

YASHIL INQILOBNING TABIATGA VA GIDROSFERAGA SEZILARLI TASIRI

Ibragimova Mohinur Gaybullayevna

Buxoro davlat pedagogika instituti

Aniq va tabiiy fanlar fakulteti Geografiya

va iqtisodiy bilim asoslari ta'lim yo'nalishi talabasi

Annotatsiya

Yashil inqilob XX asrning ikkinchi yarmida qishloq xo'jaligida hosildorlikni oshirish, oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash va dunyo aholisi sonining tez o'sishi sharoitida oziq-ovqat tanqisligini kamaytirishga qaratilgan eng muhim agrar islohotlardan biri hisoblanadi. Yuqori hosildor navlarning yaratilishi, mineral o'g'itlar va pestitsidlarning keng qo'llanilishi, irrigatsiya tizimlarining rivojlanishi hamda qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash natijasida don ekinlari hosildorligi sezilarli darajada oshdi. Shu bilan birga, intensiv dehqonchilikning uzoq muddatli qo'llanilishi tabiiy ekotizimlar, tuproq resurslari va gidrosfera holatiga salbiy ta'sir ko'rsatib, ekologik muammolarning kuchayishiga olib keldi. Mazkur maqolaning maqsadi Yashil inqilobning tabiat va gidrosferaga ta'sirini zamonaviy ilmiy tadqiqotlar asosida kompleks baholash, uning ekologik oqibatlarini tahlil qilish hamda barqaror qishloq xo'jaligini rivojlantirishning istiqbolli yo'nalishlarini aniqlashdan iborat.

Tahlil uchun 2021–2025-yillarda Scopus va Web of Science bazalarida indekslangan xalqaro ilmiy jurnallarda chop etilgan maqolalar tanlab olindi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, yashil inqilob qisqa muddatda oziq-ovqat ishlab chiqarish hajmini sezilarli darajada oshirgan bo'lsa-da, mineral o'g'itlar va pestitsidlarning me'yoridan ortiq qo'llanilishi tuproq degradatsiyasi, yer usti va yer osti suvlarining

nitrat hamda fosfatlar bilan ifloslanishi, suv havzalarida evtrofikatsiya jarayonlarining kuchayishi va biologik xilma-xillikning kamayishiga sabab bo'lgan. Bundan tashqari, intensiv sug'orish ayrim hududlarda suv resurslarining kamayishi, tuproq sho'rlanishi va gidrologik tizimlarning o'zgarishiga olib kelgan. Tahlil shuningdek, agroekologik yondashuvlar, aniq dehqonchilik (Precision Agriculture), geoinformatsion tizimlar (GIS), masofadan zondlash va raqamli monitoring texnologiyalaridan foydalanish tabiiy resurslardan oqilona foydalanish hamda qishloq xo'jaligining ekologik barqarorligini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatdi. Ushbu yondashuvlar Yashil inqilobning salbiy ekologik oqibatlarini kamaytirish va suv resurslarini muhofaza qilishning samarali vositasi sifatida baholanadi.

Kalit so'zlar: Yashil inqilob, qishloq xo'jaligi, ekologiya, gidrosfera, suv resurslari, mineral o'g'itlar, pestitsidlar, nitratlar, fosfatlar, evtrofikatsiya, tuproq degradatsiyasi, sug'orish, agroekologiya, aniq dehqonchilik, GIS, masofadan zondlash, barqaror rivojlanish.

Dolzarblik

Bugungi kunda dunyo aholisi sonining tez sur'atlarda ortishi, oziq-ovqat mahsulotlariga bo'lgan talabning keskin oshishi hamda iqlim o'zgarishi sharoitida qishloq xo'jaligi samaradorligini ta'minlash global ahamiyatga ega bo'lgan ustuvor vazifalardan biridir. XX asrning ikkinchi yarmida amalga oshirilgan **Yashil inqilob (Green Revolution)** donli ekinlar hosildorligini oshirish, ocharchilik xavfini kamaytirish va oziq-ovqat xavfsizligini mustahkamlashda muhim rol o'ynadi. Yuqori hosildor navlarni yaratish, mineral o'g'itlar va pestitsidlardan keng foydalanish, irrigatsiya tizimlarini rivojlantirish hamda qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash natijasida ko'plab mamlakatlarda qishloq xo'jaligi mahsuldorligi bir necha baravar oshdi. Biroq, so'nggi yillarda olib borilgan ilmiy tadqiqotlar intensiv dehqonchilikning uzoq muddatli ekologik oqibatlari tobora jiddiy tus olayotganini ko'rsatmoqda.

