

Оригинальная статья

УДК 626.86

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-31-37



ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ КАРТ ВЛАЖНОСТИ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRA

Семенова Кристина Сергеевна, канд. техн. наук, доцент

SPIN-код: 1426-1908, AuthorID: 912890; <https://orcid.org/0000-0002-4446-4435>; kristi11.05.88@yandex.ru

Российский государственный аграрный университет $\square$ МСХА имени К.А. Тимирязева; 125434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, Россия

Аннотация. Мелиоративная система – комплекс инженерных сооружений и устройств, обеспечивающих создание требуемых водного, воздушного, теплового и питательного режимов почв. В состав мелиоративных систем входят подземные трубопроводы, дренажи, гидротехнические сооружения, которые могут выйти из строя и потребовать ремонта. Однако обнаружить проблемный участок без мониторинга по площади системы устаревшими способами или проведением изыскательских работ невозможно. Целью исследований является обоснование использования карт влажности почвы, полученных БЛА DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRA, для определения проблемных участков мелиоративной сети или, наоборот, их отсутствия. Аэрофотосъемка проводилась в мае 2021 г. на обрабатываемом участке осушительно-увлажнительной сети Яхромской поймы Московской области. В результате съемки получены цифровая модель рельефа местности, оперативная карта влажности на основе рассчитанного водного индекса NDWI. Высота полета квадрокоптера составляла 180 м над поверхностью земли, размер пикселя снимка земной поверхности – 7,9 см. По результатам аэрофотосъемки установлено, что на выбранном участке абсолютные отметки поверхности земли изменяются от 134,67 до 135,23. В среднем уклон поверхности земли выбранного участка составляет 0,002 в направлении с северо-запада на юго-восток, отсутствуют ярко выраженные микроформы рельефа. Влажность в поверхностном слое почвы, полученная в полевых условиях, соответствует выделенному на оперативной карте влажности разнообразию цветовых участков водных индексов NDWI. В почвенных условиях изучаемого участка влажность поверхностного слоя почвы находится в логарифмической зависимости от нормализованного разностного водного индекса NDWI. Коэффициент корреляции составляет $0,9 \pm 0,06$, что свидетельствует о весьма высокой связи между изучаемыми показателями. Такую карту можно использовать для определения проблемных участков мелиоративной сети.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, мониторинг, квадрокоптер, мелиоративные системы, водный индекс NDWI, или нормализованный разностный водный индекс NDWI

Формат цитирования: Семенова К.С. Оценка состояния подземных инженерных сооружений мелиоративной системы с помощью карт влажности, полученных на основе данных дистанционного зондирования земли беспилотным летательным аппаратом DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRA // Природообустройство. 2023. № 3. С. 31-37. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-31-37.

© Семенова К.С., 2023

Original article

ASSESSMENT OF THE CONDITION OF UNDERGROUND ENGINEERING STRUCTURES OF THE RECLAMATION SYSTEM USING HUMIDITY MAPS OBTAINED FROM REMOTE SENSING DATA OF THE EARTH BY THE DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRA UNMANNED AERIAL VEHICLE

Semenova Kristina Sergeevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

SPIN-код: 1426-1908, AuthorID: 912890; <https://orcid.org/0000-0002-4446-4435>; kristi11.05.88@yandex.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev; 125434, Moscow, B. Akademicheskaya str., 44, Russia

Annotation. Reclamation system is a complex of engineering structures and devices that ensure the creation of the required water, air, thermal and nutrient regimes of soils. The composition

