

УДК 004.932.2: 528.88
МРНТИ 28.23.15

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2021.1-41>

А.Е. Ержанова¹, С.Е. Керимкулов²

^{1,2} Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
г. Нур-Султан, Республика Казахстан

СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. В данной работе рассмотрены спектральные свойства грунтов и растительности и их анализ для дальнейшего применения результатов статьи для обработки космических снимков. В основном рассмотрены грунты и почвы Акмолинской области и сельскохозяйственные культуры, присущие данному региону.

При анализе спектрального коэффициента яркости (СКЯ) возникают различия в СКЯ грунтов различного вида и растительности. По результатам анализа данных получены следующие выводы: распознавание грунтов информативно в диапазоне длины волн от 700 нм до 1300 нм; распознавание сельскохозяйственных культур информативно в диапазоне длины волн от 850 нм до 1100 нм. При разработке алгоритма распознавания объектов будут рассматриваться две фиксированные точки 0,55 мкм и точку из 0,66-0,68 мкм на наличие экстремумов для определения вида объектов.

Ключевые слова: длина волны, спектр электромагнитного излучения, инфракрасный спектр, спектральный коэффициент яркости, грунт, почва, зеленая растительность, вегетационный период, ДЗЗ.

Введение

Современные цифровые технологии, основанные на использовании спутниковых данных, применяются для решения различных задач. Одним из применений технологии ДЗЗ и информационных технологий является комплексная высокотехнологичная система сельскохозяйственного менеджмента, включающая в себя, ГИС-технологии и другие. Применение данных технологий позволяет оптимизировать различные ресурсы, повышение урожайности, разработать систему мероприятий по устранению факторов, отрицательно влияющих на получение высокой урожайности, без нанесения вреда окружающей среде, осуществить информационную поддержку сельскохозяйственного менеджмента.

По структуре статьи: вначале дадим основные термины и понятия, связанные со спектральным коэффициентом яркости (СКЯ).

Для анализа результатов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и подстилающей поверхности, как правило, выделяют и рассматривают три интервала спектра электромагнитного излучения: видимый, инфракрасный и микроволновый.

При работе с мультиспектральными снимками создаются «индексные» изображения путем обработки исходного изображения для получения информативного изображения. В данной работе рассматриваются значения яркости различных интервалах электромагнитного спектра для получения информативных

интервалов для выделения исследуемого объекта, например, для выделения типов грунтов и почв, видов растительности, влажности, поражения сельскохозяйственных культур. Затем по этим значениям делают расчет «спектрального индекса» объекта, по которым строится изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе. Данная методика создания «индексных изображений» позволит исследователю выделить объект, и по графическим данным оценить состояние. Спектральные индексы, используемые для изучения состояния растительности, называют вегетационными индексами.

В работах [1-5, 9, 10] рассматриваются отражательные способности грунтов и сельскохозяйственных культур. Однако эти результаты не рассматривались с точки зрения создания информационных систем, которая различала различные виды грунтов, почвы и сельхозкультур. Для информационных систем необходим алгоритм, который по изображениям определял различные отклонения роста растений, определял план мероприятий по устранению причин, которые мешают росту растений для получения максимального урожая в рамках, существующих на момент рассмотрения неустраняемых агроклиматических условий.

Спектральная отражательная способность грунтов и растительности являются основным инструментом при ДЗЗ, которая описывается графиками функций от длины волны. Изучение поведения этих графиков позволяет находить инструменты в виде свойств функций как монотонно возрастающая (убывающей) функция, или функция в виде квадратичной (кубической) параболы.

Большая часть энергии, падающей на растения, поглощается в диапазоне длин волн 0,4-0,74 мкм и отражательная способность соответствует зеленой части спектра (при 0,54-0,55 мкм).

В ближнем инфракрасном спектре по сравнению с видимым спектром здоровая зеленая растительность характеризуется очень высокой отражательной способностью, очень высоким коэффициентом пропускания и очень низкой поглощаемостью [1, с.17].