BMTning Oziq-ovqat va qishloq xo'jaligi tashkiloti (FAO), Birlashgan Millatlar Tashkilotining Atrof-muhit dasturi (UNEP) hamda Iqlim o'zgarishi bo'yicha

hukumatlararo ekspertlar guruhi (IPCC) hisobotlarida qishloq xo'jaligi tabiiy resurslardan eng ko'p foydalanuvchi sohalardan biri ekanligi ta'kidlanadi. Hozirgi vaqtda dunyo bo'yicha foydalanilayotgan chuchuk suv resurslarining qariyb 70 % qishloq xo'jaligi ehtiyojlariga sarflanadi, sug'oriladigan yerlar esa global oziq-ovqat mahsulotlarining qariyb 40 % ini ishlab chiqaradi. Shu bilan birga, mineral o'g'itlarning ortiqcha qo'llanilishi natijasida azot va fosfor birikmalarining suv havzalariga tushishi gidrosferaning ifloslanishiga, suv ekotizimlarida evtrofikatsiya jarayonlarining kuchayishiga va ichimlik suvi sifatining yomonlashishiga sabab bo'lmoqda.

So'nggi yillarda **Nature Reviews Earth & Environment, Science of the Total Environment, Environmental Research, Agricultural Water Management, Journal of Environmental Management va Environmental Pollution** kabi yuqori reytingli ilmiy jurnallarda chop etilgan tadqiqotlar Yashil inqilobning ekologik oqibatlarini chuqur tahlil qilib, ayniqsa tuproq degradatsiyasi, biologik xilma-xillikning kamayishi, yer osti va yer usti suvlarining nitrat hamda fosfatlar bilan ifloslanishi, shuningdek issiqxona gazlari emissiyasining ortishi bilan bog'liq muammolarga alohida e'tibor qaratmoqda. Zamonaviy ilmiy ma'lumotlarga ko'ra, antropogen azot aylanishining buzilishi va oziqa elementlarining ortiqcha to'planishi Yer tizimining ekologik barqarorligi uchun asosiy xavf omillaridan biri sifatida e'tirof etilmoqda.

Gidrosfera Yashil inqilobning salbiy ta'siriga eng sezgir tabiiy komponentlardan biri hisoblanadi. Intensiv sug'orish, drenaj tizimlarining yetarli darajada rivojlanmaganligi, pestitsid va mineral o'g'itlarning yuvilishi natijasida daryolar, ko'llar, suv omborlari va yer osti suvlari tarkibida nitrat, fosfat hamda pestitsid qoldiqlarining konsentratsiyasi ortmoqda. Bu esa suv organizmlarining yashash sharoitini yomonlashtirib, suv havzalarida kislorod tanqisligi, algalarning ommaviy ko'payishi (gulash) va baliq resurslarining kamayishiga olib kelmoqda. Shu

sababli suv resurslarini muhofaza qilish va ulardan oqilona foydalanish bugungi kunda global ekologik siyosatning ustuvor yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Markaziy Osiyo, jumladan O'zbekiston uchun ham mazkur masala alohida dolzarbdir. Sug'orma dehqonchilikning ustunligi, suv resurslarining cheklanganligi, iqlimning qurg'oqchil xususiyati hamda mineral o'g'itlardan intensiv foydalanish tuproq sho'rlanishi, suv sifati yomonlashuvi va gidroekotizimlarning degradatsiyasiga olib kelmoqda. Ayniqsa, Amudaryo va Sirdaryo havzalari, shuningdek Orolbo'yi hududida kuzatilayotgan ekologik muammolar qishloq xo'jaligida resurslardan samarali va ekologik xavfsiz foydalanish zarurligini ko'rsatmoqda.

