



UDK: 550.814:[629.783:525]

Otabek ZOKIROV,

Geol.-min. fanlari doktori (DSc), professor, Toshkent davlat transport universiteti

E-mail: zokirov-otabek@mail.ru

Isomiddin TOG‘AYEV,

Falsafa fanlari doktori (PhD), dotsent, O‘zbekiston Milliy universiteti

E-mail: togaev_is@mail.ru

Geologiya fanlari universiteti dotsenti A.Asadov taqrizi asosida

THE SCIENTIFIC AND GEOCHEMICAL POTENTIAL OF SPACE MISSIONS

Annotation

This article analyzes the capabilities of determining the mineral composition of the Earth's crust and surface, as well as the chemical properties of soils, the atmosphere, and vegetation, using the ASTER, MOPITT, and MODIS instruments on the modern TERRA satellite, as well as SPOT systems. Based on data obtained in different ranges of electromagnetic radiation, the spectral characteristics of various minerals-carbonates, hydroxides, and silicates-are studied, and the mechanisms of their remote sensing are described.

Keywords: Remote sensing, ASTER, MODIS, MOPITT, SPOT, electromagnetic spectrum, NDVI index, TIR range, VNIR range, SWIR range, soil chemistry, plant chemistry.

НАУЧНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ

Аннотация

В данной статье анализируются возможности определения минерального состава земной коры и поверхности, а также химических свойств почв, атмосферы и растительности с использованием приборов ASTER, MOPITT и MODIS на современном спутнике TERRA ASTER, а также аппаратов SPOT. На основе данных, полученных в различных диапазонах электромагнитного излучения, изучены спектральные характеристики различных минералов - карбонатов, гидроксидов и силикатов, а также описаны механизмы их дистанционного зондирования.

Ключевые слова: Космическое дистанционное зондирование, ASTER, MODIS, MOPITT, SPOT, электромагнитный спектр, индекс NDVI, диапазон TIR, диапазон VNIR, диапазон SWIR, почвенная химия, химия растений.

FAZOVIY MISSIYALARINING ILMIIY- GEOKIMYOVIY SALOHIYATI

Annotatsiya

Mazkur maqolada zamonaviy TERRA ASTER sun'iy yo'ldoshidagi ASTER, MOPITT va MODIS qurilmalari hamda SPOT apparatlari yordamida Yer qatlami va uzasining mineral tarkibi, tuproqning, atmosferaning, o'simliklarning kimyoviy xususiyatlarini aniqlash imkoniyatlari tahlil qilingan. Elektromagnit to'lqinning turli diapazonlarida olingan ma'lumotlar asosida har xil minerallar – karbonatlar, gidroksidlar va silikatlarining spektral xususiyatlari o'rganilib, ularning masofadan zondkashning mexanizmlari keltirilgan.

Kalit so'zlari: Kosmik masofadan zondlash, ASTER, MODIS, MOPITT, SPOT, elektromagnit spektr, NDVI indeksi, TIR diapazoni, VNIR diapazoni, SWIR diapazoni, tuproq kimyosi, o'simlik kimyosi.

Kirish. Zamonaviy kimyo fani nafaqat laboratoriya sharoitida, balki keng qamrovli masofaviy usullar orqali ham moddalar tarkibini aniqlash va kuzatish imkoniyatlariga ega bo'lmoqda. Kosmik masofadan zondlash texnologiyalari kimyo fanida yangi sahifani ochib, Yer yuzasining kimyoviy tarkibini, mineral resurslarini, atmosfera kimyosini va hatto osmon jismlarining kimyoviy xususiyatlarini o'rganishning samarali vositasiga aylandi. Elektromagnit spektrning turli diapazonlarida olingan kosmik tasvirlar moddalarning kimyoviy tuzilishi, mineral tarkibi va emissiya xususiyatlari to'g'risida bebaho ma'lumotlar beradi. Bu prinsip spektroskopiya fanining fundamental qoidalariga asoslanadi: har bir kimyoviy modda elektromagnit to'lqinlarni (nurlanishni) o'ziga xos tarzda yutadi va qaytaradi, bu esa uni masofadan aniqlash imkonini beradi.

