TUPROQ XOSSALARINI ANIQLASHDA SPEKTROSKOPIK TADQIQOT USLUBLARIDAN FOYDALANISH

Gulimov Quvondiq Xamzayevich
II-boshqich doktorant, e-mail: gulimov611@gmail.com
Bahodirov Zafar Abduvalievich
b.f.f.d. (PhD), katta ilmiy xodim, bo‘lim mudiri,
e-mail: zafarbahodirov@gmail.com
Tuproqshunoslik va agrokimyoviy tadqiqotlar instituti

Annotatsiya

Ushbu maqolada tuproqlarning fizik va kimyoviy xossalarini tahlil qilishda spektroskopiya usullaridan foydalanishning o‘rni, shuningdek spektroskopik tadqiqot uslublaridan foydalanishning samaradorli va afzalliklari hamda an’anaviy tuproq tahlillaridan farqlari haqida bayon qilingan.

Kalit so‘zlar: spektroskopiya, yorug‘lik, yaqin infraqizil, o‘rta infraqizil, ko‘rinadigan nur, elektromagnit spektr, masofadan zondlash.

Аннотация

В данной статье описана роль использования методов спектроскопии при анализе физико-химических свойств почв, а также эффективность и преимущества использования спектроскопических методов исследования и их отличия от традиционного анализа почв.

Ключевые слова: спектроскопия, свет, ближний инфракрасный, средний инфракрасный диапазон, видимый свет, электромагнитный спектр, дистанционное зондирование.

Annotation

This article describes the role of using spectroscopy methods in the analysis of physical and chemical properties of soils, as well as the effectiveness and advantages of using spectroscopic research methods and their differences from traditional soil analysis.

Key words: spectroscopy, light, near-infrared, mid-infrared, visible light, electromagnetic spectrum, remote sensing.

Kirish. Bugungi kunda tuproqlarni saqlash va undan samarali foydalanish insoniyat duch kelayotgan oziq-ovqat xavfsizligi, iqlim o‘zgarishi, atrof-muhit degradatsiyasi, suv tanqisligi va biologik xilma-xillik kabi muammolarni hal qilish uchun juda muhimdir. Tuproqning holatini baholash ko‘p sonli ob’ektlarda ko‘p sonli parametrlarga ega bo‘lgan murakkab tahliliy yondashuvlarni talab qiladi. Katta maydonlarni qamrab olish uchun yuqori aniqlikdagi tuproq ma’lumotlariga bo‘lgan talabni qondirish juda qiyin. Katta maydonlar uchun tuproq xususiyatlarini o‘lchash uchun tejamkor vositalar talab qilinadi. Tuproq spektroskopiyasi tez, tejamkor, atrof-muhitga zarar yetkazmaydigan, buzilmaydigan, takrorlanuvchan analitik usul sifatida ushbu muammolarni hal qilishda muhim yechim hisoblanadi. Tuproq spektroskopiyasi asosida olingan asosiy xulosa va tavsiyalardan tuproq unumdorligini baholash, boshqarish, ekinlarni joylashtirish xaritalarini tuzish va sug‘oriladigan yerlarning meliorativ holatini yaxshilashga qaratilgan maqsadli davlat dasturlarini ishlab chiqishda foydalanish mumkin. Ayni vaqtda, ushbu ma’lumotlar oliy o‘quv yurtlaridagi ta’lim jarayonida ham ahamiyatli hisoblanadi.

Bugungi kunda tuproqlarning mineralogik tarkibni aniqlash uchun ko‘rinadigan-yaqin infraqizil aks ettiruvchi spektroskopiyadan foydalanishga qiziqish ortmoqda.

1970-yillarda Hunt, G.R. va Salisbury, J.W. lar tomonidan laboratoriyada foydali qazilmalarning ma’lumotlar bazalarini, spektrlarini ishlab chiqishgan [10].

Biroz vaqt o‘tgach, 1980-yillarning boshlarida, birinchi spektral ma’lumotlar bazasi (kutubxona) ni Amerika tuproqlarida Stoner va Baumgardner tomonidan yaratilgan [11]. 1980-yillarning o‘rtalarida bir nechta olimlar tomonidan tuproqlarning turli xil atributlarini aniqlashgan. Shu bilan spektral aks ettirish miqdoriy tuproq spektroskopiyasi davri boshlandi. Tuproq spektroskopiyasining jozibadorligi shundaki, o‘lchovlar tez va tuproq xossalarini baholash an’anaviy tuproq tahlillariga nisbatan arzon. Hozirgi kunda tuproq xossalarini baholash uchun tuproqning miqdoriy spektroskopiyasi bo‘yicha tadqiqotlar ko‘p o‘lchovli statistika va kimyometrik o‘zgarishlar tufayli o‘sishda davom etmoqda.

