

**TUPROQ ORGANIK MODDA TO'PLANISHINI KUZATISH VA
BAHOLASHDA MODELLARDAN FOYDALANISH**

Shomirzaev Mirzabek

mirzabekshomirzayev998@gmail.com

Mamajonova Malika

mamajonovamalika1302@gmail.com

Panjiyev Elbek

elbekpanjiyev031@gmail.com

Abdurahmonov Abbos

abdurahmonovabbos693@gmail.com

G'ofurov Begzod

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti talabalari

Annotatsiya. Ushbu maqolada tuproq organik moddasining to'planishi, saqlanishi va o'zgarishini kuzatish hamda baholashda matematik, statistik, geoinformatsion va jarayonli modellardan foydalanish masalalari yoritilgan. Tuproq organik moddasi tuproq unumdorligi, strukturasi, namlikni saqlash qobiliyati, mikrobiologik faolligi, oziqa elementlari aylanishi va uglerod muvozanatining asosiy ko'rsatkichlaridan biri hisoblanadi. An'anaviy dala kuzatuvlari va laboratoriya tahlillari organik moddaning joriy holatini aniqlash imkonini bersa-da, uning uzoq muddatli dinamikasini, tuproq qatlamlari bo'yicha taqsimlanishini va agrotexnik tadbirlar ta'sirida qanday o'zgarishini baholash uchun modellashtirish yondashuvlari zarur. Maqolada RothC, CENTURY, DNDC, IPCC yondashuvlari, geostatistik interpolatsiya, masofadan zondlash ma'lumotlari, regressiya modellari va raqamli tuproq xaritalash usullarining ilmiy-amaliy ahamiyati tahlil qilinadi. Shuningdek,

tuproq organik moddasini baholashda model tanlash, ma'lumotlar sifati, mahalliy kalibrlash, monitoring tizimi va bashorat natijalarining ishonchliligi muhim omillar sifatida ko'rib chiqiladi.

Kalit so'zlar: tuproq organik moddasi, gumus, organik uglerod, matematik modellashtirish, RothC modeli, CENTURY modeli, uglerod aylanishi, raqamli tuproq xaritalash, agroekologik monitoring.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы использования математических, статистических, геоинформационных и процессно-ориентированных моделей при наблюдении и оценке накопления органического вещества в почве. Органическое вещество почвы является одним из ключевых показателей плодородия, структуры, водоудерживающей способности, микробиологической активности, круговорота питательных элементов и углеродного баланса. Традиционные полевые наблюдения и лабораторные анализы позволяют определить текущее состояние органического вещества, однако для оценки его долгосрочной динамики, распределения по почвенным слоям и изменения под влиянием агротехнических мероприятий необходимы методы моделирования. В статье анализируется научно-практическое значение моделей RothC, CENTURY, DNDC, подходов IPCC, геостатистической интерполяции, дистанционного зондирования, регрессионных моделей и цифрового картографирования почв.

Ключевые слова: органическое вещество почвы, гумус, органический углерод, математическое моделирование, модель RothC, модель CENTURY, углеродный цикл, цифровое картографирование почв, агроэкологический мониторинг.

Annotation. This article examines the use of mathematical, statistical, geoinformation and process-based models in monitoring and assessing the accumulation of soil organic matter. Soil organic matter is one of the key indicators

of soil fertility, structure, water retention capacity, microbiological activity, nutrient cycling and carbon balance. Traditional field observations and laboratory analyses make it possible to determine the current state of organic matter, but modelling approaches are required to assess its long-term dynamics, distribution across soil layers and changes under the influence of agricultural management practices. The article analyzes the scientific and practical importance of RothC, CENTURY, DNDC, IPCC approaches, geostatistical interpolation, remote sensing data, regression models and digital soil mapping methods.

Keywords: soil organic matter, humus, organic carbon, mathematical modelling, RothC model, CENTURY model, carbon cycling, digital soil mapping, agroecological monitoring.

Kirish

Tuproq organik moddasi tuproqshunoslik, agrokimyo va ekologiya fanlarida eng muhim ko'rsatkichlardan biri sifatida qaraladi. U tuproqning unumdorligini belgilaydi, agregat tuzilishini mustahkamlaydi, suvni ushlab turish qobiliyatini oshiradi, o'simliklar uchun oziqa elementlari manbai bo'lib xizmat qiladi va mikroorganizmlar faoliyati uchun asosiy energetik baza hisoblanadi. Tuproq tarkibida organik moddaning yetarli bo'lishi ekinlarning barqaror o'sishi, tuproqning zichlashishga chidamliligi, eroziyaga qarshiligi va agroekotizimning uzoq muddatli mahsuldorligi uchun zarurdir [1].

