

А. Ахмадия^{1,2}, С.С. Бримжанова^{3,4}, Х. Молдамурат², Н.К. Набиев¹*

¹*С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық Университет, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан*

²*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан*

³*«А. Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеті», Қостанай қ., Қазақстан*

⁴*Ш. Қабылбаев атындағы Қазақстан Республикасы ИМ Қостанай академиясы,
Қостанай қ., Қазақстан*

**e-mail: kameshova_88@mail.ru*

ENVI БАҒДАРЛАМАСЫН ҚОЛДАНЫП ҒАРЫШТЫҚ ТҮСІРІЛІМДЕРДІ ДЕШИФРЛЕУ ҮШІН МАХАЛАНОВИС ӘДІСІМЕН МӘЛІМЕТТЕРДІҢ КЛАСТЕРИЗАЦИЯСЫ

Аңдатпа

Жақында ақпараттық технологиялардың күрт өсуі байқалады. Ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың көптеген бөлімдерінің ішінде жасанды интеллект теориялық әзірлемелер саласында да, қосымшаларда да ең прогрессивті болып табылады. Жасанды интеллекттегі үлгіні тануға көптеген мәселелер кіреді: суреттерді, символдарды, мәтіндерді, иістерді, дыбыстарды, шуды, жағдайларды тану. Бағдарламалық құралдар нарығында белгілері бойынша тануға негізделген, деректер және білім базаларымен жабдықталған, бейімдеу және оқыту мүмкіндігі бар жүйелер бар. Бұл жұмыста Landsat-7 ғарыштық түсірілімі бойынша 5-классты тану мақсатында ENVI бағдарламалық жасақтамасымен бақыланатын жіктеу қарастырылады. Мақалада класстарға бөлу үшін Махалановис әдісі қолданылды және әр класс үшін танудың салыстырмалы дәлдігі анықталды. Махалановис дистанциясы әдісімен класстарды танудың есептелген дәлдігі 5 класс бойынша жалпы дәлдік 90%-дан астамды көрсетті, каппа-статистика индексі 0,89 құрады. Осылайша, дәлсіздік матрицасы бойынша class_3 дәлдігі басқаларға қарағанда жоғары деп қорытынды жасауға болады, бұл класс өзендер, көлдер мен арналарға жатады. Class_5 тану дәлдігі басқа класстарға қарағанда 70% - дан жоғары болды, бұл классқа Class_1, Class_2 деп қате жіктелуі мүмкін тұрғын үйлер мен ғимараттар жатады.

Түйін сөздер: Landsat-7, Махалановис, бақыланатын жіктеу, деректерді кластерлеу, жасанды интеллект, үлгіні тану, жерді қашықтықтан зондтау технологиялары.

Аннотация

А. Ахмадия^{1,2}, С.С. Бримжанова^{3,4}, Х. Молдамурат², Н.К. Набиев¹

¹*Казахский Агротехнический Университет им. С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, Казахстан*

²*Евразийский Национальный Университет им. Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан*

³*НАО «КРУ имени А.Байтұрсынова», Костанай, г. Казахстан*

⁴*Костанайская академия МВД РК имени Шырақбека Кабылбаева, г. Костанай, Казахстан*

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ДАННЫХ МЕТОДОМ МАХАЛАНОВИСА ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМОСНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ENVI

В последнее время наблюдается взрывной рост новых информационных технологий. Среди множества разделов ИКТ наиболее прогрессирующим является искусственный интеллект. К распознаванию образов в искусственном интеллекте относят широкий круг проблем: распознавание изображений, символов, текстов, запахов, звуков, шумов, ситуаций. На рынке программных средств имеются системы, основанные на распознавании по признакам, оснащенные базами данных и знаний, имеющие возможность адаптации и обучения. В работе рассматривается контролируемая классификация с программным обеспечением ENVI с целью распознавания 5-ти классов по космоснимку Landsat-7. В статье применен Метод Махалановиса для разделения на классы и определена относительная точность распознавания. Вычисленная точность распознавания классов методом дистанции Махалановиса показала, что общая точность по 5 классам более 90%, индекс каппа-статистики составил 0,89. По матрице неточности распознавания можно сделать вывод, что точность по Class_3 выше, чем у других, этому классу принадлежат реки, озера и каналы. Точность распознавание по Class_5 более 70% ниже, чем у других классов, этому классу принадлежат жилые дома и здания которые могут быть ошибочно классифицированы как Class_1, Class_2.