TERRA suni'y yo'ldoshida o'rnatilgan ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer- Ilg'or kosmik issiqlik nurlanishi va aks ettirish radiometri) qurilmasi 0,50 mkm dan 12 mkm gacha bo'lgan keng spektral diapazonda 14 ta kanal orqali Yer yuzasini skanerlaydi. Ushbu kanallar turli minerallar va kimyoviy birikmalarning spektral to'lqinlarini qayd etish uchun maxsus ishlab chiqilgan bo'lib, raqamli mineralogik va geokimyoviy xaritalash uchun noyob [1-15] imkoniyat yaratadi.

SPOT kosmik apparatlari seriyasi esa 1986 yildan buyon tuproq kimyosi, o'simlik biomassasining kimyoviy tarkibi va atrof-muhit kimyoviy monitoringida muhim rol o'ynamoqda. Asosiy maqsad – yuqorida sanab o'tilgan kosmik tizimlarning kimyoviy tadqiqotlardagi ilmiy salohiyatini kompleks tarzda baholash va ularning kimyo [1-15] faniga qo'shayotgan hissasini ko'rsatib berishdir.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili. Sh.E.Ergashev, A.A.Abduraxmonov, A.Asadov, A.M.Baldrige, B.Bhosle, S.Varade, R.P. Gupta, S.Kaasalainen, M.Rasanen, O.Nevalainen va boshqa olimlar va mutaxassislar tomonidan katta hajmda tadqiqot ishlari olib borilgan, jumladan ular tomonidan iqlim, minerallar, tuproq va boshqa elementlarga oid spektral diapazonlar metodikasi ishlab chiqilgan. Bu esa suyuq, gaz, qattiq va boshqa unsurlarni masofadan kuzatishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Tadqiqot metodologiyasi. Elektromagnit to'liqlarning moddalar bilan o'zaro ta'siri kimyoviy spektroskopiyaning asosini tashkil etadi. Har qanday kimyoviy modda o'ziga xos energiyaga ega bo'lib, bu ularning ma'lum to'liq uzunliklarida yutilishi yoki chiqarilishiga olib keladi. Ushbu hodisa kosmik masofadan zondlashda kimyoviy tahlilning fizik asosi hisoblanadi. ASTER apparatida qo'llanilgan VNIR (Visible and Near-InfraRed- ko'rinadigan va yaqin infraqizil, 0,51–0,89 mkm) diapazoni asosan spektral xususiyatlarni qayd etadi. Bu diapazonda temir (Fe₂, Fe₃) va mis (Cu₂) ionlari bo'lgan minerallar – gematit (Fe₂O₃), getit, azurit, malaxit (Cu₂CO₃(OH)₂) – o'ziga xos spektral ko'rsatkichga ega. SWIR (Short-Wave InfraRed- qisqa to'liqlik infraqizil, 1,61–2,55 mkm) diapazoni OH, CO₃²⁻, SO₄²⁻ va Al(OH)₃, Mg(OH)₂, Fe(OH)₃ anionlar va gidroksidlarning spektrlarini aniqlashga imkon beradi. Bu diapazonda kaolinit, montmorillonit, illit, xlorit va boshqa gil minerallarining, shuningdek kalsit (CaCO₃), dolomit (CaMg(CO₃)₂) va gips (CaSO₄·2H₂O) ning aniq spektral belgilari [1-15] kuzatiladi.

