History of aerial method development in Russia in the 1880-1950s]. *Meteorologicheskyy vestnik*. 2010. Vol. 3. N1. 54-68 (In Russian).
 18. Buyanov M.S., Fiskevich A.S., Fedorchenko A.A., Gararin S.A. Istoriya sozdaniya i razvitiya bespilotnykh letatel'nykh apparatov [The history of the creation and development of unmanned aerial vehicles]. *Spetsial'naya tekhnika i tekhnologii transporta*. 2022. N14. 13-25 (In Russian).
 19. Kurbanov R.K., Zakharova O.M. Rekomendatsii po predpolnoy podgotovke BPLA [Recommendations for UAV pre-flight preparation]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2020. Vol. 67. N1(38). 93-98 (In Russian).
 20. Kurbanov R., Litvinov M. Development of a gimbal for the Parrot Sequoia multispectral camera for the UAV DJI Phantom 4 Pro. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Rostov-on-Don, 2020. 012062 (In English).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Ценч Ю.С. – научное руководство, формирование задач исследования;

Захарова Н.И. – сбор и анализ материалов по теме исследования, подготовка статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Tsench Yu.S. – scientific guidance, formation of research tasks; Zakharova N.I. – collection and analysis of materials on the research topic, manuscript preparation.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

07.07.2023

18.08.2023