Ключевые слова: Landsat-7, Махалановис, контролируемая классификация, кластеризация данных, искусственный интеллект, распознавание образов, технологии дистанционного зондирования Земли.

Abstract

DATA CLUSTERING USING THE MAHALANOBIS METHOD FOR DECIPHERING OF SATELLITE IMAGES USING ENVI SOFTWARE

Akhmadiya A.^{1,2}, Brimzhanova S.S.^{3,4}, Moldamurat Kh.², Nabiyeu N.¹

¹ S.Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, Kazakhstan

² L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

³ NPLC «A. Baitursynov Kostanay Regional University», Kostanay, Kazakhstan

⁴ Kostanay Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan named after Shrabek Kabyibaev, Kostanay, Kazakhstan

Recently, there has been an explosive growth of new information technologies. Among the many areas of ICT, artificial intelligence is the most progressive. Pattern recognition in artificial intelligence includes a wide range of problems: recognition of images, symbols, texts, smells, sounds, noises, situations. In the software market there are systems based on the recognition of traits, equipped with databases and knowledge, with the ability to adapt and learn. This paper considers supervised classification with ENVI software to recognize 5 classes from Landsat-7 satellite image. The paper applies the Mahalanobis Method for class separation and determines the relative accuracy of recognition. The calculated accuracy of classes recognition by the Mahalanobis distance method showed that the total accuracy of 5 classes is more than 90%, the kappa-statistics index was 0,89. According to the recognition inaccuracy matrix, we can conclude that the accuracy of Class_3 is higher than that of the others; rivers, lakes and canals belong to this class. Recognition accuracy for Class_5 is more than 70% lower than for other classes, this class belongs to residential buildings and buildings that can be erroneously classified as Class_1, Class_2.

Keywords: Landsat-7, Mahalanobis, supervised classification, data clustering, artificial intelligence, pattern recognition, remote sensing technologies.

Кіріспе

Өркениеттің әр түрлі кезеңдерінде ғылыми зерттеулердің жетекші бағыттары философия, математика, астрология, алхимия, физика бөлімдері болды: механика, электр және магнетизм, кванттық механика, бөлшектер физикасы, ядролық физика. Қазіргі уақытта көшбасшылық даму қарқынында да, қосымшаларда да ақпараттық технологияларға көшті. Өз кезегінде, IT-технологиялардың көптеген бөлімдерінің ішінде жасанды интеллект теориялық әзірлемелер саласында да, қосымшаларда да ең прогрессивті болып табылады.

Жасанды интеллекттің бірнеше бөлімдері бар, олардың арасындағы басымдықтар үнемі өзгеріп отырады. Сонымен қатар, жасанды интеллекттің әртүрлі бөлімдерін дамытатын ғалымдар арасында бәсекелестік бар, олар көбінесе өте қатал формаларды алады. Алдымен нейрокомпьютерлер, содан кейін сараптамалық жүйелер, ал соңғы онжылдықта нейрондық желілер көшбасшылыққа ие болды [1]. Жасанды интеллект ұзақ уақыт бойы ғылыми зерттеулердің «ыстық нүктесіне» айналды. Бұл жерде математиктердің, физиктердің, нейробиологтардың, психологтардың, бағдарламашылардың, философтардың, инженерлердің күш-жігері шоғырланған. Мұнда ғылыми ойдың даму жолдарына, компьютерлік индустрияның болашақ ұрпақтың өміріне әсеріне байланысты жаһандық мәселелер шешіледі. Осы жерде шекаралық идеялар пайда болады және өмір сүру құқығына ие болады — әртүрлі пәндерді, ғылыми бағыттар мен салаларды біріктірудің нәтижесі. Мұнда ғылыми нәтижелерді философиялық түсіну деп аталатын нәрсе пайда болады және қалыптасады. Жасанды интеллекттің ғылыми сала ретінде тез дамуына компьютерлік техниканың қол жетімділігі айтарлықтай ықпал етеді. Компьютерлердің қол жетімділігінің арқасында жаңа идеяларды жылдам компьютерлік іске асыру, оларды дереу іске асыру және жан-жақты практикалық тексеру мүмкіндігі бар. Бұл мүмкіндік жасанды интеллекттің теориялық және практикалық аспектілерде оның даму қарқынында көшбасшылыққа ықпал ететін күшті ынталандыру болып табылады. Жасанды интеллекттегі үлгіні тануға көптеген мәселелер кіреді: суреттерді, символдарды, мәтіндерді, иістерді, дыбыстарды, шуды, жағдайларды тану. Бағдарламалық құралдар нарығында белгілері бойынша тануға негізделген, деректер және білім базаларымен жабдықталған, бейімдеу және оқыту мүмкіндігі бар жүйелер бар.