of reclamation systems includes underground pipelines, drains, hydraulic structures that may fail and require repair, but it is impossible to detect a problem area without monitoring the area of the system by antediluvian methods or conducting survey work. The purpose of the work: to justify the use of soil moisture maps obtained by the DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRA UAV to identify problem areas of the reclamation network or vice versa absence. Aerial photography was carried out in May 2021 on the treated section of the drainage and humidification network of the Yakhrom floodplain of the Moscow region. As a result of the survey, a digital relief model, an operational humidity map based on the calculated NDWI water index were obtained. The flight altitude of the quadcopter was 180 m above the earth's surface, the pixel size of the image of the earth's surface to be 7.9 cm. According to the results of aerial photography on the selected site, the absolute marks of the earth's surface vary from 134.67 to 135.23. On average, the slope of the earth's surface of the selected site is 0.002 in the direction from northwest to southeast. There are no pronounced microforms of relief moisture in the surface layer of the soil obtained in the field corresponds to the variety of color areas of the NDWI water indices highlighted on the operational humidity map. In the soil conditions of the studied area, the moisture content of the surface soil layer is logarithmic with the normalized difference water index NDWI. The correlation coefficient is 0.9 ± 0.06 , which indicates a very high relationship between the studied indicators. Such a map can be used to identify problem areas of the reclamation network.

Keywords: remote sensing, monitoring, quadcopter, reclamation systems, NDWI water index or normalized difference water index NDW

Format of citation: Semenova K.S. Assessment of the condition of underground engineering structures of the reclamation system using humidity maps obtained from remote sensing data of the earth by the DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRA // Prirodoobustrojstvo. – 2023. № 3. P. 31-37. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-31-37.

Введение. Обеспечить эффективное использование мелиорируемых земель АПК можно посредством постоянного мониторинга за состоянием земельных участков и выращиваемых культур, работой мелиоративной системы в режиме реального времени с использованием доступных современных цифровых технологий. В настоящее время используются различные методы мониторинга сельскохозяйственных земель, среди которых – метод дистанционного зондирования. Возросшее качество получаемых данных зондирования (сотни спектральных каналов в видимой и ближней инфракрасной области, высокое пространственное разрешение) позволяет более детализированно определить состояние сельскохозяйственных угодий и динамику их изменения во времени. Постоянный мониторинг земель с использованием современного оборудования и цифровых технологий, как важный инструмент развития АПК будущего, дает возможность на этапе возникновения выявить проблемы, негативно влияющие на производство сельскохозяйственной продукции, произвести оценку состояния мелиорируемых земель, а также составить прогноз сложившейся ситуации для своевременного принятия решений. Все это позволит оперативно спланировать и организовать мероприятия по устранению неблагоприятных последствий [1, 2].

Цель исследований: обосновать использование карт влажности в поверхностном

слое почвы, полученных БЛА DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRA, для определения проблемных участков мелиоративной сети или, наоборот, их отсутствия.

Материалы и методы исследований.

Мелиоративная система – комплекс инженерных сооружений и устройств, обеспечивающих создание требуемых водного, воздушного, теплового и питательного режимов почв. В состав мелиоративных систем входят подземные трубопроводы, дренажи, гидротехнические сооружения, которые могут выйти из строя и потребовать ремонта. Однако обнаружить проблемный участок без мониторинга по площади системы устаревшими способами или проведения изыскательских работ невозможно. За весенний период до посева культур или в осенний период после уборки урожая можно выявить проблемные участки мелиоративной сети и провести восстановительные мероприятия, устранить неполадки системы в зависимости от объема работ или исключить территории из сельскохозяйственного использования на год.

Одними из основных причин снижения работоспособности закрытого дренажа мелиоративной системы являются: заиливание; зарастание дрен корнями растений; заохривание дрен; изменение уклона дрены в результате проседания грунта; суффозия грунта; кольматация пор фильтрующих материалов [3]. Данные неисправности выявить трудно, особенно на крупных мелиоративных системах.

Дистанционные методы мониторинга включают в себя систему наблюдения с помощью беспилотных летательных аппаратов, спутников и спутниковых систем, а также систему обработки данных дистанционного зондирования [4-6]. Снимки со спутников имеют низкое пространственное разрешение – от 1 до 30 м. Они охватывают значительные площади обзора, но возникают проблемы с появлением на снимках облаков вместо изучаемой территории, хотя существуют программы, позволяющие устранять такую проблему, но информация об объекте искажается. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) самолетного типа могут использоваться при облачной погоде. Пространственное их разрешение более высокое – от 3 до 20 см (RGB), мультиспектральное – от 8 до 50 см. БПЛА самолетного типа осуществляют съемку 700 га/ч, а при мультиспектральной съемке – 350 га/ч. Чаще их используют для определения высокоточных координат поверхности земли, также они являются пригодными для создания цифровой модели рельефа местности [7].