TIR (Thermal InfraRed- thermal infraqizil, 8,2–11,7 mkm) diapazoni Yer yuzasining issiqlik nurlarini o'lchaydi va silikat minerallarining SiO spektrlarini aniqlashda alohida ahamiyat kasb etadi. Kremniy elementlari (SiO₄) 8,3–12,2 mkm diapazonda bo'lib, bu kvarts (SiO₂), dala shpati, piroksenlar guruhiga kiruvchi enstatit (MgSiO₃) kabi silikat minerallarini farqlash imkonini beradi. ASTER apparatining SWIR kanallari diapazoni (1,58–2,45 mkm) minerallar kimyosini masofadan o'rganishda eng samarali vosita hisoblanadi. Ushbu diapazonda turli aluminosilikat minerallarining (Ortklaz (KAlSi₃O₈), Albit (NaAlSi₃O₈), Anortit (CaAl₂Si₂O₈)) spektral tasvirlari aniq ko'rinadi. Kaolinit uchun 2,20 mkm atrofida spektral diapason kuzatiladi. Illit uchun 2,22 va 2,37 mkm, montmorillonit uchun esa 2,23 mkm xarakterlidir. Bu farqlar ASTER kanallari (2,187–2,228 va 2,233–2,282 mkm) orqali aniqlanadi va gil minerallarini kartaga tushirishda qo'llaniladi. Karbonat minerallar – kalsit (CaCO₃) va dolomit (CaMg(CO₃)₂) uchun 2,37 mkm va 2,56 mkm xosdir. ASTER 8-kanali (2,291–2,363 mkm) va 9-kanali (2,362–2,436 mkm) bu minerallarni ajratib ko'rsatishga imkon beradi va geologik xaritalashda karbonat jinslarning tarqalish chegaralarini aniqlashda qo'llaniladi. Temir elementli minerallar – gematit, getit va magnetit – VNIR diapazonda (kanallar 1–3) aniq spektral xususiyatlarni namoyon qiladi. Gidrotermal o'zgargan tog' jinslaridagi elementlar (mis, oltin, kumush) ASTERning SWIR tasvirlari orqali samarali aniqlanadi. Bu jarayon kimyoviy nuqtai nazardan silikat minerallarining gidrotermal eritmalar ta'sirida aluminosilikat, kaolinit, alunit yoki seritsit minerallariga aylanishi bilan bog'liq. Bu jarayon davomida hosil bo'lgan gidrotermal minerallar o'ziga xos SWIR spektral xossalarga ega bo'lib, ASTER tasvirlari orqali aniqlanadi. Masalan, alunit 2,19 mkm da, jarozit esa 2,29 mkm da namoyon bo'ladi. Mis rudalarining oksidlangan jihatlari ASTER tasvirlarida ayniqsa yaqqol ko'rinadi. Malaxit va azurit kabi mis karbonat minerallar VNIR diapazonda o'ziga xos yashil-ko'k rangli spektral ko'rinishga ega bo'lib, bu minerallarni masofadan ajratishni osonlashtiradi [1-15].

Tahlil va natijalar. ASTER apparatining TIR diapazonini 10-14 kanallari (8,132–11,46 mkm) silikat minerallar kimyosini o'rganishda alohida o'rin tutadi. Bu diapazon minerallarning o'z issiqlik nurlanishini o'lchab, o'ziga xos spektrlarini qayd etadi. Silikat minerallarning spektral xossalari 7–13 mkm diapazonda joylashgan bo'lib, ularning aniq pozitsiyasi Si/Al nisbatiga bog'liq. Kvarts (SiO₂) uchun 8,8 mkm da kuchli diapason xususiyati kuzatiladi. ASTER qurilmsi tuproqlarning kimyoviy tarkibini, xususan tarkibidagi oksidlanish holatidagi temirni, organik modda miqdorini va namlikni kuzatishda ham qo'llaniladi. Tuproqning spektral xususiyatlari uning kimyoviy tarkibi – organik uglerod, temir oksidlari, gil minerallar miqdori bilan chambarchas bog'liq. ASTER n1 va 2-kanallari o'rtasidagi nisbat (2-kanal/1-kanal) tuproqdagi temir oksid miqdorini aks ettiradi. Fe₂O₃ (temir (III) oksidi) va FeOOH (temir(III) oksidgidroksidi) mavjud tuproqlar qizil-jigarrang g rangda ko'rinadi va ushbu indeks bo'yicha yuqori qiymat beradi. Bu ko'rsatkich tuproqning kimyoviy tahlilida muhim ahamiyatga ega. Sho'rlangan tuproqlar – Na, K, Mg₂, Ca₂ va Cl, SO₄²⁻ ionlari bilan to'yingan tuproqlardir va ular ASTER ning SWIR diapazonida o'ziga xos spektral o'ringa ega. Gips (CaSO₄·2H₂O) va galit (NaCl) kabi tuzlar sho'rlangan [1-15] tuproqlarda hosil bo'lib, ularning mineral tarkibi ASTER tasvirlarida aniqlanadi va xaritada tushiriladi.

TERRA ASTER suni'y yo'ldoshida o'rnatilgan MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere-Troposferadagi ifloslanishni o'lchash) qurilmasi atmosferadagi CO (uglerod oksid) va CH₄ (metan) gazlarining tarqalishini kuzatadi. Bu gazlar muhim kimyoviy elementlar bo'lib, troposferada ozon (O₃) hosil bo'lishida va issiqxona effektida muhim rol o'ynaydi [1-15].