К большому сожалению, изучение спектральных свойств грунтов, растений и факторов, влияющих положительно или отрицательно на рост растений, в Республике Казахстан не ведется. Данное исследование требует оборудования и специалистов для проведения физических экспериментов на базе организаций министерства сельского хозяйства и университетов, также внимания со стороны МСХ и организаций, проводящих космический мониторинг Земли.

В данной статье используются данные из различных источников и исследуются данные из территорий, близких по климатическим и почвенным свойствам Акмолинской области, а также рекомендации Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина по проведению весенне-полевых работ в Акмолинской области [6, с. 36].

Для выявления закономерностей распределения СКЯ были использованы методы анализа данных, в частности, методы кластеризации и математической статистики.

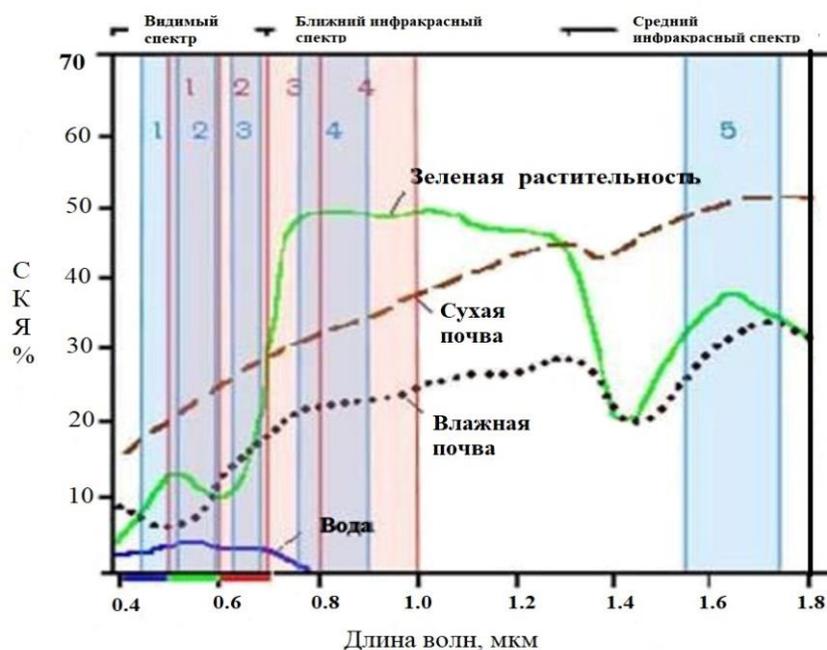


Рис. 1 – Графики СКЯ почв, воды и зеленой растительности [8, с. 1].

Данное исследование позволит получить модели и методы обработки космических снимков для анализа поверхности и выявления различных видов грунтов и растительности, также анализ роста растений по вегетационным периодам и план мероприятий для улучшения роста растений, при наличии нарушений как недостаточное увлажнение, агрохимические мероприятия при отсутствии или недостаточности удобрений, наличие сорных растений.

При анализе спектрального коэффициента яркости (СКЯ) возникают различия в СКЯ грунтов различного вида и растительности.

Будем использовать следующие факты [7, с. 112]:

А) Для различных грунтов и почв спектральные кривые для них будут возрастать по мере возрастания длин волн.

Таблица 1 – Коэффициент спектральной яркости грунтов

Длина волны, нм	Суглинок	Песок	Супесь	Чернозём
400	-2,552	46,811	2,877	1,8
450	-0,485	57,433	7,97	2,5
500	1,911	64,475	12,737	3,8
550	5,612	71,086	18,729	4,8
600	9,255	76,38	25,078	5,2
650	10,994	77,504	28,632	5,5
700	13,254	79,434	31,198	6,3
750	14,901	80,953	33,708	8,1
800	15,502	80,859	35,512	9,4
850	16,396	80,354	35,805	9,8