Снимки БПЛА мультироторного типа (квадрокоптер, гексакоптер, дроны) можно использовать при облачной погоде, но данные летательные аппараты являются неустойчивыми к порывам ветра скоростью выше 10...15 м/с. Снимки достаточно детализированы и составляют менее 3 см для RGB, и менее 8 см – для мультиспектра.

Проблема применения дронов и квадрокоптеров заключается в коротком времени полета (до 1 ч), в результате чего снижается производительность (менее 100 га) за один полет. Кроме того, на больших площадях требуется частое прерывание полета, а также смена аккумулятора.

На основе анализа БЛА дистанционного зондирования высокую детализацию изучаемых объектов, благодаря высокому пространственному разрешению, позволяют дать данные БЛА мультиспектрального типа: дроны и квадрокоптеры. С помощью квадрокоптера можно менять разрешение снимков в зависимости от задач: например, работать на меньшей высоте и скорости, что позволяет получать снимки максимальной детализации. Любой пользователь такого летательного аппарата может проводить обследование земель и соответствующую обработку, расчеты в специальной программе.

Для исследований был использован квадрокоптер DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRA, особенностями которого являются доступность информации и возможность регулярного ее получения.

Обследование сельскохозяйственных земель территории агрофирмы Бунятино проводили

с помощью квадрокоптера DJI PHANTOM 4 MULTISPECTRA. Данный дрон отличается легкостью, его взлетная масса составляет до 1,5 кг, максимальная скорость достигает 50 км/ч, максимальное время полета – до 27 мин. Дрон характеризуется полной автоматизацией процессов полета, что делает работу продуктивной и безопасной. Технология DJI TimeSync применяется для синхронизации системы. Он постоянно выравнивает контроллер полета, RGB- и NB-камеры, а также RTK-модуль, фиксируя данные позиционирования в CMOS-центре. Каждый снимок гарантирует самые точные метаданные, точность позиционирования с использованием системы $RTK \pm 0,1$ м.

Четкость и детальность сбора данных зависят от максимальной рабочей области съемки во время полета, высоты, а также разрешения применяемой фотоаппаратуры. Если дрон летает на высоте 180 м, то максимальная рабочая область за один полет составляет 0,47 км² (47 га), длина одного пикселя на карте (GSD) – около 9,52 см/пиксель. Размер пикселя по земной поверхности (GSD) равен не менее $(H/18,9)$ см/пиксель, где H – высота дрона по отношению к картографируемому участку, м.

Результаты и их обсуждение. Аэрофотосъемка проводилась в мае 2021 г. на обрабатываемом мелиорируемом участке осушительно-увлажнительной сети Яхромской поймы Московской области, принадлежащем агрофирме Бунятино. На изучаемом участке высажена рассада капусты. Высота полета составила 150 м. Снимки достаточно детализированы, высокого разрешения, размер пикселя по земной поверхности составлял $150/18,9 = 7,9$ см. Совмещение снимков и их обработка проводились в программе для картографирования сельского хозяйства, анализа урожая с воздуха и цифрового земледелия – PIX4Dfields. Приложение позволяет осуществлять расчет широкого набора спектральных индексов: NDVI, NDRE, SIPI2, LCI, TGI, VARI, BNDVI, GNDVI.

По результатам аэрофотосъемки с БПЛА была получена цифровая модель рельефа местности участка площадью 8 га (рис. 1). На выбранном участке абсолютные отметки поверхности земли изменяются от 134,67 до 135,23 в направлении с северо-запада на юго-восток. В среднем уклон поверхности земли составил 0,002. Отсутствуют ярко выраженные микроформы рельефа, где могут скапливаться поверхностный и подземный стоки.