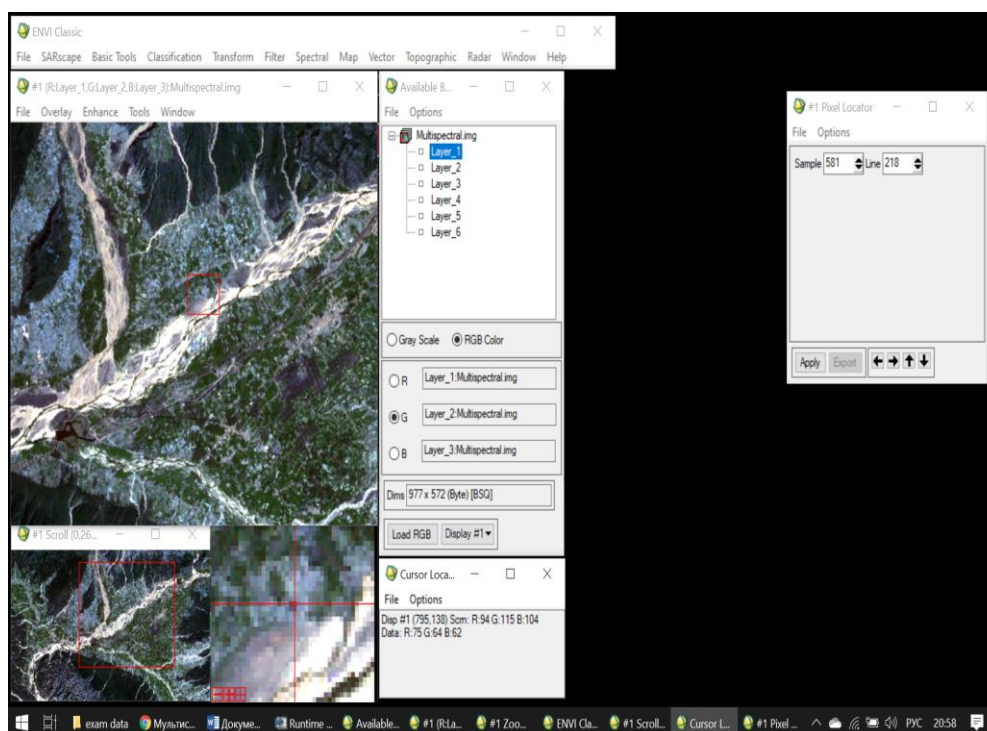
Бағдарламалық шешімдер қашықтықтан зондтау, инженерлік өнер, жер туралы ғылымдар, әуе кеңістігі мен ғарышты зерттеу, медицина, мұнай мен газды дамыту және биотехнологияны қоса алғанда, әртүрлі салаларда қолданылады.

Біздің планетамызды зерттеу мен оның ресурстарын тиімді пайдалануға және басқаруға көмектесетін тұрақты бақылаудың таптырмас құралы, атап айтқанда жерді қашықтықтан зондтаудың заманауи технологиялары біздің өміріміздің барлық саласында қолданылады [2].

Зерттеу әдістері

Ғарыштық түсірілімдер – бұл X (samples – бағандар) және Y (rows – жолдар) өлшем матрицасын білдіретін мәліметтер массиві, мұнда әр пиксельдің өзіндік координаты (X, Y) және оның мәні DN (Digital Number). Шифрлау кезінде DN мәндері қолданылады, мұнда тиесілік өлшемі осы пиксельдің қай классқа жататынын анықтайды.

Landsat-7 спутнигінен ғарыштық түсірілімді қарастырайық, бұл суретті ENVI бағдарламасында әрі қарай өңдеу үшін пайдаланамыз [7]. Landsat-7 ғарыштық түсірілімі 6 арнасы бар 0,4-тен 12,5 мкм-ге дейінгі толқын ұзындығының диапазонын қамтиды, ол мультиспектрлі, оның арналарынан түсті синтезделген RGB кескіндерін жасауға болады. Біз Layer 1, Layer 2 және Layer 3 қолданамыз және олардан RGB кескінін жасаймыз (қызыл арна (Red) – Layer_1, жасыл арна (Green) – Layer_2, көк арна (Blue) – Layer_3). Түрлі арналарды түстермен біріктіре отырып, әртүрлі табиғи және техногендік нысандарды нақты ажыратуға болады, яғни объектілерді тану, шифрлау немесе көзбен түсіндіру оңайырақ болады (1 суретті қараңыз) [3].