Tuproqlarning spektral aks etishi - bu tuproqlardagi minerallar, organik moddalar va suv molekulalarining geterogen birikmalarining o‘ziga xos spektral harakatidan kelib chiqadigan kumulyativ xususiyat. Tuproq spektroskopiyasi bo‘yicha tadqiqotlar birinchi navbatda quyidagi atributlar bilan bog‘liq:

- gidrologik siklning asosiy o‘zgaruvchisi bo‘lgan tuproq suvi o‘simliklarning o‘sishi, tuproq eroziyasi va yerlarning degradatsiyasiga olib keladigan infiltratsiya va oqindi kabi jarayonlarni nazorat qiladi;

- tuproqdagi uglerod tarkibi, uglerod aylanishidagi asosiy roli tufayli global iqlim modellarida muhim o‘zgaruvchidir. Uglerodning asosiy qismi bo‘lgan tuproq organik moddalarida o‘simlik o‘sishi uchun zarur bo‘lgan ozuqa moddalari, kationlar va mikroelementlarning katta qismi mavjud;

- tuproq mineralogiyasi va teksturasi muhim tuproq xossalaridir, chunki ular tuproqning fizik, kimyoviy va biologik jarayonlariga ta’sir qiladi. Tuproqning boshqa parametrlari ham tuproq tarkibining kimyoviy, fizik va biologik xususiyatlari bilan tuproqlarni aks ettirishning bevosita yoki bilvosita aloqalari orqali baholanishi mumkin.

Tuproq spektroskopiyasi - bu elektromagnit spektrning ko‘rinadigan, yaqin infraqizil yoki o‘rta infraqizil (Vis-NIR-MIR) mintaqalaridagi yorug‘lik tuproq yuzasiga tushganda

yorug‘likning yutilishini o‘lchashdan iborat. Tuproq tomonidan aks ettirilgan nurlanishning nisbati Vis-NIR-MIR refleks spektroskopiyasi orqali aniqlanadi.

Tuproqlarni tahlil qilishning ko‘plab usullari tuproq tarkibini o‘zgartiradigan va juda qimmatga tushishi mumkin bo‘lgan murakkabliligi hamda juda ko‘p vaqt talab qiladigan usullarni talab qiladi. Biroq, yaqin infraqizil spektroskopiya tuproq spektroskopiyasi xavfsiz va tezkorliligi bilan tuproqlarning sifatini tez va ishonchli tahlil qilishni ta’minlaydi shuningdek, yerdan foydalanish va qishloq xo‘jaligi sohalarida keng qo‘llanilishi mumkin.

Tuproq xususiyatlarini tahlil qilish uchun ishlatiladigan an’anaviy laboratoriya usullari odatda ular ko‘p vaqt talab qiladigan, qimmat va ba’zan noaniqdir (masalan, Lyons va boshqalar, 2011) [1]. Ko‘pincha, an’anaviy laboratoriya usullarida tuproq namunalarini tayyorlashda katta miqdorini talab qiladi, zararli reagentlar va ko‘plab o‘lchovlar kerak bo‘lganda etarli bo‘lmagan murakkab apparatlardan foydalanish birmuncha qiyinchilik tug‘diradi.

Tuproqlarni tahlil qilishning spektral usullari, shuningdek, tuproq tarkibidagi kiruvchi mikro-makroelementlarni hamda organik va noorganik moddalarni aniqlashi mumkin, bu tuproq materiallarining xavfsizligi va foydalanishga yaroqliligiga ta’sir qilishi mumkin. Aslida, NIR spektroskopiyasi USDA (Amerika Qo‘shma Shtatlari Qishloq xo‘jaligi Departamenti) tomonidan ushbu tuproq qo‘shimchalaridan to‘g‘ri foydalanish va xavfsizligini ta’minlash uchun o‘g‘itlar va gerbitsidlarni qo‘llash tezligini kuzatish uchun tan olingan tuproq tahlilining usullaridan biridir. Tuproqni tahlil qilishning ushbu usullari USDA tomonidan belgilangan ko‘rsatmalar, standartlar va qoidalarga qat’iy rioya qilishga intiladigan qishloq xo‘jaligi sohalari uchun ham juda foydali [5].