Tuproq organik moddasi doimiy holatda turmaydi. U o'simlik qoldiqlari, ildiz massasi, go'ng, kompost va boshqa organik manbalar orqali tuproqqa kiradi, mikroorganizmlar faoliyati natijasida parchalanadi, bir qismi gumusga aylanadi, bir qismi esa karbonat angidrid shaklida atmosferaga qaytadi. Shu sababli tuproq organik moddasini faqat bir martalik laboratoriya tahlili orqali baholash yetarli emas. Uning yillar davomida ko'payishi yoki kamayishi, tuproq qatlamlari bo'yicha joylashuvi,

agrotexnik tadbirlar ta'sirida o'zgarishi va iqlim omillariga javobi muntazam kuzatuv va modellashtirishni talab qiladi [2].

Jahon miqyosida tuproq organik uglerodi iqlim o'zgarishi, oziq-ovqat xavfsizligi va yer resurslaridan barqaror foydalanish bilan bevosita bog'liq muammo sifatida baholanadi. FAO tuproq organik uglerodini saqlash va ko'paytirishni tuproq unumdorligi hamda global uglerod aylanishida muhim omil deb ko'rsatadi [3]. FAOning tuproq organik uglerodi bo'yicha materiallarida ushbu ko'rsatkich qishloq xo'jaligi barqarorligi va iqlim o'zgarishini yumshatish bilan bog'liq asosiy resurs sifatida talqin qilinadi. ([FAOHome](#))

Tuproq organik moddasining to'planishini baholashda modellashtirishning ahamiyati shundaki, model tuproqda sodir bo'layotgan murakkab biologik, kimyoviy va fizik jarayonlarni tizimli ko'rinishga keltiradi. Model yordamida o'simlik qoldiqlarining tuproqqa qaytishi, mineralizatsiya tezligi, gumifikatsiya jarayoni, namlik va harorat ta'siri, haydash chuqurligi, almashlab ekish tizimi, o'g'itlash va sug'orishning organik modda zaxirasiga ta'siri hisoblab chiqiladi. Bu esa tuproqni boshqarish bo'yicha qarorlarni ilmiy asoslash imkonini beradi [4].

Asosiy qism

Tuproq organik moddasini kuzatish va baholashda eng avvalo uning tarkibiy mohiyatini to'g'ri tushunish kerak. Tuproq organik moddasi o'simlik va hayvon qoldiqlari, mikroorganizmlar biomassasi, parchalanish mahsulotlari, gumus birikmalari va turli darajada barqarorlashgan organik fraksiyalar yig'indisidan iborat. Amaliy tuproqshunoslikda ko'pincha "gumus" va "tuproq organik moddasi" tushunchalari bir-biriga yaqin qo'llanadi, lekin ular mutlaq bir xil emas. Gumus organik moddaning nisbatan barqarorlashgan qismi bo'lsa, umumiy organik modda tarkibiga yangi o'simlik qoldiqlari va tez parchalanadigan fraksiyalar ham kiradi [1].

Organik modda to'planishini baholashning an'anaviy yo'li dala namunalari olish va laboratoriya tahlillarini o'tkazishdir. Bunda tuproqning ma'lum

chuqurlikdagi qatlamlaridan namunalar olinadi, organik uglerod yoki gumus miqdori aniqlanadi, keyin natijalar maydon, tuman yoki hudud miqyosida umumlashtiriladi. Ammo bunday yondashuvning kamchiligi shundaki, u vaqt va mablag' talab qiladi, barcha maydonlarni to'liq qamrab olmaydi hamda kelajakdagi o'zgarishlarni bevosita ko'rsatib bera olmaydi. Shuning uchun kuzatuv natijalarini matematik va fazoviy modellar bilan bog'lash zarur bo'ladi [5].

Tuproq organik moddasini modellashtirishda birinchi muhim yo'nalish statistik modellardir. Statistik modellar organik modda miqdori bilan unga ta'sir etuvchi omillar o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlashga xizmat qiladi. Masalan, tuproq organik moddasi miqdori tuproq mexanik tarkibi, namlik, pH, relyef balandligi, o'simlik qoplami, ekin turi, go'ng solish miqdori va haydash tizimi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Bunday holatda regressiya tenglamalari, korrelyatsiya tahlili, dispersiya tahlili va ko'p omilli statistik modellar qo'llanadi [6].