Сурет 1. Red – Layer_1, Green – Layer_2, Blue – Layer_3 арналарынан түсті синтезделген RGB суреті

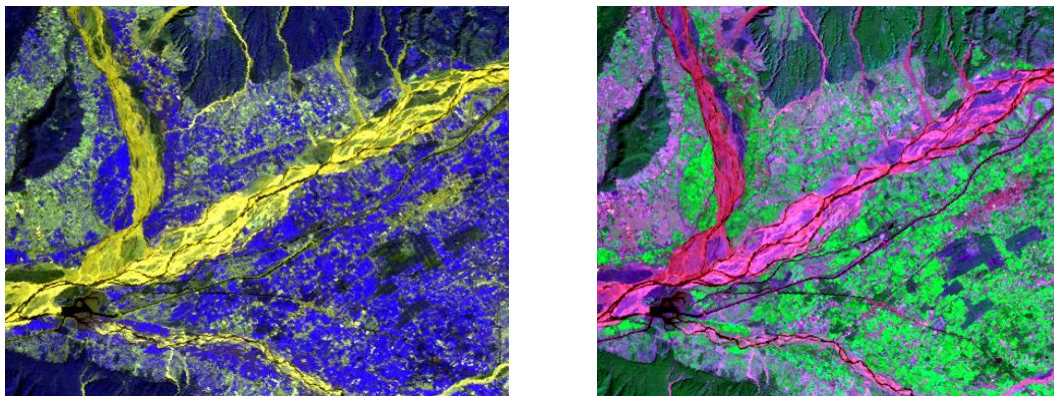
Кластерлеудегі әртүрлі нысандар немесе сыныптар үш өлшемді аймақта өз мәндеріне ие болады, олар қызыл, жасыл және көк координаттарда өз кеңістігін топтастыра алады. Біз комбинацияларды (Layer_2, layer_3, Layer_4) және (Layer_3, Layer_4, Layer_5) қалыптастырамыз, осы екі суретті түс қасиеттері бойынша көзбен түсіндіреміз (2 суретті қараңыз).

RGB кескініндегі осындай алты арнаның комбинациясының максималды комбинациясы позицияны немесе тәртіпті ескерусіз 20-ға дейін жетуі мүмкін.

Мұндағы $C_n^k C_n^k$ комбинацияларының максималды тіркесімі формула бойынша есептеледі:

$$C_n^k = \frac{n!}{(n-k)! \cdot k!}$$

мұндағы n-арналар саны: 6; k - RGB кескінін құруға арналған арналар саны [4].

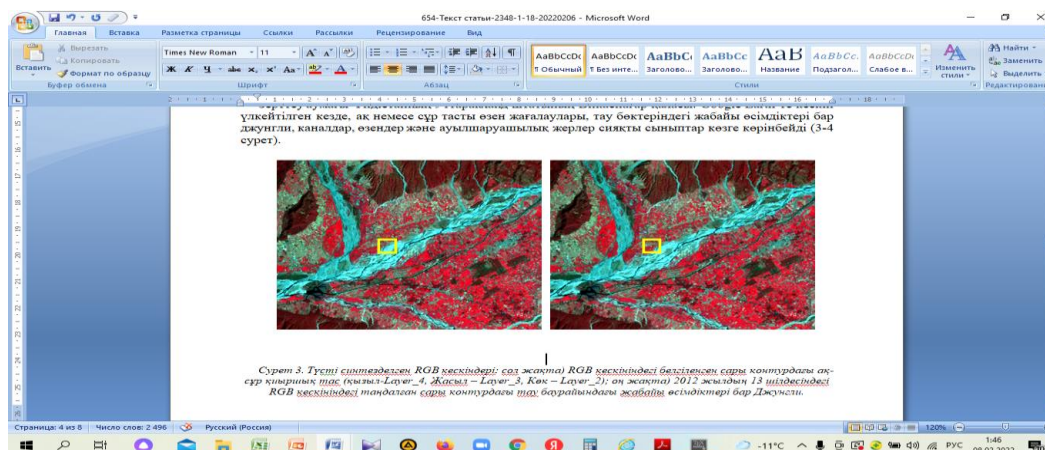


Сурет 2. Түсті синтезделген RGB суреттері: сол жақ (Red-Layer_2, Green - Layer_3, Blue - Layer_4); оң жақ (Red - Layer_3, Green - Layer_4, Blue-Layer_5)

Зерттеу нәтижелері

Зерттеу аумағы-Үндістанның Уттаракханд штатының Викаснагар қаласы.