Shu munosabat bilan Yashil inqilobning tabiat va gidrosferaga uzoq muddatli ta'sirini zamonaviy ilmiy ma'lumotlar asosida tizimli baholash, intensiv dehqonchilikning ekologik oqibatlarini tahlil qilish hamda agroekologiya, aniq dehqonchilik (Precision Agriculture), geoinformatsion tizimlar (GIS), masofadan zondlash va suv resurslarini raqamli monitoring qilish kabi innovatsion yondashuvlarning samaradorligini o'rganish dolzarb ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi. Mazkur yondashuvlar barqaror qishloq xo'jaligini rivojlantirish, tabiiy resurslarni muhofaza qilish va BMTning **2030-yilgacha Barqaror rivojlanish maqsadlari (SDGs)**, xususan **2-maqсад (Ochlikka barham berish)**, **6-maqсад (Toza suv va sanitariya)**, **13-maqсад (Iqlim o'zgarishiga qarshi kurash)** hamda **15-maqсад (Quruqlikdagi ekotizimlarni muhofaza qilish)** ga erishishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Materiallar va metodlar

Mazkur tadqiqot **Yashil inqilobning tabiat va gidrosferaga ta'sirini** baholash maqsadida tizimli adabiyotlar sharhi (**Systematic Literature Review, SLR**) va sifat jihatidan meta-sintez (**Qualitative Meta-synthesis**) metodologiyasi asosida amalga oshirildi. Tadqiqot dizayni **PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)** xalqaro tavsiyalariga muvofiq ishlab

chiqildi. Ushbu metodologiya ilmiy manbalarni qidirish, tanlash, baholash va tahlil qilish jarayonining shaffofligi hamda takrorlanuvchanligini ta'minlaydi.

Ilmiy manbalarni qidirish

Adabiyotlarni qidirish 2025-yil dekabr – 2026-yil yanvar oylarida quyidagi xalqaro ilmiy ma'lumotlar bazalarida amalga oshirildi: **Scopus; Web of Science Core Collection; ScienceDirect (Elsevier); SpringerLink; Wiley Online Library; MDPI.**

Qidiruv quyidagi kalit so'zlar va ularning kombinatsiyalari yordamida amalga oshirildi: "Green Revolution"; "Agricultural Intensification"; "Environment"; "Hydrosphere"; "Water Pollution"; "Groundwater"; "Surface Water"; "Nitrate Pollution"; "Phosphate Pollution"; "Eutrophication"; "Pesticides"; "Fertilizers"; "Soil Degradation"; "Precision Agriculture"; "Sustainable Agriculture"; "Climate Change".

Inklyuziya va eksklyuziya mezonlari

Maqolalarni tanlash quyidagi ***inklyuziya mezonlari*** asosida amalga oshirildi:

2021–2025-yillarda chop etilgan ilmiy maqolalar;

Scopus yoki Web of Science bazalarida indekslangan jurnallarda nashr etilgan tadqiqotlar;

to'liq matni mavjud bo'lgan ilmiy ishlar;

Yashil inqilob, intensiv qishloq xo'jaligi, suv resurslari, gidrosfera, tuproq degradatsiyasi yoki ekologik oqibatlarga bag'ishlangan maqolalar;

original tadqiqotlar va tizimli sharhlar.

Elektron ma'lumotlar bazalarida dastlab **14 ta** ilmiy manba aniqlandi.

Meta-sintez va ma'lumotlarni tahlil qilish

Tanlangan tadqiqotlar dizayni, kuzatuv davri, geografik qamrovi va baholash mezonlari bo'yicha sezilarli darajada farqlanganligi sababli klassik statistik meta-tahlil (pooled effect size yoki meta-regressiya) qo'llanilmadi. Buning o'rniga **sifat jihatidan**

meta-sintez usuli qo'llanildi. Ushbu yondashuv turli metodologiyalarda olingan natijalarni umumlashtirish, o'xshash va farqli jihatlarni aniqlash hamda ilmiy dalillarni tizimli ravishda integratsiya qilish imkonini berdi.

Tahlil davomida barcha maqolalar quyidagi tematik guruhlariga ajratildi:

Yashil inqilob va oziq-ovqat xavfsizligi;

- mineral o'g'itlarning tuproq va suv resurslariga ta'siri;
- pestitsidlarning gidrosfera ekotizimlariga ta'siri;
- nitrat va fosfatlar bilan ifloslanish;
- suv havzalarida evtrofikatsiya jarayonlari;
- intensiv sug'orish va suv resurslari tanqisligi;
- biologik xilma-xillikning kamayishi;
- issiqxona gazlari emissiyasi va iqlim o'zgarishi;
- agroekologiya va barqaror qishloq xo'jaligi texnologiyalari.