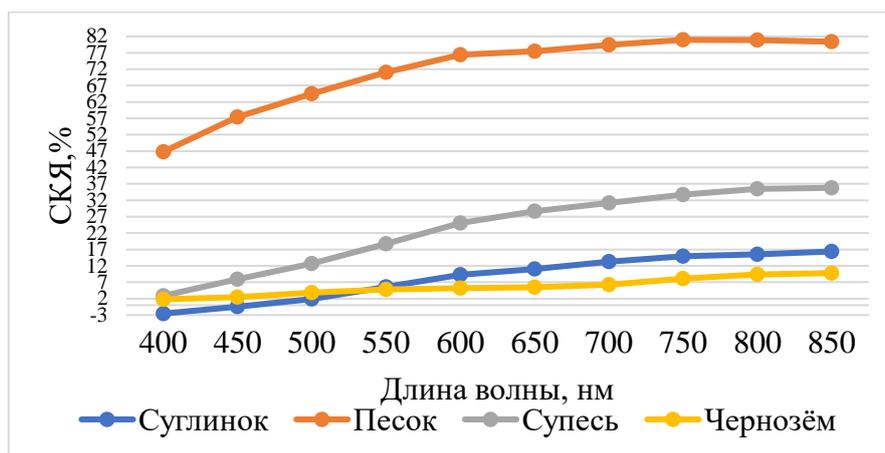


Рис. 2 – Спектральные кривые для грунтов

Б) Для растительных образований спектральные кривые на интервале 0,40 мкм до 0,8-1,0 мкм имеют максимум в точке 0,55 мкм, минимум в интервале 0,66-0,68 мкм и максимум в интервале 0,8-1,0.

Таблица 2. Коэффициенты спектральной яркости сельхозкультур

Длина волны, нм	Ячмень	Овес	Рожь	Картофель
400	4	2,8	2,5	3,6
450	5	3,3	3,5	5,95
500	5,6	4,2	4,6	6,65
550	7,5	8,1	8,2	9
600	7,5	7,5	7	8,9
650	6,8	6,8	7,5	8,25
700	9,5	9,8	15	15
750	18,7	26	31,2	29,6
800	20,9	30	33,7	36
850	22,3	31,8	35,8	39,6

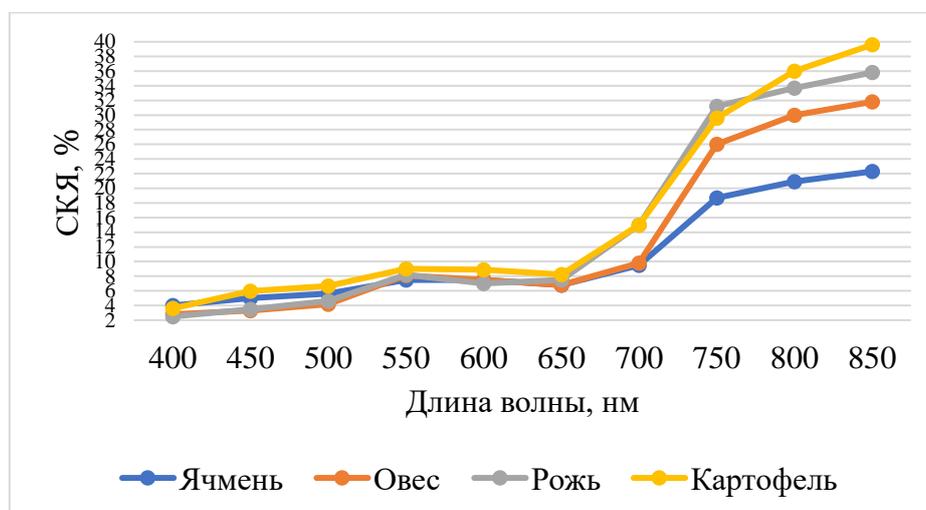


Рис. 3 – Спектральные кривые для сельскохозяйственных культур

На основе исследований, проведенных в работе [8, с.1], был получен:

Вывод 1. Таким образом, при разработке алгоритма распознавания объектов будем рассматривать две фиксированные точки 0,55 мкм и точку из 0,66-0,68 мкм на наличие экстремумов.

Вывод 2. Согласно графику, распознавание грунтов информативно в диапазоне длины волн от 700 нм до 1300 нм.