Google Earth-те кескін үлкейтілген кезде, ақ немесе сұр тасты өзен жағалаулары, тау бөктеріндегі жабайы өсімдіктері бар джунгли, каналдар, өзендер және ауылшаруашылық жерлер сияқты класстар көзге көрінбейді (3-4 сурет).

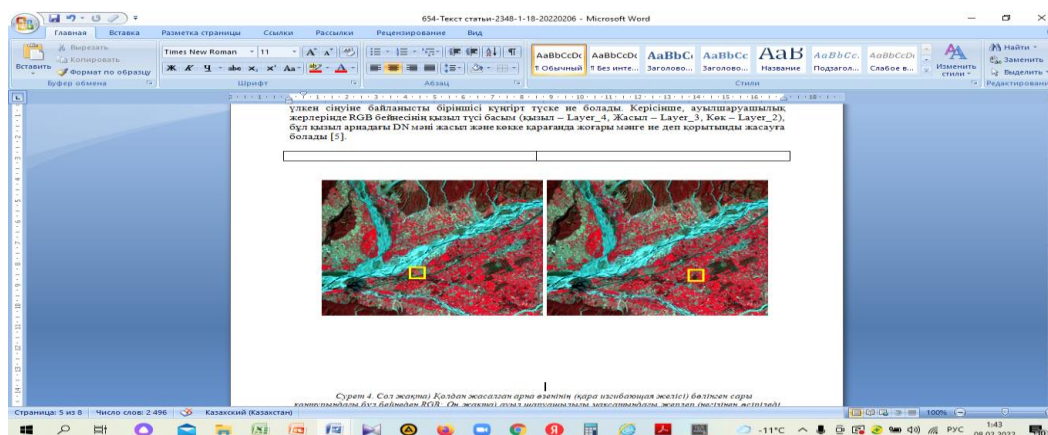


Сурет 3. Түсті синтезделген RGB кескіндері: сол жақта: RGB кескініндегі белгіленген сары контурдағы ақ-сұр қиыршық тас (Red-Layer_4, Green – Layer_3, Blue – Layer_2); оң жақта: 2012 жылдың 13 шілдесіндегі RGB кескініндегі таңдалған сары контурдағы тау баурайындағы жабайы өсімдіктері бар Джунгли

Жергілікті жерде зерттеу жүргізгеннен кейін және әр түрлі кластардың спектрінің айырмашылығына сүйене отырып, өзендер, каналдар сияқты сыныптар ауылшаруашылық алқаптарына қатысты көзбен ерекшеленеді деп қорытынды жасауға болады, өйткені күн спектрінің үлкен сіңуіне байланысты біріншісі күңгірт түске ие болады. Керісінше, ауылшаруашылық жерлерінде RGB бейнесінің қызыл түсі басым (Red – Layer_4, Green – Layer_3, Blue – Layer_2), бұл қызыл арнадағы DN мәні жасыл және көкке қарағанда жоғары мәнге ие деп қорытынды жасауға болады [5].

Жабайы өсімдіктері бар Джунгли ауылшаруашылық жерлер мен өзендерден қара-жасыл немесе қоңыр түспен ерекшеленеді. Алайда, үйлерді, үйлерді қамтитын қалалық ғимараттарды кейде қиыршық тастардан ажырату қиын, өйткені түстер сәйкес келуі мүмкін. Сондықтан, соңғысына қатысты, бұл класстар үш өлшемді аймақта DN мәндерінің кеңістігін бір-біріне жақындатады деп қорытынды жасауға болады.

Суретті өңдеу саласындағы машиналық оқыту, тану, деректерді талдау кезінде бақыланатын жіктеу әдістері қолданылады. Математикалық аппараттың күрделілігіне қарамастан, бұл әдістер статистикалық талдауға, сызықтық алгебраға және оңтайландыру теориясына негізделген [6].