Одним из основных показателей по определению состояния мелиоративной системы является обеспечение требуемого водного режима, а именно влажность [8] почвы. В весенний

период на переувлажненных землях почва теряет несущую способность, и сельскохозяйственная техника неспособна выполнить требуемую работу. Обеспечение требуемой влажности почвы с помощью мелиоративных систем определяет рост и развитие сельскохозяйственных культур в вегетационный период [9].

Для оценки состояния подземной дренажной сети в программе PIX4Dfields был рассчитан Normalized difference water index (NDWI) – нормализованный разностный индекс воды. Показатель NDWI чувствителен к изменениям влажности и позволяет определить участки затопления (формирование верховодки), заболоченные территории, и наоборот, пересушенные территории, требующие увлажнения.

После расчета индекса NDWI была составлена оперативная карта влажности (рис. 2). Каждый цветовой растр NDWI имеет цифровое значение, в контексте конкретного участка показания изменяются: от влажности почвы, условно очень сухой, до условно очень мокрой (от -0,43 до -0,22). Ярко-красный цвет обозначает наличие открытой водной поверхности, очень мутной, которая присутствует в каналах на незначительной глубине. Темно-оранжевые участки карты со значением -0,37 характеризуются как переувлажненные, а зеленым цветом отмечена условно очень сухая (-0,22) условно сухая (-0,27) почва.

Для оценки цветового разнообразия показаний оперативной карты влажности и их сравнения с влажностью в поверхностном слое почвы в полевых условиях были установлены точки отбора проб почвы, указанные на рисунке 2.

После проведения аэрофотосъемки на отмеченных точках были взяты пробы поверхностного слоя почвы буюкса, и в лаборатории термостатно-весовым методом получена влажность почвы [10]. Для точности эксперимента пробы брали в трех повторностях, а для некоторых цветовых областей для уточнения были назначены от 2 до 3 точек. На основе полученных данных построен график зависимости влажности почвы, определенного в полевых условиях и нормализованного разностного водного индекса NDWI (рис. 3).

Результаты измерений представлены в таблице.

В почвенных условиях изучаемого участка влажность поверхностного слоя почвы находится в логарифмической зависимости от нормализованного разностного водного индекса NDWI (табл., рис. 2). Коэффициент корреляции составляет $0,9 \pm 0,06$, что свидетельствует



Рис. 1. Цифровая модель рельефа местности
Fig. 1. Digital relief model

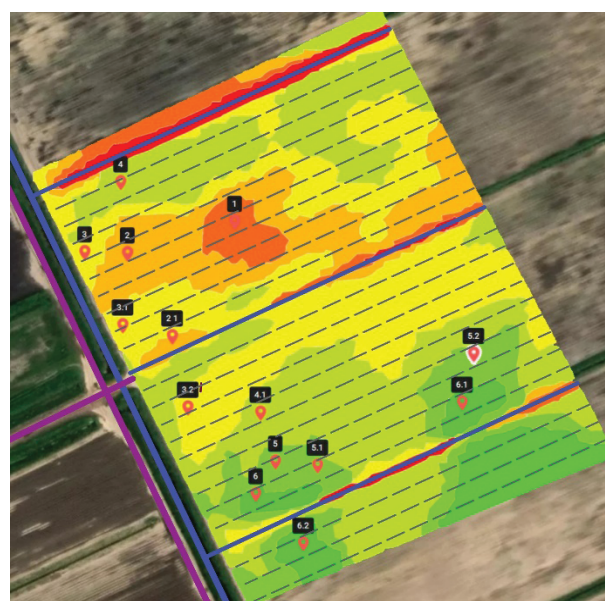


Рис. 2. Оперативная карта влажности, полученная в результате расчета нормализованного водного индекса NDWI

Fig. 2. Operational moisture maps (obtained as a result of calculating the normalized NDWI water index)