Oddiy regressiya modeli quyidagi umumiy ko'rinishda ifodalanishi mumkin:

$$\text{SOM} = a + bX$$

Bu yerda **SOM** — tuproq organik moddasi miqdori, **X** — ta'sir qiluvchi omil, **a** — doimiy had, **b** — omilning ta'sir koeffitsiyenti. Agar bir nechta omil hisobga olinsa, ko'p omilli regressiya modeli qo'llanadi:

$$\text{SOM} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n$$

Bu model orqali qaysi omil organik modda to'planishiga kuchliroq ta'sir qilayotganini aniqlash mumkin. Masalan, bir hududda organik moddaning kamayishi asosan haydash chuqurligi bilan bog'liq bo'lsa, boshqa hududda bu jarayon sug'orish rejimi yoki o'simlik qoldiqlarining tuproqqa qaytarilmasligi bilan bog'liq bo'lishi mumkin.

Ikkinchi muhim yo'nalish geostatistik modellashtirishdir. Tuproq organik moddasi hudud bo'yicha bir xil taqsimlanmaydi. Relyef, suv rejimi, yerdan foydalanish tarixi, o'g'itlash me'yori va tuproq tipi farqlari sababli bir maydonning

o'zida ham organik modda miqdori turlicha bo'ladi. Geostatistik usullar, ayniqsa variogramma va kriging, ana shu fazoviy farqlarni xarita ko'rinishida ifodalash imkonini beradi [7]. Kriging usuli yordamida namuna olinmagan nuqtalardagi organik modda miqdorini taxmin qilish, taxmin xatosini baholash va monitoring tarmog'ini optimallashtirish mumkin.

Uchinchi yo'nalish raqamli tuproq xaritalashdir. Raqamli tuproq xaritalash organik modda miqdorini dala namunalari, laboratoriya natijalari, sun'iy yo'ldosh tasvirlari, relyef modeli, iqlim ko'rsatkichlari va yer qoplami ma'lumotlari asosida baholaydi. McBratney va hammualliflar tomonidan ishlab chiqilgan raqamli tuproq xaritalash yondashuvi tuproq xossalari muhit omillari bilan bog'lab, fazoviy bashorat qilishga asoslanadi [8]. Bu yondashuvda tuproq organik moddasi alohida nuqtalardagi o'lchov sifatida emas, balki butun hudud bo'yicha uzluksiz xarita ko'rinishida tasvirlanadi.

To'rtinchi yo'nalish jarayonli modellar hisoblanadi. Statistik model odatda mavjud ma'lumotlar orasidagi bog'liqlikni ko'rsatsa, jarayonli model tuproq ichida sodir bo'layotgan biologik va kimyoviy jarayonlarni ifodalaydi. Masalan, organik qoldiq tuproqqa tushgandan so'ng uning bir qismi tez parchalanadi, bir qismi mikroorganizmlar biomassasiga aylanadi, bir qismi esa barqaror gumus fraksiyasi tarkibiga kiradi. Bu jarayonlar harorat, namlik, tuproqning loy fraksiyasi, kislorod rejimi va agrotexnik tadbirlarga bog'liq [9].

RothC modeli tuproq organik uglerodining aylanishini baholashda eng ko'p qo'llanadigan modellardan biridir. Ushbu model asosan suv bosmagan yuqori tuproq qatlamlarida organik uglerod aylanishini hisoblash uchun ishlab chiqilgan. RothC modelida tuproq organik uglerodi parchalanadigan o'simlik material, chidamli o'simlik material, mikrobiologik biomassa, gumuslashgan organik modda va inert organik modda kabi fraksiyalarga ajratiladi [10]. RothC modelida tuproq turi, harorat,

namlik, o'simlik qoplami va organik qoldiqlar kirimi kabi omillar hisobga olinadi. ([Springer Nature Link](#))

CENTURY modeli esa tuproq organik moddasining uzoq muddatli dinamikasini, ayniqsa uglerod, azot, fosfor va oltingugurt aylanishini baholashda qo'llanadi. Ushbu model o'tloq, ekin maydoni, o'rmon va savanna tizimlarida organik modda almashinuvini modellashtirish imkonini beradi [11]. CENTURY modeli turli ekotizimlarda C, N, P va S dinamikasini simulyatsiya qilishi bilan RothC modeliga nisbatan kengroq biogeokimyoviy qamrovga ega. ([Springer Nature Link](#))