Сурет 4. Сол жақта: Қолдан жасалған арна өзенінің (қара изгибаящая желісі) бөлінген сары контурындағы бұл бейнеден RGB; Оң жақта: ауыл шаруашылығы мақсатындағы жерлер (негізінен өсіріледі қант құрағы). Космос түсірілімі 13 шілде 2012 жылы алынған

Машиналық оқытудың негізгі мақсаты-белгілі бір сынып үшін кескін пикселдерінің сәйкестігін анықтау. Анықтау үшін ол ең алдымен классқа бөлу білім алушы туралы деректерді жинайды. Әрі қарай, осы оқу үлгілеріне сәйкес жіктеу есептеріне арналған параметрлері бар математикалық модель жасалады. Мұндай бақыланатын жіктеудің мысалы-Махаланобис қашықтығының жіктелуі. Класстар үшін тиісті аудандардан оқу үлгілерін бөлеміз: а) тасты немесе құмды таяз (Class_1); б) джунгли (Class_2); с) өзендер, каналдар мен көлдер (Class_3); d) ауылшаруашылық алқаптары (Class_4); е) үйлер мен ғимараттар (Class_5). Әр сынып үшін қызығушылық аймағынан (ROI) пиксельдер бақыланатын классификациядан бұрын бөлінуі керек.

Мұндай класстар үшін таңдалған талдау үшін пиксельдер саны: Class_1 – 138; Class_2 – 202; Class_3 – 111; Class_4 – 229; Class_5-154. 6 арна бойынша деректерді статистикалық талдау әр сынып үшін ерекше қолтаңбаны көрсетті (5 суретті қараңыз).

Class_2, Class 3 және Class 4 графиктерінен көрініп тұрғандай, олар қолтаңба деп аталатын тән қолтаңбамен ерекшеленеді. Бұл қолтаңбаларды біле отырып, кез-келген пиксельді белгілі бір сыныпқа байланыстыру арқылы тануға болады. Осы деректерді кіріс ретінде қолдана отырып, бақыланатын Махаланобис классификациясын қолдана отырып, ғарыштық түсірілімдегі барлық пикселдердің белгілі бір классқа жататындығын анықтаймыз.

Махаланобис дистанциясы әдісімен сыныптарды тану дәлдігі 5 сынып бойынша жалпы дәлдік 91,84%, каппа-статистика индексі 0,89 құрады. Дәл емес тану матрицасы немесе Махаланобис әдісімен жіктеу қателерінің матрицасы 1-кестеде келтірілген.