ML McDowell va boshqalar tomonidan VNIR, SWIR va TIR (0,4-14 m m) spektral hududlardan foydalangan holda, uglerod tarkibi, tuproq tartibi va spektral tasnifi bo‘yicha pastki qismning qisman eng kichik kvadratlar regressiyasi (PLSR) modellari bilan bog‘liq bo‘lgan umumiy uglerodni bashorat qilish ta’sirini aniqlashgan. Tuproq namunalarida uglerod miqdori juda past va yuqori bo‘lgan Gavayi qishloq xo‘jaligi ekin maydoni yerlaridan olingan. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, o‘rganilgan turli xil kichik tajriba usullari turli natijalarga olib keladi. Faqat past uglerod tarkibidagi namunalarni to‘ldirish uglerod tarkibini bashorat qilishda yaxshilanishni ko‘rsatdi [8].

R. D. Hewson boshqalar tomonidan SWIR va TIR (2–14 μm) spektral mintaqalarining Tick Hill, QLD, Avstraliya yerlaridagi tuproq namunalari va Amerika Qo‘shma Shtatlari Qishloq xo‘jaligi Departamentining (ASTER spektral kutubxonasi) tabiiy tuproqlaridan foydalangan holda tuproq tarkibi va tuzilishini tavsiflash qobiliyatini baholangan. Tuproq tarkibining mineral tarkibi, kvarts miqdori va organik uglerod miqdori mos ravishda 9,5 μm , 8,62 μm va 3,45 μm spektral xususiyatlardan foydalangan holda TIR mintaqasi indekslari asosida amalga oshirilgan. Kvars indeksi uchun mineral tarkibi bilan yaxshi bog‘liqlik kuzatilgan, bu TIR hududining VNIR-SWIR mintaqasiga qo‘shilgan qiymatini (emissiyaviy) aks ettirgan [9].

Tuproq spektroskopiyasining ushbu yutuqlari ko‘plab tuproqshunoslik sohalarida sezilarli ta’sir ko‘rsatadi; masalan, miqdoriy spektroskopiya tuproq sifati va tuproq funksiyasini (masalan, suvni saqlash va uglerod saqlash), tuproq unumdorligi va tuproq holatini (masalan, kislotalilik va eroziya) va tuproq pedogenezini baholash va monitoring qilishda qo‘llaniladi. Masalan, tuproq degradatsiyasi (sho‘rlanish, eroziya), tuproq xaritasini tuzish va tasnifi, tuproq genezisi va shakllanishi, tuproq ifloslanishi kabi hozirgi kunda tuproq spektroskopiyasini kengaytirish yordamida tekshirilayotgan muhim masalalardir.

Spektroskopik tadqiqot uslubi. Spektroskopik o‘lchovlar tez, aniq va arzon bo‘lishi bilan boshqa an’anaviy laboratoriya usullaridan farq qiladi. Spektrlar tuproqlarning o‘ziga xos tarkibi minerallar, organik birikmalar kabi xususiyatlarini aniqlaydi. Ushbu ma’lumotlarning barchasi spektrlarda elektromagnit nurlanishning ma’lum to‘lqin uzunliklarida yutilish sifatida ifodalanadi.

Shu munosabat bilan, elektromagnit spektrining ko‘rinadigan, infraqizil va issiqlik qismlarini qamrab oluvchi optik va infraqizil zondlash tuproq atributlari haqida ma’lumot olish uchun yaxshi imkoniyatlarni ko‘rsatdi. Ushbu spektral diapazonda tuproq xususiyatlariga sezgir bo‘lgan uchta hududni quyidagicha aniqlash mumkin:

- 0,4 dan 1 μm gacha bo‘lgan ko‘rinadigan-yaqin infraqizil (VNIR) spektral mintaqada tuproq rangi, temir tarkibi, tuproq suvi va organik moddalar haqida ma’lumot mavjud;

- 1 dan 2,5 μm gacha bo‘lgan masofadan zondlashda qisqa to‘lqinli infraqizil (SWIR) deb ham ataladigan yaqin infraqizil (NIR) fillosilikatlar, ko‘pchilik sorosilikatlar, gidroksidlar, ba’zi sulfatlar, amfibollar, karbonatlar, tuproq suvi va organik moddalar haqida ma’lumotni o‘z ichiga oladi. Bir qator dastgohli va portativ spektrometrlar VNIR va SWIRni birlashtirib, viz-NIR diapazonida 0,4 dan 2,5 μm gacha bo‘lgan spektrlarni taqdim etadi.