Таблица 3 – Грунты в диапазоне волн от 700 нм до 1300 нм

Грунт	СКЯ, %	ρ
Суглинок	[13; 21]	[0,13; 0,21]
Песок	[69; 81]	[0,69; 0,81]
Супесь	[31; 43]	[0,31; 0,43]
Чернозем	[6; 14]	[0,6; 0,14]

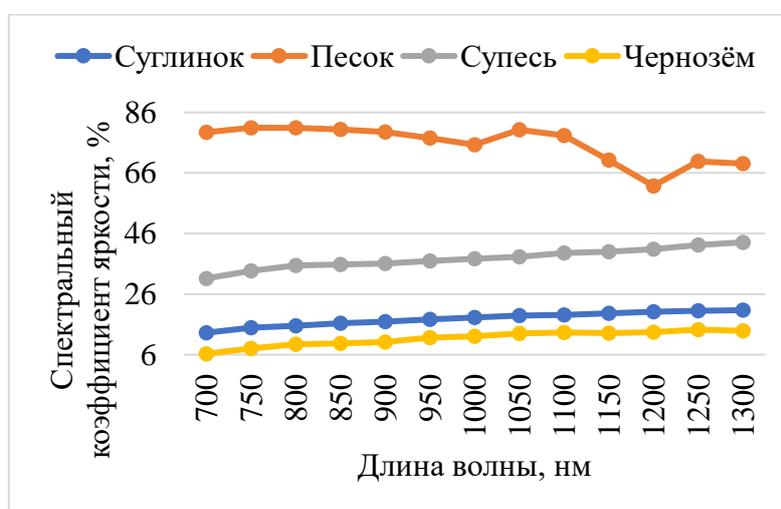


Рис. 4 – Поведение спектральных кривых для грунтов в диапазоне 700 нм -1300 нм.

Свойство 2.1. Если график СКЯ принадлежит интервалу [6,14], тогда этот спектр описывает чернозем;

Свойство 2.2. Если график СКЯ принадлежит интервалу [14,24], тогда этот спектр описывает суглинок;

Свойство 2.3. Если график СКЯ принадлежит интервалу [30,44], тогда этот спектр описывает супесь;

Свойство 2.4. Если график СКЯ принадлежит интервалу [60,82], тогда этот спектр описывает песок.

Таблица 4 – Сельскохозяйственные культуры в диапазоне волн от 850нм до 1100нм

Сельскохозяйственные культуры	СКЯ, %	ρ
Ячмень	[22; 29]	[0,22; 0,29]
Овес	[31; 36]	[0,31; 0,36]
Рожь	[36; 38]	[0,36; 0,38]
Картофель	[38; 41]	[0,38; 0,41]

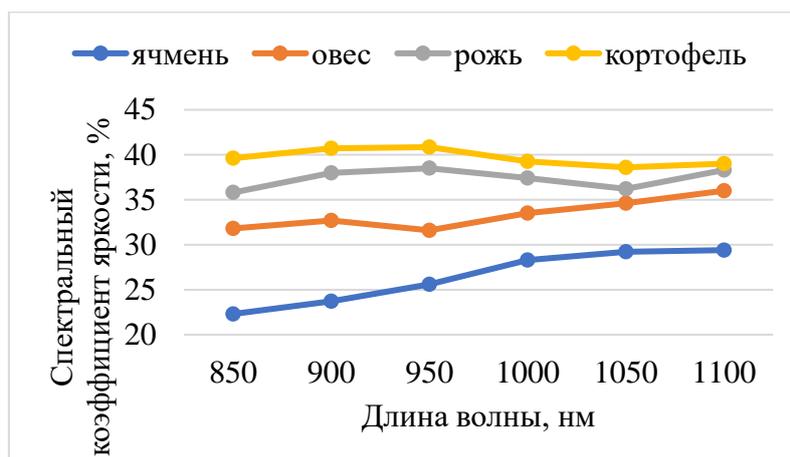


Рис. 5 – Поведение спектральных кривых для растительности в диапазоне 850 нм -1100 нм.

Вывод 3. Согласно графику, распознавание сельскохозяйственных культур информативна в диапазоне длины волн от 850 нм до 1100 нм.