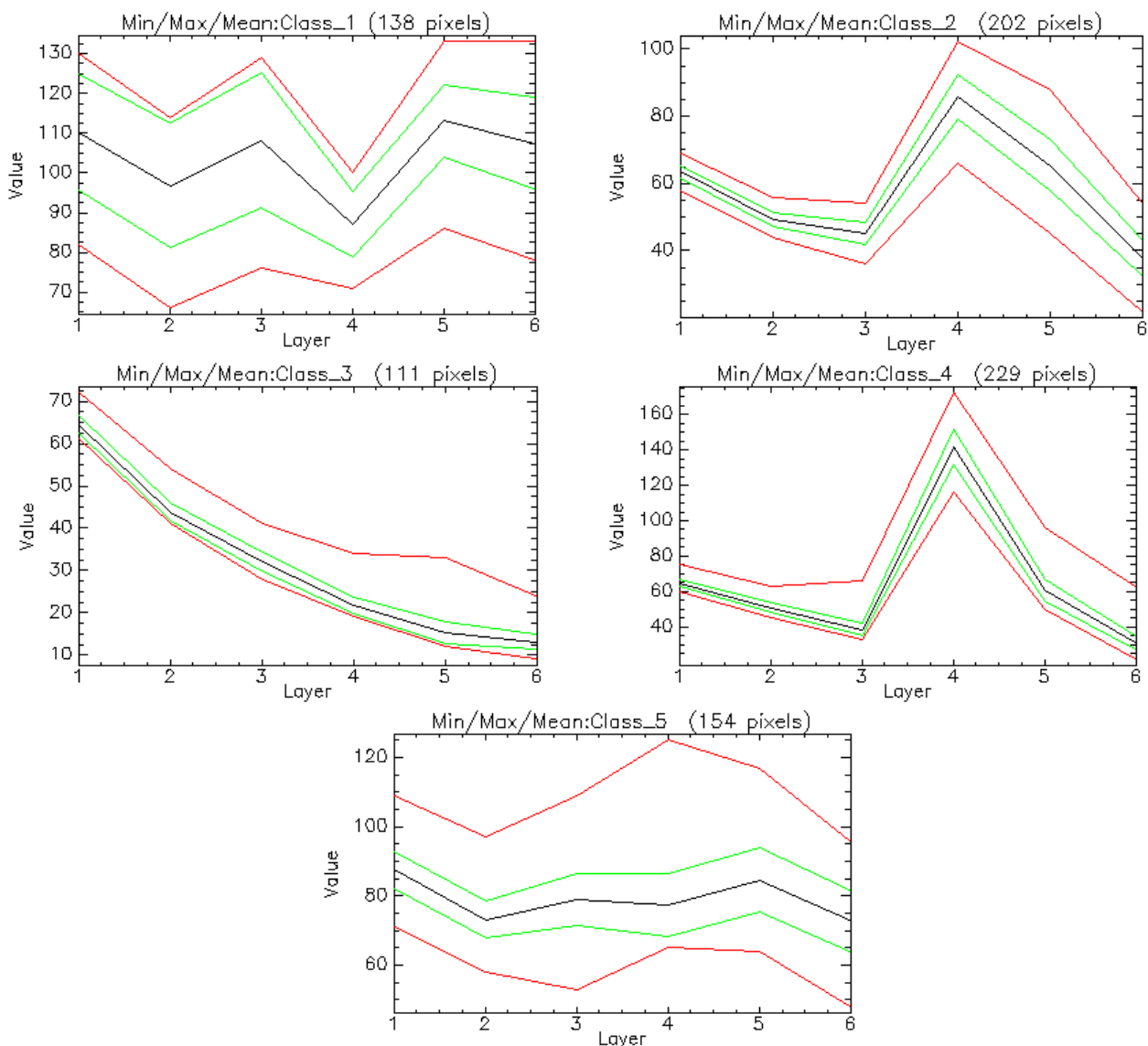
Қорытынды

Осылайша, дәлсіздік матрицасы бойынша Class_3 дәлдігі басқаларға қарағанда жоғары деп қорытынды жасауға болады, бұл класс өзендер, көлдер мен арналарға жатады. Class_5 тану дәлдігі басқа сыныптарға қарағанда 79,87% төмен болды, бұл сыныпқа Class_1, Class_2 деп қате жіктелуі мүмкін тұрғын үйлер мен ғимараттар жатады.

Қазіргі уақытта ғарыш түсірілімдерінен үлкен деректерді өңдеу және тану үшін жасанды интеллект жүйелерін қолдану арқылы әзірлемелер жүргізілуде. Жасанды интеллект технологиялары әлі де үлкен ақпарат ағындарын іздеудің және өндеудің құнды құралы болып қала береді.

Мүмкін болашақта жасанды интеллект технологиялары жерден ғарышқа жіберілген құрылғыларды қалай басқаруға болатындығын шешеді. Қашықтық неғұрлым үлкен болса, ғарыш аппараттары жермен байланыста болу соғұрлым қиын болады. Бұл дегеніміз, ғарыш кемесі оған үйренуге мүмкіндік беретін технологиялармен жабдықталуы керек және сайып келгенде, қандай деректерді жинау керек және қайсысы жоқ екенін шешеді. Сондықтан жасанды интеллект технологиялары жаңа жағдайларда дербес шешім қабылдауы керек.

Дәл қазір роботтар ғарышқа жіберіліп жатыр, ал кейбір әзірлемелер станцияларда бет-әлпетті тану және дауыстық бақылау үшін қолданылады. Жасанды интеллект технологиясының басты артықшылығы-жер үсті қолбасшылығына жұмсалатын шығындарды азайту және ғарышты игеру кезінде адам факторынан арылу.



Сурет 5. 5 классқа арналған 6 арна бойынша статистикалық мәліметтер диаграммасы
 Ескертпе. Әрбір сынып бойынша статистикалық деректер ең төменгі (Min), ең жоғарғы (Max), орташа мән (Mean) және стандартты ауытқулармен (-StDev, +StDev) ұсынылған. Мән мәні-әр арнадағы пиксельдің DN мәні

Кесте 1. Махаланобис дистанциясы бойынша дәлме-дәл тану матрицасы

Өңдеуден кейін	Шынайы мәндер (%)				
	Class_1	Class_2	Class_3	Class_4	Class_5
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Class_1	85.51	0.00	0.00	0.00	8.44
Class_2	0.00	94.06	0.00	1.75	11.69
Class_3	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Class_4	0.00	0.00	0.00	97.82	0.00
Class_5	14.49	5.94	0.00	0.44	79.87
Общее	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Алғыс сөздер