- 0,22 – почва условно очень сухая
the soil is conditionally very dry, NDWI = -0,22;
- 0,27 – почва условно сухая
the soil is conditionally very dry, NDWI = -0,27;
- 0,30 – почва условно свежая
the soil is conditionally fresh; NDWI = -0,30;
- 0,31 – почва условно влажная
the soil is conditionally moist, NDWI = -0,31;
- 0,33 – почва условно сырая
the soil is conditionally damp, NDWI = -0,33;
- 0,37 – почва условно мокрая
the soil is conditionally wet, NDWI = -0,37;
- 0,43 – почва условно очень мокрая
the soil is conditionally very wet, NDWI = -0,43
(NDWI рассчитывается по стандартной методике)
- — — — — дренаж / drainage,
- — — — — открытый канал / open channel,
- — — — — дорога / road,
- 5.2 – точка отбора проб почвы / soil sampling point

о весьма тесной связи между изучаемыми показателями. Коэффициент детерминации равен 0,92, то есть в 92% случаев колебания нормализованного разностного водного индекса NDWI в рассматриваемых условиях обусловлены колебаниями влажности в поверхностном слое почвы.

Условно очень сухой почве соответствует около 15% влажности в поверхностном слое почвы (табл., рис. 1), что свидетельствует о хорошей работе закрытой осушительной сети. Такая влажность обеспечивает необходимую несущую способность грунта для прохождения техники

Таблица. Данные влажности в поверхностном слое почвы, полученные в полевых условиях и значения нормализованного разностного водного индекса NDWI
Table. Soil surface moisture data obtained in the field conditions and values of the normalized difference water index NDWI

№ точки No. of point	№ точек забора проб No. of sampling points	Влажность почвы в точках забора проб в трехкратной повторности, % Soil moisture at sampling points in triple repetition, %	Среднее значение влажности почвы в точках забора проб, % Average value of soil mois- ture at sampling points, %	Среднее значение влажно- сти почвы согласно цвето- вой гамме рисунка 1, % The average value of soil moisture according to the color scheme of Figure 1, %	Нормализованный разностный водный индекс NDWI, % Normalized difference water index NDWI, %
1	1,0	47,0	48,9	48,9	-0,37
		50,9			
		48,9			
2	2,0	31,6	29,8	29,8	-0,33
		29,0			
		28,8			
3	3,0	23,5	23,9	24,4	-0,31
		25,2			
		22,9			
	3,1	23,3	23,2		
		22,7			
		23,6			
	3,2	26,8	26,2		
		26,1			
		25,7			
4	4,0	19,9	20,5	20,7	-0,3
		21,1			
		20,4			
	4,1	22,4	22,0		
		21,6			
		22,0			
5	5,0	17,0	18,2	18,8	-0,27
		19,3			
		18,2			
	5,1	18,2	18,7		
		18,7			
		19,1			
	5,2	16,5	19,5		
		22,6			
		19,5			
6	6,0	13,8	14,1	14,7	-0,22
		14,3			
		14,2			
	6,1	11,8	13,5		
		15,1			
		13,5			
	6,2	17,6	16,4		
		15,1			
		16,4			

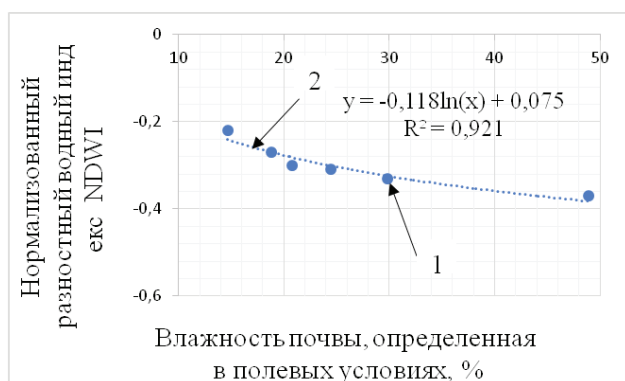


Рис. 3. Связь влажности почвы, определенная в полевых условиях, с нормализованным разностным водным индексом NDWI:

- 1 – точки данные за 2021 г.;
2 – кривая зависимости влажности почвы и индекса NDWI

Fig. 2. Relationship of soil moisture determined in the field conditions with the normalized difference water index NDWI:

- 1 – data points for 2021;
2 – curve of dependence of soil moisture and NDWI index

в весенний период. Близ канала наблюдается иссушение поверхностного слоя почвы, поэтому необходима дополнительная проверка влажности корнеобитаемого слоя почвы. Возможно, требуется дополнительное увлажнение путем подачи воды в регулируемую сеть для выращивания сельскохозяйственных культур.