Beshinchi yo'nalish DNDC kabi agroekologik modellar bilan bog'liq. DNDC modeli tuproqdagi uglerod va azot aylanishi, issiqxona gazlari ajralishi, namlik va harorat sharoitlari, agrotexnik boshqaruv tadbirlarini hisobga oladi. Bunday modellar tuproq organik moddasining faqat miqdorini emas, balki uning ekologik oqibatlarini ham baholashga yordam beradi. Masalan, organik moddaning tez parchalanishi karbonat angidrid ajralishini kuchaytirishi, azot aylanishidagi o'zgarishlar esa N₂O emissiyasi bilan bog'liq bo'lishi mumkin [12].

Oltinchi yo'nalish IPCC metodologiyasiga asoslangan baholashlardir. IPCC yondashuvida tuproq organik uglerodi zaxiralarining o'zgarishi yer foydalanish turi, boshqaruv amaliyotlari, iqlim hududi va tuproq tipi asosida hisoblanadi. IPCC 2019 Refinement hujjatlarida tuproq uglerod zaxiralarini baholashda turli darajadagi yondashuvlar, jumladan Tier 1, Tier 2 va Tier 3 metodlari ko'rsatilgan [13]. Tier 3 yondashuvi odatda murakkab modellar va milliy monitoring ma'lumotlaridan foydalanishni talab qiladi. IPCC 2019 Refinement hujjati milliy issiqxona gazlari inventarizatsiyasi uchun qishloq xo'jaligi, o'rmon va boshqa yer foydalanish toifalarida uglerod zaxirasi o'zgarishini baholashga doir uslubiy asos beradi. (ipcc-nggip.iges.or.jp)

Tuproq organik moddasini modellashtirishda kirish ma'lumotlari alohida ahamiyatga ega. Modelga kiritiladigan asosiy ma'lumotlar quyidagilardan iborat:

tuproq organik uglerodi yoki gumus miqdori, tuproq zichligi, namuna olingan qatlam chuqurligi, mexanik tarkib, iqlim ma'lumotlari, yog'in, harorat, bug'lanish, ekin turi, hosil qoldiqlari miqdori, o'g'itlash me'yori, sug'orish rejimi va yerga ishlov berish usuli. Ushbu ma'lumotlar aniq bo'lmasa, model natijasi ham ishonchli bo'lmaydi [4].

Quyidagi jadval tuproq organik moddasini baholashda qo'llanadigan asosiy model va usullarni umumlashtiradi:

Model yoki usul	Asosiy vazifasi	Amaliy ahamiyati
Regressiya modeli	Organik modda bilan ta'sir qiluvchi omillar bog'liqligini aniqlash	Tuproq unumdorligiga eng kuchli ta'sir qiluvchi omillarni topish
Kriging va geostatistika	Organik moddaning hudud bo'yicha tarqalishini baholash	Organik modda xaritasini tuzish va namuna olinmagan joylarni taxmin qilish
Raqamli tuproq xaritalash	Dala, laboratoriya, GIS va masofadan zondlash ma'lumotlarini birlashtirish	Organik modda zaxirasini hududiy kesimda baholash
RothC modeli	Tuproq organik uglerodining fraksiyalar bo'yicha aylanishini hisoblash	Qisqa va o'rta muddatli uglerod dinamikasini bashorat qilish
CENTURY modeli	C, N, P va S aylanishini uzoq muddatli baholash	Ekin, o'tloq va o'rmon tizimlarida organik modda o'zgarishini tahlil qilish
DNDC modeli	Uglerod-azot aylanishi va gaz emissiyalarini baholash	Agroekologik boshqaruvning ekologik oqibatlarini aniqlash
IPCC Tier yondashuvlari	Uglerod zaxirasi o'zgarishini inventarizatsiya qilish	Milliy va hududiy hisobotlar uchun uglerod balansini

Model yoki usul

Asosiy vazifasi

Amaliy ahamiyati

hisoblash

Organik modda to'planishini kuzatishda masofadan zondlash texnologiyalari ham muhim o'rin tutadi. Sun'iy yo'ldosh tasvirlari yordamida o'simlik qoplami, biomassa, namlik, yer qoplami o'zgarishi va vegetatsiya indeksleri aniqlanadi. Bu ko'rsatkichlar bevosita organik modda miqdorini o'lchamaydi, ammo organik modda shakllanishiga ta'sir qiluvchi omillarni baholashga yordam beradi. Masalan, NDVI indeksi yuqori bo'lgan maydonlarda odatda o'simlik biomassasi ko'proq bo'ladi, bu esa tuproqqa qaytadigan organik qoldiqlar hajmiga ta'sir qiladi [8].