Авторлар ГАЖ – технологиялар орталығына, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетіндегі Мажренова Шолпан Каиржановнаға ENVI заманауи лицензиялық бағдарламалық қамтамасыз етуде жұмыс ұсынғаны үшін алғыс айтқысы келеді. Сонымен қатар, авторлар Үндістанның қашықтықтан зондтау институтында ГАЖ технологиялары бойынша 9 айлық халықаралық курсты өту кезінде директор Сарнам Сингхпен бірге алған білімдері үшін үлкен алғыс білдіреді.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Stuart Russell, Peter Norvig, «Artificial Intelligence: A Modern Approach, 2nd Edition» // Williams, 2015, p.74, ISBN: 978-5-8459-1968-7.
- 2 Ялдыгина Н.Б. «Использование программного комплекса ENVI для решения задач лесного хозяйства» // Геоматика, №3 2011, с. 34-39.// https://elibrary.ru/download/elibrary_22298234_71900765.pdf
- 3 Орешкина Л.В. «Обнаружение и распознавание класса объектов на многозональных изображениях дистанционного зондирования» // Информатика. 2005. №2. с. 80.// <https://inf.grid.by/jour/issue/view/64/showToc>
- 4 Smirnova A.I.; Khachumov V.M. «Method of processing multispectral images of earth remote sensing: metod obrabotki mul'tispektral'nykh snimkov distantsionnogo zondirovaniya zemli», Aviakosmicheskoe priborostroenie 2013, с.50-56.
- 5 Шумаков Ф.Т., Толстохатко В.А., Малец А.Ю. «Классификация космических снимков с использованием методов кластерного анализа» // Восточно-Европейский Журнал передовых технологий. 2011. №3 (51), с. 58-62. // <https://elibrary.ru/item.asp?id=19129087>
- 6 Домрачев А.А., Ануфриев М.А. Основы дистанционного зондирования Земли // Йошкар-Ола: ПГТУ, 2019. — 155 с.// <https://www.twirpx.club/file/3042831/>
- 7 Байкалова Т.В. Автоматизированная обработка данных дистанционного зондирования. Учебно-методическое пособие. Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2015. 112 с.// <https://www.twirpx.org/file/2735976/>

References:

- 1 Stuart Russell, Peter Norvig (2015) *Iskusstvennyj intellekt: Sovremennyy podhod, 2-e izdanie* [Artificial Intelligence: A Modern Approach, 2nd Edition]. Uil'jams. 74, ISBN: 978-5-8459-1968-7. (In English)
- 2 Jaldygina N.B. (2011) *Ispol'zovanie programmnogo kompleksa ENVI dlja reshenija zadach lesnogo hozjajstva*. [Using the ENVI software package to solve forestry problems]. Geomatika. №3, 34-39. (In Russian) https://elibrary.ru/download/elibrary_22298234_71900765.pdf
- 3 Oreshkina L.V. (2005) *Obnaruzhenie i raspoznavanie klassa ob#ektov na mnogozonal'nyh izobrazhenijah distancionnogo zondirovaniya*. [Object class detection and recognition on multispectral remote sensing images]. Informatika. № 2, 80. (In Russian) <https://inf.grid.by/jour/issue/view/64/showToc>
- 4 Smirnova A.I., Hachumov V.M. (2013) *Metod obrabotki mnogospektral'nyh izobrazhenij distancionnogo zondirovaniya Zemli: metod obrabotki mnogospektral'nyh snimkov distancionnogo zondirovaniya Zemli*. [Method of processing multispectral images of earth remote sensing: metod obrabotki mul'tispektral'nykh snimkov distantsionnogo zondirovaniya zemli]. Aviakosmicheskoe priborostroenie, 50-56. (In English)
- 5 Shumakov F.T., Tolstohat'ko V.A., Malec A.Ju. (2011) *Klassifikacija kosmicheskikh snimkov s ispol'zovaniem metodov klaster'nogo analiza*. [Satellite images classification using cluster analysis methods]. Vostochno-Eropejskij Zhurnal peredovyh tehnologij. №3 (51), 58-62. (In Russian) <https://elibrary.ru/item.asp?id=19129087>
- 6 Domrachev A.A., Anufriev M.A. (2019) *Osnovy distancionnogo zondirovaniya Zemli*. [Basics of Earth Remote Sensing]. Yoshkar-Ola: PGU, 155. (In Russian) <https://www.twirpx.club/file/3042831/>
- 7 Bajkalova T.V. (2015) *Avtomatizirovannaja obrabotka dannyh distancionnogo zondirovaniya*. [Automated processing of remote sensing data]. Uchebno-metodicheskoe posobie. Barnaul: RIO Altajskogo GAU, 112. (In Russian) <https://www.twirpx.org/file/2735976/>