Согласно таблице и рисунку 1 в почве условно мокрой (выделено темно-оранжевым цветом) соответствует около 49% влажности в поверхностном слое почвы. Глубже по почвенному профилю значение влажности выше, что свидетельствует о переувлажненном состоянии почвы. Атмосферные осадки в течение суток до проведения измерений не выпадали. Данный участок почвы расположен в середине межканального пространства, где уровень грунтовых вод выше, чем уровень воды в каналах, при условии отсутствия закрытого дренажа. Но рассматриваемый случай является противоположным: дренажи, обеспечивающие дополнительное понижение уровня грунтовых вод, установлены. Значит, дренажи на выделенном участке не отводят воду с почвы. При осмотре устьевых сооружений рассматриваемого переувлажненного участка дренажи не сбрасывали воду в отличие от остальных, соседних,

в течение дня держалась высокая влажность почвы. Возможно, в дренах произошло заиливание, деформация дренажа и фильтра или другая аварийная ситуация, соответственно дренажи не выполняли свои функции.

Влажность почвы в течение вегетационного периода в условно очень мокрой почве держится на высоком уровне по сравнению с остальной территорией. В результате проведенной промывки дренажей удалось прочистить регулируемую сеть гидравлическим способом и добиться создания требуемой влажности почвы.

Выводы

1. По результатам аэрофотосъемки в мае 2021 г. с помощью квадрокоптера получена цифровая модель рельефа. На выбранном участке абсолютные отметки поверхности земли изменяются от 134,67 до 135,23. В среднем уклон поверхности земли выбранного участка составил 0,002 в направлении с северо-запада на юго-восток, отсутствуют ярко выраженные микроформы рельефа.

2. В результате аэрофотосъемки, проведенной в мае 2021 г. на высоте 150 м, была получена оперативная карта влажности. Размер пикселя снимка по земной поверхности составил 7,9 см. В почвенных условиях изучаемого участка влажность в поверхностном слое почвы находится в логарифмической зависимости от нормализованного разностного водного индекса NDWI. Коэффициент корреляции равен $0,9 \pm 0,06$, что свидетельствует о весьма тесной связи между изучаемыми показателями.

3. Оперативная карта влажности на основе рассчитанного индекса NDWI позволяет оценить влажность поверхностного слоя почвы и определить участки переувлажнения, в которых требуется проверка работоспособности дренажной сети, а также выявить пересушенные участки, требующие дополнительного анализа влажности корнеобитаемого слоя почвы для проведения дополнительных мероприятий по увлажнению с помощью подачи воды по каналам осушительно-увлажнительной сети.

4. Метод дистанционного зондирования земли с помощью квадрокоптера можно использовать для мониторинга за состоянием мелиоративной системы.

Работа выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-29-00928 (URL: <https://rscf.ru/project/23-29-00928/>).

The work was supported by the Russian Science Foundation grant no. 23-29-00928, <https://rscf.ru/project/23-29-00928/>.