- masofadan zondlashda termal infraqizil (TIR) deb ham ataladigan o‘rta infraqizil (o‘rta IQ) 2,5 dan 25 μm gacha, shu jumladan o‘rta (MWIR) va uzun to‘lqinli (LWIR) infraqizil spektral hududlarda (3–5 va 8–14 μm) spektral nurlarini aks ettiradi. Ushbu spektral mintaqada kvarts, dala shpati, silikat minerallari, mafik, gil, karbonat mineral guruhi va organik birikmalar haqida ma’lumotlar mavjud.

Tuproqni tahlil qilish usullari haqida gap ketganda, NIR spektroskopiyasi ishonchli va foydali variant hisoblanib, tuproq namunasiga tushganda yorug‘likning yutilishi yordamida tuproq xususiyatlarini tahlil qilish imkonini beradi. Ushbu asosiy yorug‘likning yutulishi va sinishi tuproqlarni sifati haqida qimmatli ma’lumotlarni beradi.

Tuproqning nurlanishiga ta’sir qiluvchi kimyoviy atributlar tanlangan chastotalarda kimyoviy birikmalar tomonidan radiatsiyani singdirishga asoslangan bo‘lsa-da, tuproq spektrlariga tuproqning fizik xususiyatlari, masalan, zarrachalar hajmi, sirt yuzasiga va tarqaladigan radiatsiya ustun bo‘lgan tuproq suvi ham barcha spektral hududlarida ta’sir qiladi.

Spektrlar yordamida tuproq xossalarini miqdoriy aniqlashning turli usullari taklif qilingan. Masalan, signalning analitik va fizik xususiyatlariga asoslangan usullar va kimyometrikaga asoslangan empirik usullar yaxshi samarali baholash qobiliyatiga ega ekanligi ko‘rsatilgan. Shuning uchun, regressiyalarni kalibrlash uchun dala va laboratoriya ma’lumotlaridan foydalangan holda ishlab chiqish mumkin, bu esa tuproqlarning qaytarilishini tuproq xususiyatlari bilan bog‘lash imkonini beradi. Tuproqlar mineralogiyasi va suv tarkibi bilan o‘ziga xos singdirish xususiyatlari o‘rtasidagi to‘g‘ridan-to‘g‘ri bog‘liqlik, ayniqsa masofaviy zondlashda ko‘proq qo‘llaniladigan usullardir. Biroq, tuproq xossalari bilan aks ettirishning empirik ko‘p o‘zgaruvchan munosabatlaridan foydalanadigan usullar hozirgi kunda ko‘pincha tuproqlarning miqdoriy spektroskopiyasining baholash ko‘proq tuproq atributlari tomon kengaytirishga yordam berish uchun masofadan zondlashda ishlab chiqiladi.

Kimyoviy va fizik xususiyatlarni o‘z ichiga olgan yaqin infraqizil spektroskopiya orqali olinishi mumkin bo‘lgan bir qancha tahlil usullari mavjud. Kimyoviy xususiyatlarni aniqlashda tuproq tarkibining muayyan tarkibiy qismlarini aniqlash uchun spektral ma’lumotlarni o‘zgartirish orqali aniqlash mumkin. Shuningdek, tuproqlarning namlik miqdori kabi ma’lumotlarni olish uchun yorug‘likni aks ettirish bilan tuproq namunasining miqdoriy jihatdan o‘lchash yaqin infraqizil spektroskopiyasi orqali tahlil qilinadi. Tuproq tarkibidagi organik moddalar, tuproqdagi namlik, sho‘rlanish kabi muhim xususiyatlarni aniqlashda ushbu tahlillardan foydalaniladi. Ushbu ma’lumotlar turli xil qishloq xo‘jaligi maqsadlarida tuproq sifatini to‘g‘ri baholash uchun zarurdir.

Yaqin infraqizil aks ettirish tahlilida (NIRA), yaqin infraqizil (0,4-1,0 mikron) mintaqasi elektromagnit spektrlardan foydalaniladi. Shuningdek, VIS-NIR (Infraqizil yaqinida ko‘rinadigan) va SWIR (qisqa to‘lqinli IQ) mintaqasi tuproqlarni tahlil qilish uchun foydalaniladi. Shuningdek, VIS mintaqasida tuproqlarni tahlil qilishda quyidagi xususiyatlar (temir oksidi, gil kabi tuproqdagi minerallar, karbonatlar, tuproqning organik moddalari, o‘simlik hosildorligi va suv miqdori) ni aniqlaydi [2].