Свойство 3.1 Если график СКЯ принадлежит интервалу [22, 30], тогда этот спектр описывает ячмень;

Свойство 3.2 Если график СКЯ принадлежит интервалу [32, 36], тогда этот спектр описывает овес;

Свойство 3.3 Если график СКЯ принадлежит интервалу [36, 38], тогда этот спектр описывает рожь;

Свойство 3.4 Если график СКЯ принадлежит интервалу [38, 41], тогда этот спектр описывает картофель.

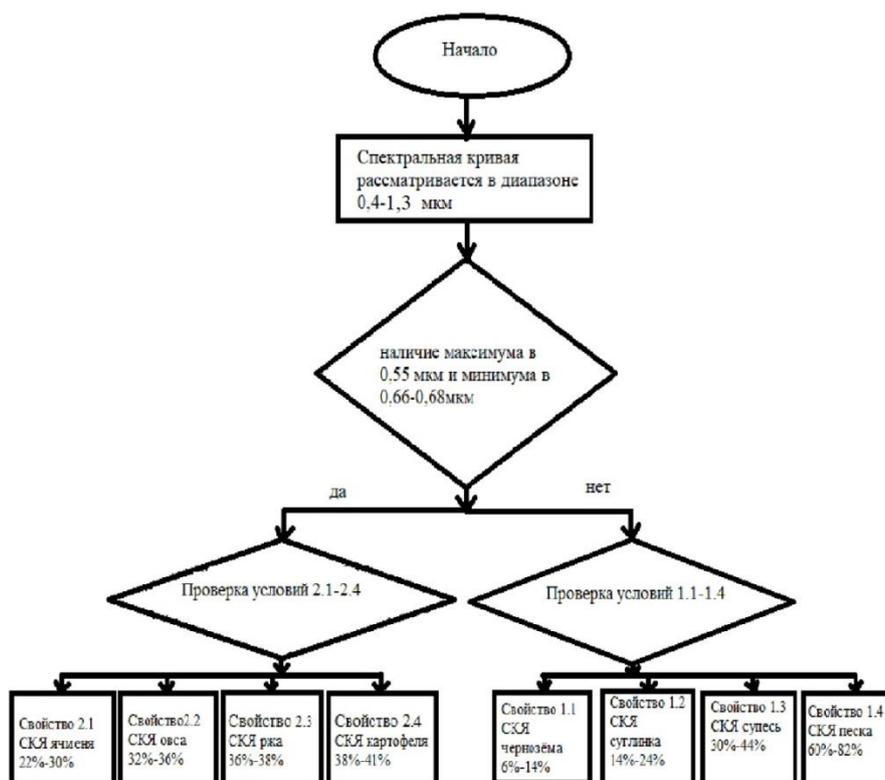


Рис. 6 – Блок-схема

Таблица 5 – Урожайность сельскохозяйственных культур по типу почвы

Сельскохозяйственная культура	Грунт			
	Чернозём	Суглинок	Песок	Супесь
Пшеница	высокая	низкая	низкая	низкая
Ячмень	хорошая	хорошая	низкая	хорошая
Рожь	удовлетворительное	удовлетворительное	высокая	удовлетворительное
Овес	удовлетворительная	удовлетворительное	удовлетворительное	удовлетворительное
Картофель	высокая	хорошая	нежелательно	хорошая

Однако, чем лучше почва, тем больше снижается урожайность ржи по сравнению с урожайностью других зерновых. Она имеет на песчаных почвах с низким уровнем грунтовых вод наивысшую специфическую урожайность, несмотря на большие колебания урожайности на этих почвах. Требования гибридной ржи к почвенным условиям выше требований у популяционных сортов.

Овес неприхотлив и растет на разных почвах. Можно не бояться активно высевать его на песчаных и глинистых почвах, торфяниках. Культуру ячменя выращивают на значительном количестве типов почв от подзолистых почв до солонцеватых. Хотя хороший результат будет получен при выращивании на умеренно тяжелой суглинке, имеющей нейтральную либо слабощелочную реакцию. Кислые почвы не подходят для выращивания ячменя, малопригодны песчаные почвы.