Список использованных источников

1. **Семенова К.С.** Оценка формулы определения испаряемости для создания осушительно-увлажнительных земель на осушенных торфяниках Мещерской низменности // Природообустройство. 2019. № 4. С. 23-28. DOI 10.34677/1997-6011/2019-4-23-29. EDNCKBOZX.
2. **Семенова К.С.** Обоснование объема противопожарной водоподдачи при шлюзовании торфяников // Природообустройство. 2016. № 1. С. 84-90. EDN VVWIYD.
3. **Янко Ю.Г.** Способы восстановления работоспособности закрытого дренажа // Мелиорация и водное хозяйство. 2006. № 4. С. 33-35.
4. **Сутырина Е.Н.** Дистанционное зондирование земли: учебное пособие. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. 165 с.
5. **Калинин А.А.** Фотограмметрия и дистанционное зондирование. Курс лекций: учебное пособие / Бондаренко А.М., Строгий Б.Н. и др. Зерноград: Донской ГАУ, 2017. 98 с.
6. **Шабанов Н.В.** Валидация оценки индекса лиственной поверхности по данным MODIS для редкостойных лесов Кольского полуострова с использованием материалов съемок беспилотных летательных аппаратов / **Михайлов Н.В., Тихонов Д.Н. и др.** // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 2. С. 156-2170.
7. **Гришин В.А.** Мультиразрешение в оптических навигационных системах космических аппаратов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19, № 3. С. 105-113.
8. **Урбонас Р.И.** Методические исследования почвенной влажности на мелиорированных землях. Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям. М.: Колос, 1983. С. 150-159.
9. **Денисов Е.П., Денисов К.Е., Молчанова Н.П.** Курс лекций по дисциплине «Мелиорация, рекультивация и охрана земель» для аспирантов, направление подготовки 35.06.01 «Сельское хозяйство». Саратов: Саратовский ГАУ, 2014. 57 с.
10. **Пчелкин В.В., Сурикова Т.И., Семенова К.С.** Основы научной деятельности. М.: ООО Издательство «Спутник+», 2018. 173 с. EDN XVVDZZ. <http://elibrary.ru/dl/local/umo200.pdf>

Критерии авторства

Семенова К.С. выполнила практические и теоретические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись. Семенова К.С. имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 11.01.2023

Одобрена после рецензирования 15.02.2023

Принята к публикации 13.03.2023

References

1. **Semenova K.S.** Evaluation of the formula for determining evaporation for the creation of drainage and moistening lands on drained peat bogs of the Meshcherskaya lowland / K.S. Semenova // Prirodobustroystvo. 2019. № 4. P. 23-28. – DOI 10.34677/1997-6011/2019-4-23-29. – EDNCKBOZX.
2. **Semenova K.S.** Justification of the volume of fire-fighting water supply during sluicing of peat bogs / K.S. Semenova // Prirodobustroystvo. 2016. № 1. P. 84-90. – EDN VVWIYD.
3. **Yanko Y.G.** Ways to restore the efficiency of closed drainage // Land reclamation and water management. 2006. № 4. P. 33-35.
4. **Sutyryna E.N.** Remote sensing of the earth: tutorial. Irkutsk: ISU Publishing House, 2013. 165 p.
5. **Kalinin A.A.** Photogrammetry and remote sensing. Course of lectures: tutorial / Bondarenko A.M., Strogiiy B.N. et al. Zernograd: Donskoy SAU, 2017. 98 p.
6. **Shabanov N.V., Mikhailov N.V., Tikhonov D.N.** [et al.] Validation of leaf surface index estimation according to MODIS data for sparse forests of the Kola Peninsula using materials from unmanned aerial vehicle surveys // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2021. T. 18. No 2. P. 156-2170.
7. **Grishin V.A.** Multiresolution in optical navigation systems of space vehicles // Modern problems of remote sensing of the Earth from space, 2022. T. 19. No 3. P. 105-113.
8. **Urbonas R.I.** Methodical studies of soil moisture on reclaimed lands / Methods of field research on drainage reclamation. Moscow: Kolos, 1983. P. 150-159.
9. **Denisov E.P., Denisov K.E., Molchanova N.P.** Course of lectures on the discipline "Land reclamation, reclamation and land protection" for graduate students, direction of training 35.06.01 "Agriculture". Saratov: Saratov State Agrarian University, 2014. 57 p.
10. **Pchelkin V.V., Surikova T.I., Semenova K.S.** Fundamentals of scientific activity. Moscow: Sputnik Publishing House, 2018. 173 p. – ISBN978-5-9973-4821-2. – EDN XVVDZZ.

Criteria of authorship

Semenova K.S. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which she generalized and wrote the manuscript. Semenova K.S. has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office 11.01.2023

Approved after peer reviewing 15.02.2023

Accepted for publication 13.03.2023