Tuproq organik moddasining to'planishi qishloq xo'jaligi boshqaruviga kuchli bog'liq. Doimiy chuqur haydash, o'simlik qoldiqlarini maydondan olib chiqib ketish, mineral o'g'itlardan bir tomonlama foydalanish, organik o'g'itlarni kam qo'llash va monokultura organik moddaning kamayishiga olib kelishi mumkin. Aksincha, almashlab ekish, dukkakli ekinlar, sideratlar, minimal ishlov berish, go'ng va kompost qo'llash, qoplovchi ekinlar va agroo'rmonchilik tizimlari organik modda to'planishini kuchaytiradi [2].

Modellar shu jarayonlarning qaysi biri samaraliroq ekanini solishtirish imkonini beradi. Masalan, bir model ssenariysida o'simlik qoldiqlari maydonda qoldiriladi, ikkinchi ssenariyda ular olib chiqiladi, uchinchi ssenariyda esa qo'shimcha organik o'g'it beriladi. Natijada 10–20 yil davomida tuproq organik moddasi qanday o'zgarishi oldindan baholanadi. Bu fermer xo'jaliklari, melioratsiya xizmatlari va ilmiy tashkilotlar uchun muhim qaror qabul qilish vositasidir.

Biroq modellashtirishda bir nechta xavfli xatolar mavjud. Birinchidan, boshqa mamlakat yoki boshqa iqlim sharoiti uchun yaratilgan modelni mahalliy sharoitga tekshirmasdan qo'llash noto'g'ri natija beradi. Ikkinchidan, faqat bitta yil ma'lumotiga asoslanib uzoq muddatli xulosa chiqarish ilmiy jihatdan zaif hisoblanadi. Uchinchidan, tuproq organik moddasining umumiy miqdorini bilish yetarli emas;

uning faol, sekin parchalanadigan va barqaror fraksiyalarini ham farqlash zarur. To'rtinchidan, organik modda foizini uglerod zaxirasi bilan adashtirmaslik kerak. Uglerod zaxirasini hisoblash uchun organik uglerod miqdori, tuproq zichligi, qatlam chuqurligi va toshlilik kabi ko'rsatkichlar ham kerak bo'ladi [13].

Tuproq organik uglerod zaxirasi odatda quyidagi umumiy ifoda asosida hisoblanadi:

$$\text{SOC zaxirasi} = C \times \text{BD} \times D \times A$$

Bu yerda **C** — tuproqdagi organik uglerod ulushi, **BD** — tuproq zichligi, **D** — hisoblanayotgan qatlam chuqurligi, **A** — maydon birligi. Amaliy hisob-kitoblarda birliklar moslashtiriladi va natija odatda t/ga yoki Mg/ha ko'rinishida ifodalanadi. Bu formula organik modda monitoringida juda muhim, chunki foiz ko'rsatkichining o'zi tuproqdagi haqiqiy uglerod zaxirasini to'liq ko'rsatmaydi.

Organik modda to'planishini baholashda monitoring tizimi uzluksiz bo'lishi kerak. Bir martalik tahlil tuproqning hozirgi holatini bildiradi, lekin jarayonning yo'nalishini ko'rsatmaydi. Shuning uchun namunalar bir xil maydonlardan, bir xil chuqurlikdan, bir xil mavsumda va bir xil laboratoriya usuli bilan muntazam olinishi zarur. Aks holda model natijalari laboratoriya usuli yoki namuna olishdagi farqlar sababli noto'g'ri talqin qilinishi mumkin [5].

Model natijalarini amaliyotga joriy etish uchun ularni xarita, jadval, grafik va ssenariy ko'rinishida ifodalash maqsadga muvofiq. Masalan, "organik modda kamayish xavfi yuqori hududlar", "uglerod zaxirasi barqaror hududlar", "organik o'g'itga ehtiyoj yuqori maydonlar" kabi xaritalar qishloq xo'jaligi boshqaruvida katta yordam beradi. Bunday xaritalar fermerlarga qaysi maydonga ko'proq organik o'g'it berish, qaysi joyda qoplovchi ekin ekish yoki qaysi yerda haydashni kamaytirish kerakligini ko'rsatadi.