Таблица 6 – Распределение СКЯ по вегетационным периодам для пшеницы

Длина волны	СКЯ, %							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
400	3	3	4	4	4	2	2	3
450	4	3	4	6	4	2	2	3
500	6	6	5	8	8	4	4	6
550	12	10	8	12	12	8	9	8
600	8	5	3	8	6	2	3	5
650	10	24	20	40	32	10	10	8
690	30	48	40	70	60	30	30	18
730	46	56	54	76	66	34	34	32
780	48	58	56	78	68	44	40	36

Примечание: I-VIII вегетационные периоды, I-10.06; II-22.06; III-04.07; IV-14.07; V-19.07; VI-14.08; VII-22.08; VIII-02.09 [2, с.103].

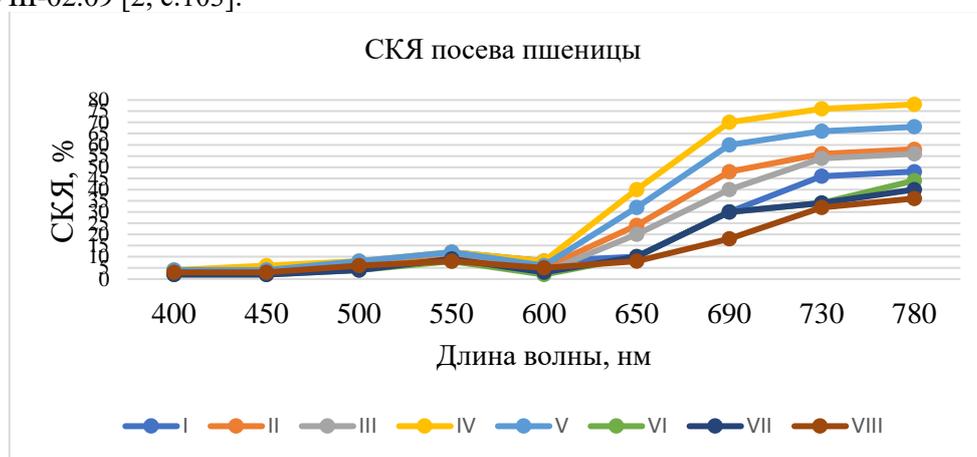


Рис. 7 – Распределение спектральных кривых для растительности в диапазоне 400 нм - 780 нм.

Таблица 7 – Распределение СКЯ по вегетационным периодом для ячменя

Длина волны	СКЯ, %							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
400	2	3	4	8	4	2	2	3
450	3	3	4	8	4	2	2	3
500	4	4	5	8	4	4	3	6
550	8	8	8	12	16	12	8	10
600	6	6	7	6	10	4	3	8
650	3	3	4	2	4	4	5	6
690	20	20	20	35	60	30	12	20
730	44	46	52	62	74	48	16	32
780	48	54	58	69	79	55	24	40

Примечание: I- VIII вегетационные периоды, I-10.06; II-22.06; III-04.07; IV-14.07; V-19.07; VI-14.08; VII-22.08; VIII-02.09 [2, с.104].

Таблица 8 – Распределение СКЯ по вегетационным периодом для овса

Длина волны	СКЯ, %							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
400	2	3	4	8	4	2	2	3
450	3	3	4	8	4	2	2	3
500	4	4	5	8	4	4	3	6
550	8	8	8	12	16	12	8	10
600	6	6	7	6	10	4	3	8
650	3	3	4	4	6	4	5	6
690	20	20	20	35	60	30	12	20
730	40	44	46	62	74	48	16	32
780	44	48	52	73	78	60	22	42

Примечание: I- VIII вегетационные периоды, I-10.06; II-22.06; III-04.07; IV-14.07; V-19.07; VI-14.08; VII-22.08; VIII-02.09 [2, с.104].

Закключение

Полученные в данной работе зависимости позволят создать информационную систему, которая по результатам ДЗЗ умеет:

1. Распознавать объекты поверхности Земли;
2. Определять «правильность» роста растений;
3. Выявлять различные нарушения в процессе роста сельхозкультур;
4. По итогам мониторинга растительности предложить план мероприятий по устранению нарушений.