ASTER kanallarining mineral va kimyoviy tadqiqotlarda qo'llanilishi (jadval)

Kanal	Diapazon	Kimyoviy maqsad
1	VNIR	Xlorofill, Fe, Cu ionlari
2	VNIR	Getit, gematit
3	VNIR	NDVI o'simliklar
4	SWIR	Karbonatlar
5	SWIR	Xlorit, alunit, kaolinit
6	SWIR	Montmorillonit, kaolinit
7	SWIR	Seritsit, illit
8	SWIR	Xlorit, dolomit
9	SWIR	Karbonatlar, kalsit
10	TIR	Silikatlar
11	TIR	Granit, kvarts
12	TIR	Gabbro, feldspat
13	TIR	Ultramafik jinslar

14	TIR	Yer yuzasi harorati
----	-----	---------------------

MOPITT tomonidan olingan ma'lumotlar asosida global CO konsentratsiyasi xaritasi tuziladi va uning o'zgarishi kuzatiladi. CO gazi atmosferada O₃ bilan reaksiyaga kirishib, CO₂ hosil qiladi. Bu reaksiya troposfera kimyosida muhim o'rin tutadi va MOPITT ma'lumotlari atmosferaning kimyoviy modellashtirishda asosiy kirish parametri hisoblanadi. MODIS qurilmasi 36 spektral kanal orqali atmosferadagi aerozol zarrachalarning kimyoviy tarkibini aniqlashga imkon beradi. Aerozol zarrachalar iqlim kimyosida katta rol o'ynaydi. MODIS ma'lumotlari asosida aerozolning optik qalinligi hisoblanilib, atmosferani kimyoviy tahlilida qo'llaniladi. SPOT apparatlarining multispektral tasvirlash tizimlari o'simlik kimyosini kuzatishda muhim vosita hisoblanadi. O'simliklar fotosintez jarayonida xlorofill pigmentlari orqali Quyosh nurlanishini tanlab yutadi. Asosiy pigment - xlorofill *a* va yordamchi pigment - xlorofill *b*, ko'k (435–455 nm) va qizil (640–680 nm) diapazonlarda nurlanishni kuchli yutib, yashil (522–582 nm) va yaqin infraqizil (705–810 nm) diapazonlarda [1-15] kuchsiz yutadi.

SPOT apparatlarining yashil (G, 0,51–0,60 mkm), qizil (R, 0,62–0,69 mkm) va yaqin infraqizil (NIR, 0,77–0,88 mkm) kanallari yordamida NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) hisoblanadi va shu diapason aks etgan raqamli tasvirlar NDVI usulidagi tasvirlar deyiladi. NDVI qiymati o'simliklarning fotosintez faolligini, ya'ni xlorofill tarkibini aks ettiradi. Bu ko'rsatkich o'simlik kimyoviy holati va stressining indikatoridir sifatida qishloq xo'jaligida tuproq unumdorligini, o'g'it samaradorligini va sug'orish rejimini baholashda qo'llaniladi.

O'zbekiston uchun muhim bo'lgan tuproq sho'rlanishi muammosini kuzatishda SPOT tasvirlari katta ahamiyat kasb etadi. SHO'rlangan tuproqlarda erigan tuzlar (NaCl, CaCl₂) yuza qatlamiga ko'tarilib, oq qatlam hosil qiladi va tuproq spektral akslanishini o'zgartiradi. SPOT multispektral tasvirlarida sho'rlangan tuproqlar ko'rinuvchi diapazonlarda yuqori reflektans bilan ajralib turadi, o'simlikdagi NDVI esa keskin pasayadi. Bu aloqadorlik asosida sho'rlangan maydonlarning kimyoviy kartasini tuzish va degradatsiya dinamikasini kuzatish mumkin. SPOT-5 apparatining 2,5 m panxromatik va 10 m multispektral tasvirlari yordamida sho'rlangan va sho'rlanmagan maydonlar, drenaj kanallari bo'ylab kimyoviy ifloslanish zonalarini aniq ajratiladi. Bu ma'lumotlar [1-15] tuproqning kimyoviy melioratsiyasini rejalashtirish va baholashda qo'llaniladi.