Tuproqlarning xususiyatlarini tahlil qilishda spektroskopik uslublarining tartibi quyidagi bosqichlardan iborat:

- ma’lumotlar bazasi: tuproq namunalarini yig‘ish; ushbu namunalarning sof spektral ma’lumotlarini to‘plash laboratoriya sensori yordamida; tuproq atributlarini laboratoriya tahlillari yordamida aniqlash;

- kalibrlash: statistik modellarni aniqlash har ikkala tuproqning har bir atributi bilan spektral ma'lumotlarni korrelyatsiya qilgan, laboratoriya va sun'iy yo‘ldosh sensorlari;

- validatsiya: tuproq atributlarining aniqlangan va taxminiy tarkibini ikkala spektroskopik apparat datchigi tomonidan taqqoslashdan iborat.

Spektroskopik tahlillarda to‘lqin uzunligi ma’lum bo‘lgan diapazonlar uchun uchta tushuncha ishlatiladi. Ular quyidagilar: laboratoriya spektral egri chiziqlaridan: 1) empirik SR egri chizig‘ini ko‘rsatgan tahlil qilingan spektrni kuzatish, qavariq va botiq qismlari barcha spektrlardagi aks ettirish intensivligini ko‘rsatadi;

2) to‘lqin uzunligi ma’lum bo‘lgan diapazonlar ega bo‘lgan to‘g‘ri to‘lqin uzunliklarini tasvirlagan tuproq atributlari (Henderson va boshq., 1992; Madeyra Netto, 1993, 1996; Dematte va Garsiya, 1999; Dematte va Nanni, 2003) kiradi;

3) temir oksidi (481 nm), suv va OH guruhlari (1417) kabi kuchli burilish bilan tavsiflangan to‘lqin uzunliklari (1927 nm), kaolinit (2206 nm) va gibsit (2265 nm) kabilar kiradi.

Spektroskopiya tahlillarining an’anaviy laboratoriya tahlillaridan farqi.

Spektroskopik o‘lchovlar tez, aniq va arzon bo‘lishi bilan boshqa an’anaviy laboratoriya usullaridan farq qiladi. Spektrlar tuproqlarning o‘ziga xos tarkibi minerallar, organik birikmalar kabi xususiyatlarini aniqlaydi. Ushbu ma’lumotlarning barchasi spektrlarda elektromagnit nurlanishning ma’lum to‘lqin uzunliklarida yutilish sifatida ifodalanadi.

Tuproqlarning kimyoviy, biologik mineralogik va fizik xususiyatlarini [3., 4] aniqlashda an’anaviy kimyoviy usullardan foydalanish ko‘p vaqt talab etishi, hamda qimmat bo‘lishi bilan spektroskopik usullardan farq qiladi.

Tuproqlarni tahlil qilishning boshqa laboratoriya usullari bilan solishtirilganda, spektroskopik metodlar tuproqning turli xususiyatlarini tez va oson bashorat qilish qobiliyatiga ega. Shuningdek, yaqin infraqizil yutilish qiymatlariga asoslanib, yorug‘likni o‘ziga xos molekulyar xususiyatlarga ko‘ra o‘lchash mumkinligini ko‘rsatib, bu bir vaqtning o‘zida turli xil tuproq xususiyatlarini tahlil qilish imkonini beradi.

Ko‘pgina tadqiqotlar tuproqning diffuz aks ettirish spektroskopiyasining tezkor va potentsialligini ko‘rsatdi.

Tuproqlarni spektroskopik tahlil qilish eng arzon usuli (Janik va boshq., 1998; McBratney va boshq. 2006; Shepherd va boshq., 2007; Nocita va boshqalar. 2015) ekanligi isbotlangan. Tuproqlarning ko‘plab xususiyatlarini yaqin va o‘rta infraqizil spektrlarga tahlil qilish eng samarali usul hisoblanadi [6].

Tuproq spektrlari tuproqning mineral va organik tarkibini (Soriano-Disla et al. al. 2014, [7]) aniqlashda samarali ekanligi isbotlangan. Biroq, tuproq spektroskopiyasini kengroq o‘zlashtirish uchun asosiy cheklov turli xil tuproq turlari uchun spektral kalibrlash kutubxonalarining etishmasligidir.