Литература:

1. Савицкая О.В. Методы спутникового мониторинга оценки состояния и продуктивности посевов зерновых культур // ФГБУ «ВНИИСХМ». – Обнинск, 2016. – С. 184.
2. Сидько А.Ф., Пугачева И.Ю., Шевырногов А.П. Исследование динамики спектральной яркости посевов сельскохозяйственных культур в период вегетации на территории Красноярского края // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2009. – Т. 1. – № 2. – С. 100-111.
3. Клещенко А.Д. Оценка состояния зерновых культур с применением дистанционных методов. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – С. 190.

4. Чучалин А.И., Ерошин Н.С., Тихомиров А.А. и др. Содержание пигментов и оптических свойств листьев пшеницы в условиях интенсивности светокультуры растений // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. наук. – 1977. – Вып. 2. – № 10. – С. 38-43.
5. Gates D.M., Keegan H.J., Schleter J.C., Weidner V.R. Spectral Properties of Plants // Applied Optics. – 1965. – Vol. 4. – P. 11-22.
6. Куришбаев А.К., Айтуганов К.К., Нукешев С.О. и др. Рекомендации по проведению весенне-полевых работ в Ақмолинской области в 2020 году. – Нур-Султан: КазАТУ им. С.Сейфуллина, 2020. – С. 69.
7. Алтынов А.Е., Малинников В.А., Попов С.М., Стеценко А.Ф. Спектрометрирование ландшафтов: учеб. пос. для студ. – М.: Изд. МИИГАиК. УПП «Репрография», 2010. – С. 120.
8. Книжникова Ю.Ф., Тутубалина О.В., Балдина Е.А., Чалова Е.Р. Компьютерная обработка аэрокосмических снимков. Работа с многозональными снимками в свободно расширяемой программе MultiSpec [электрон. ресурс]. – 2001. – URL: http://www.geogr.msu.ru/science/aero/center/int_sem2/Theme3.htm
9. Байшоланов С.С., Муқанов Е.Н., Чернов Д.А., Жакиева А.Р. Агроклиматические особенности вегетационного периода в Ақмолинской области // Гидрометеорология и экология. – Алматы: Казгидромет, 2016. – № 2. – С. 27-37.
10. Байшоланов С.С., Полевой А.Н. Оценка влагообеспеченности вегетационного периода в северной зерносеющей территории Казахстана // Физическая география и геоморфология: Научный сборник. – К.: Киевский национальный университет им. Т. Шевченко. – 2016 – Вып. 3(83) – С. 95-102.

References:

1. Savitskaya O.V. Methods of satellite monitoring of the assessment of the state and productivity of crops of grain crops. – Obninsk, 2016. – P. 184.
2. Sidko A.F., Pugacheva I.Yu., Shevyrnogov A.P. Investigation of the dynamics of spectral brightness of agricultural crops during the growing season on the territory of the Krasnoyarsk Territory // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2009. – Vol. 1. – No. 2. – P. 100-111.
3. Kleshchenko A.D. Assessment of the state of grain crops using remote methods. – L.: Hydrometeoizdat, 1986. – P. 190.
4. Chuchalin A.I., Eroshin N.S., Tikhomirov A.A., etc. The content of pigments and optical properties of wheat leaves in the conditions of light culture intensity of plants // Izv. SO AN SSSR. Ser. biol. nauk. – 1977. – Issue 2. – No. 10. – Pp. 38-43.
5. Gates D.M., Keegan H.J., Schleter J.C., Weidner V.R. Spectral Properties of Plants // Applied Optics. – 1965. – Vol. 4. – P. 11-22.
6. Kurishbaev A.K., Aituganov K.K., Nukeshev S.O., etc. Recommendations for conducting spring field work in the Akmola region in 2020. – Nur-Sultan: KazATU named after S.Seifullin, 2020. – P. 69.
7. Altynov A.E., Malinnikov V.A., Popov S.M., Stetsenko A.F. Spectrometry of landscapes: textbook. manual for students. – М.: MIIGAiK Publishing House. SCP «Репрография», 2010. – P. 120.
8. Knizhnikova Yu.F., Tutubalina O.V., Baldina E.A., Chalova E.R. Computer processing of aerospace images. Working with multi-zone images in the freely distributed MultiSpec program [electron. resource]. – 2001. – URL: http://www.geogr.msu.ru/science/aero/center/int_sem2/Theme3.htm
9. Baisholanov S.S., Mukanov E.N., Chernov D.A., Zhakieva A.R. Agroclimatic features of the growing season in the Akmola region // Hydrometeorology and Ecology. – Almaty: Kazhydromet, 2016. – No. 2. – P. 27-37.
10. Bicolano S.S., Field A.N. Assessment of the water supply of the growing season in the Northern grain-producing territory of Kazakhstan // Physical geography and geomorphology: Research collection. – К.: Kyiv national University. T. Shevchenko. – 2016 – Vol. 3(83) – P. 95-102.