SPOT apparatining yuqori o'lchamli tasvirlari (2,5 m panxromatik) sanoat korxonalarini atrofidagi atrof-muhit kimyoviy ifloslanishini kuzatishda qo'llaniladi. Metallurgiya zavodlari, kimyo kombinatlari, neft-gaz konlari va boshqa sanoat obyektlari atrofida kimyoviy ifloslanish zonalarini aniqlanadi. Masalan, og'ir metallar (Pb, Cd, Zn, Cu) mavjud tuproqlar o'ziga xos spektral xususiyatlarga ega. Og'ir metallar stress holatidagi o'simliklarning xlorofill tarkibining [1-15] pasayishi, o'simliklarning nekrozi va tuproq rangi o'zgarishi orqali SPOT tasvirlarida aniqlanadi. Bu usul atrof-muhit kimyoviy monitoringining muhim komponenti hisoblanadi.

Xulosa va takliflar. Zamonaviy kimyoviy tadqiqotlarda kosmik masofadan zondlash ma'lumotlari va yer laboratoriyalari tahlillarini birlashtirib qo'llash tobora keng tarqalmoqda. Kosmik apparatlar yordamida olingan mineralogik xaritalash ma'lumotlari dala ishlarini yo'naltiruvchi vosita sifatida xizmat qilib, namuna olish nuqtalarini optimal tanlashga imkon beradi va laboratoriya resurslarini tejaydi. Bu integratsion yondashuv ayniqsa geokimyoviy qidiruv ishlarida – noyob metallar (oltin, mis, molibden), nodir yer elementlari konlarini izlashda – katta iqtisodiy samara beradi. Ushbu tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, kosmik masofadan zondlash texnologiyalari – TERRA ASTER, SPOT kabi missiyalar – zamonaviy kimyoviy tadqiqotlarning ajralmas qismiga aylangan. ASTER apparatining 14 ta spektral kanalidan olingan ma'lumotlar mineralogiya, geokimyo, tuproq va atmosfera kimyosida laboratoriya usullari bilan taqqoslanadigan darajada aniq natijalar bermoqda. Kelgusida kosmik masofadan zondlash texnologiyalari va sun'iy intellekt (AI) usullarini birlashtirib qo'llash, kimyoviy spektral tahlilning aniqligini yanada oshirishi va yangi kimyoviy birikmalarni masofadan aniqlash imkonini berishi kutilmoqda.

ADABIYOTLAR

- Baldrige A.M., Hook S.J., Grove C.I., Rivera G. The ASTER spectral library version 2.0 // *Remote Sensing of Environment*. - 2009. - Vol. 113, №4. - P. 711–715.
- Bhosle B., Varade S. (2019). SPOT satellite imagery for environmental monitoring and change detection. *International Journal of Remote Sensing*, 40(13), 4937–4960.
- Gupta R.P. (2018). *Remote Sensing Geology* (3rd ed.). Springer, Berlin, Heidelberg. 427 p.
- Kokaly R.F., Clark R.N., Swayze G.A., et al. (2017). USGS Spectral Library Version 7. USGS Data Series 1035. <https://doi.org/10.3133/ds1035>
- Lillesand T.M., Kiefer R.W., Chipman J.W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 7th ed. - New York: Wiley, 2015. - 736 p.
- Ninomiya Y., Fu B., Cudahy T.J. Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared radiance-at-sensor data // *Remote Sensing of Environment*. - 2005. - Vol. 99, №1–2. - P. 127–139.
- Yamaguchi Y., Kahle A.B., Tsu H., Kawakami T., Pniel M. Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. - 1998 - Vol. 36, №4. - P. 1062–1071.
- Алексеев В.А., Громов С.А. Геохимия почв и методы её исследования. - Санкт-Петербург: Наука, 2012. - 388 с.
- Кринов Е.И. Спектральная отражательная способность природных образований. - Москва: АН СССР, 1947. - 271 с.
- Марченко А.Г., Сывороткин В.Л. Дистанционное зондирование в геохимии и экологии. - Москва: МГУ, 2007. - 312 с.
- Hasanov O.R., Rahimov I.D. Markaziy Osiyo tuproqlarining spektral xususiyatlari va ularni masofadan baholash // *O'zbekiston Agrar fanlari jurnali*. - 2020. - №4. - B. 112–119.
- <https://ieeexplore.ieee.org/document/9390885>
- <http://elibrary.ru/item.asp?id=16424682>
- <https://book.ru/book/945994>
- <https://ieeexplore.ieee.org/document/7105389>