Xulosa

Xulosa qilib aytadigan bo‘lsak, so‘nggi o‘ttiz yil ichida tuproq spektroskopiyasi an’anaviy tuproq tahlili usullariga munosib muqobil bo‘lishi mumkin bo‘lgan iqtisodiy va vaqtni tejaydigan, takrorlanuvchan, buzilmaydigan va ekologik xavfsiz usul ekanligini isbotladi. Haqiqatan ham, tuproq spektroskopiyasi raqamli tuproq xaritasi uchun zarur bo‘lgan katta hajmdagi ma’lumotlarni to‘plash uchun ishlatiladi va kelajakdagi global tuproq monitoringi bo‘yicha ko‘plab tadbirlarda yordam sifatida ishlatiladi. Tuproqlarning bir qancha fizik, kimyoviy va mineralogik xususiyatlarini xususiyatlarini aniqlashda spektral tahlillarning samaradorligi va ishonchliligi bilan an’anaviy laboratoriya tahlillaridan farqlanishi isbotlangan. Shuning uchun tuproq xossa-xususiyatlarini tahlil qilishda spektral tahlillardan foydalanish tavsiya etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. Lyons, D., Rayment, G., Hill, R., Daly, B., Marsh, J., Ingram, C., 2011. Aspac soil proficiency testing program report 2007-08. Tech. rep.ASPAC, Melbourne, Victoria (URL http://www.aspac australasia.com/index.php/documents/upload-documents/ doc_download/232-annual-review-soil-07-08

2. Offer Rozenstein, Tarin Paz-Kagan, Christoph Salbach, and Arnon Karnieli, “Comparing the Effect of Preprocessing Transformations on Methods of Land-Use Classification

Derived From Spectral Soil Measurements", IEEE Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing, Vol. 8, No. 6, June 2015, pp. 2393-2404.

3. Henrique Bellinaso, José Alexandre Melo Demattê &Suzana Araújo Romeiro, "Soil Spectral Library And Its Use In Soil Classification", R. Bras. Ci. Solo, 34:861-870, 2010

4. Heng Dong, Chao Chen, Jinliang Wang, Qiming Qin, Hongbo Jiang, Ning Zhang, Mingchao Liu, "Study on quantitative retrieval of soil nutrients", Institute of remote Sensing and Geographic Information System, 978-1-4577-1005-6/11, IEEE, 2011, pp. 3330- 3333

5. K. A. Sudduth, J. W. Hummel. "Portable, near-infrared spectrophotometer for rapid soil analysis". USDA. 185-193, 1993. USDA (2017) World agricultural supply and demand estimates, eco-nomic research service and foreign agricultural service. ISSN: 1554–9089. https ://www.usda.gov/oce/commo dity/wasde /lates t.pdf

6. Nocita, M.; Stevens, A.; Van Wesemael, B.; Aitkenhead, M.; Bachmann, M.; Barthès, B.; Dor, E.B.; Brown, D.J.; Clairotte, M.; Csorba, A.; Dardenne, P.; Demattê, J.A.M.; Genot, V.; Guerrero, C.; Knadel, M.; Montanarella, L.; Noon, C.; Ramirez-Lopez, L.; Robertson, J.; Sakai, H.; Soriano-Disla, J.M.; Shepherd, K.D.; Stenberg, B.; Towett, E.K.; Vargas, R.; Wetterlind, J. 2015. Soil spectroscopy: an alternative to wet chemistry for soil monitoring. Advances in Agronomy 132: 139-159.

7. Soriano-Disla, J.M.; Janik, L.J.; Viscarra Rossel, R.A.; MacDonald, L.M.; McLaughlin, M.J. 2014. The performance of visible, near-, and mid-infrared reflectance spectroscopy for prediction of soil physical, chemical, and biological properties. Applied Spectroscopy Reviews 49: 139-186

8. McDowell, M. L. et al. Modelling soil carbon fractions with visible near-infrared (VNIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopy //Geoderma. – 2015. – T. 239. – C. 229-239.

9. Hewson R. D. et al. Hyperspectral thermal infrared line profiling for mapping surface mineralogy //Presented at the Fifth International Airborne Remote Conference. – 2001. – T. 17. – C. 20.

10. Hunt, G.R. and Salisbury, J.W. (1970) Visible and Near-Infrared Spectra of Minerals and Rocks. I. Silicate Minerals. Modern Geology, 1, 283-300.

11. Baumgardner M. F. et al. Reflectance properties of soils //Advances in agronomy. – 1986. – T. 38. – C. 1-44.