Xulosa

Tuproq organik moddasining to'planishini kuzatish va baholashda modellardan foydalanish zamonaviy tuproqshunoslikning muhim ilmiy-amaliy yo'nalishidir. Organik modda tuproq unumdorligi, ekologik barqarorlik, oziqa elementlari aylanishi, suvni saqlash qobiliyati va uglerod balansining asosiy ko'rsatkichlaridan biri hisoblanadi. Uni faqat laboratoriya tahlili orqali baholash yetarli emas, chunki organik modda doimiy o'zgaruvchi va ko'p omilli jarayondir.

Matematik, statistik, geostatistik va jarayonli modellar organik modda dinamikasini chuqurroq tushunish imkonini beradi. Regressiya modellari organik modda bilan muhit omillari o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlaydi. Kriging va raqamli tuproq xaritalash usullari organik moddaning hududiy tarqalishini xaritalashga yordam beradi. RothC, CENTURY va DNDC kabi jarayonli modellar esa organik qoldiqlarning parchalanishi, gumus hosil bo'lishi, uglerod-azot aylanishi va agrotexnik tadbirlar ta'sirini baholash imkonini beradi. IPCC yondashuvlari esa uglerod zaxiralarini milliy va hududiy darajada hisoblash uchun metodik asos yaratadi.

Shu bilan birga, modellashtirishdan foydalanishda ehtiyotkorlik zarur. Model natijasi ma'lumotlar sifati, namuna olish aniqligi, laboratoriya usuli, mahalliy tuproq-iqlim sharoiti va model kalibrlash darajasiga bog'liq. Mahalliy sharoitga moslashtirilmagan model noto'g'ri xulosalarga olib kelishi mumkin. Shuning uchun tuproq organik moddasini baholashda modellar dala kuzatuvlari, laboratoriya tahlillari, GIS texnologiyalari va uzoq muddatli monitoring bilan birgalikda qo'llanishi kerak.

Umuman olganda, tuproq organik moddasini modellashtirish yer resurslarini oqilona boshqarish, tuproq unumdorligini tiklash, qishloq xo'jaligi barqarorligini oshirish va iqlim o'zgarishiga moslashishda muhim vosita hisoblanadi. Kelajakda ushbu yo'nalishda sun'iy intellekt, dron monitoringi, katta ma'lumotlar bazasi, avtomatik sensorlar va raqamli agroplatformalardan foydalanish yanada kengayadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1] Stevenson F.J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. New York: John Wiley & Sons, 1994.
- [2] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security // *Science*. 2004. Vol. 304. No. 5677. P. 1623–1627.
- [3] FAO. Soil Organic Carbon: The Hidden Potential. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.
- [4] Jenny H. Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology. New York: McGraw-Hill, 1941.
- [5] Smith P., Smith J.U., Powlson D.S., McGill W.B., Arah J.R.M., Chertov O.G., Coleman K., Franko U., Frolking S., Jenkinson D.S., Jensen L.S., Kelly R.H., Klein-Gunnewiek H., Komarov A.S., Li C., Molina J.A.E., Mueller T., Parton W.J., Thornley J.H.M., Whitmore A.P. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments // *Geoderma*. 1997. Vol. 81. P. 153–225.
- [6] Webster R., Oliver M.A. Geostatistics for Environmental Scientists. Chichester: John Wiley & Sons, 2007.
- [7] Goovaerts P. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. New York: Oxford University Press, 1997.
- [8] McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., Minasny B. On digital soil mapping // *Geoderma*. 2003. Vol. 117. Issues 1–2. P. 3–52.
- [9] Hillel D. Environmental Soil Physics. San Diego: Academic Press, 1998.
- [10] Coleman K., Jenkinson D.S. RothC-26.3 — A model for the turnover of carbon in soil // *Evaluation of Soil Organic Matter Models*. Berlin: Springer, 1996. P. 237–246.

[11] Parton W.J., Schimel D.S., Cole C.V., Ojima D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands // Soil Science Society of America Journal. 1987. Vol. 51. P. 1173–1179.

[12] Li C. Modeling trace gas emissions from agricultural ecosystems // Nutrient Cycling in Agroecosystems. 2000. Vol. 58. P. 259–276.

[13] IPCC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019.

[14] Minasny B., McBratney A.B. Digital soil mapping: A brief history and some lessons // Geoderma. 2016. Vol. 264. P. 301–311.