А.Е. Ержанов¹, С.Е. Керімқұлов²

^{1,2}Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан Республикасы

**АҚМОЛА ОБЛЫСЫНЫҢ ҒАРЫШТЫҚ ТҮСІРІЛІМДЕРІН ТАЛДАУҒА
АРНАЛҒАН АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ДАҚЫЛДАРЫ ЖӘНЕ
ТОПЫРАҒЫНЫҢ СПЕКТРЛІК СИПАТТАРЫ**

Аңдатпа. Бұл жұмыста біз топырақ пен өсімдіктердің спектрлік қасиеттерін және ғарыштық суреттерді өңдеуге арналған мақаланың нәтижелерін одан әрі қолдану үшін оларды талдауы қарастырылған. Негізінен Ақмола облысының грунттары мен топырақтарын және осы өңірге тән ауыл шаруашылық дақылдары қарастырылған.

Жарықтықтың спектрлік коэффициентін (СКЯ) талдау кезінде әр түрлі топырақ пен өсімдіктер арасында айырмашылықтар пайда болады. Деректерді талдау нәтижелері бойынша мынадай қорытындылар алынды: 700 нм-ден 1300 нм-ге дейінгі толқын ұзындығы диапазонында топырақтар ақпараттық танымалы болады; ауыл шаруашылығы дақылдарының танылуы 850 нм-ден 1100 нм-ге дейінгі толқын ұзындығы диапазонында ақпараттық танымалы болады. Объектілерді тану алгоритмін әзірлеу кезінде нысандардың түрін анықтау үшін бекітілген 0,55 мкм және 0,66-0,68 мкм екі нүктеде экстремумдар болуы анықталады.

Түйін сөздер: толқын ұзындығы, электромагниттік сәулелену спектрі, инфрақызыл спектр, жарықтықтың спектрлік коэффициенті, грунт, топырақ, жасыл өсімдік, вегетациялық кезең, ЖҚЗ.

A.E. Yerzhanova¹, S.E. Kerimkulov²

^{1, 2}L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

**SPECTRAL PROPERTIES OF SOILS AND AGRICULTURAL CROPS
FOR ANALYSIS OF SATELLITE IMAGES OF THE AKMOLA REGION**

Annotation. This paper considers the spectral properties of soils and vegetation and their analysis for further application of the results of the article for processing satellite images. Basically, the soils and crops of the Akmola region and agricultural crops inherent in this region are considered.

When analyzing the spectral brightness coefficient (SCR), there are differences in the SCR of soils of different types and vegetation. Based on the results of data analysis, the following conclusions were obtained: soil recognition is informative in the wavelength range from 700 nm to 1300 nm; crop recognition is informative in the wavelength range from 850 nm to 1100 nm. When developing an object recognition algorithm, two fixed points of 0.55 microns and a point of 0.66-0.68 microns will be considered for the presence of extremes to determine the type of objects.

Keywords: wavelength, electromagnetic radiation spectrum, infrared spectrum, spectral brightness coefficient, ground, soil, green vegetation, vegetation period, ERS.