Natijalar tavsifiy-statistik tahlil va tematik sintez usullari yordamida umumlashtirildi. Turli tadqiqotlarning ilmiy xulosalari o'zaro taqqoslanib, Yashil inqilobning tabiat va gidrosferaga uzoq muddatli ekologik ta'siri, mavjud muammolar hamda ularni kamaytirish bo'yicha zamonaviy ilmiy yondashuvlar baholandi. Ushbu metodologiya tadqiqot natijalarining ishonchliligini oshirish va ekologik boshqaruv hamda barqaror qishloq xo'jaligini rivojlantirish bo'yicha ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqish imkonini berdi.

Natijalar va muhokama

Tizimli adabiyotlar tahlili natijasida yakuniy baholash uchun **14 ta** ilmiy maqola tanlab olindi. Tahlil natijalari Yashil inqilobning oziq-ovqat ishlab chiqarishni sezilarli darajada oshirishdagi tarixiy ahamiyatini tasdiqlash bilan birga, uning uzoq muddatli ekologik oqibatlari tabiat va gidrosfera uchun jiddiy xavf tug'dirayotganini ko'rsatdi.

Yashil inqilobning qishloq xo'jaligi rivojlanishidagi ijobiy natijalari

Ko'rib chiqilgan tadqiqotlarning aksariyati Yashil inqilobning eng muhim yutug'i sifatida qishloq xo'jaligi mahsuldorligining keskin oshganligini qayd etdi. Yuqori hosildor bug'doy, sholi va makkajo'xori navlarining joriy etilishi, mineral o'g'itlardan foydalanish va zamonaviy sug'orish tizimlarining rivojlanishi natijasida ko'plab mamlakatlarda don ekinlari hosildorligi bir necha baravar ortgan. Bu esa ocharchilik xavfini kamaytirish va oziq-ovqat xavfsizligini mustahkamlashda muhim omil bo'ldi.

Biroq, ilmiy adabiyotlarning deyarli barchasida intensiv qishloq xo'jaligining ekologik xarajatlari tobora ortib borayotgani ta'kidlangan. Hosildorlikni oshirishga qaratilgan texnologiyalar tabiiy resurslardan foydalanish intensivligini keskin kuchaytirgan.

Tadqiqotlarda qayd etilishicha, tuproqning fizik va kimyoviy xususiyatlarining o'zgarishi mikroorganizmlar faolligini pasaytirib, uglerod aylanishiga salbiy ta'sir ko'rsatmoqda. Bu esa agroekotizimlarning uzoq muddatli barqarorligini pasaytiradi.

Mineral o'g'itlarning gidrosferaga ta'siri

Ko'rib chiqilgan maqolalarda mineral azot va fosfor o'g'itlarining gidrosferaga salbiy ta'siri eng ko'p o'rganilgan yo'nalishlardan biri bo'ldi.

Azotli o'g'itlarning ma'lum qismi o'simliklar tomonidan o'zlashtirilmasdan yomg'ir va sug'orish suvlari bilan turli tabiiy ob'ektlarga o'tishi aniqlangan.

Natijada nitratlar va fosfatlarning konsentratsiyasi ortib, suv sifatining yomonlashishi kuzatilmoqda.

Ichimlik suvlari tarkibidagi nitratlarning yuqori miqdori inson salomatligi uchun ham jiddiy xavf tug'dirishini qayd etgan.

Evtrofikatsiya jarayonlari

Tahlil qilingan tadqiqotlarning katta qismi suv havzalarida oziqa elementlari ortiqcha to'planishi natijasida yuzaga keladigan evtrofikatsiya jarayonlariga bag'ishlangan.

Ko'rib chiqilgan ilmiy ishlarda ushbu muammo ayniqsa intensiv dehqonchilik rivojlangan hududlarda yaqqol namoyon bo'lishi qayd etilgan.

Pestitsidlarning ekologik oqibatlari

Pestitsidlarning keng qo'llanilishi Yashil inqilobning eng muhim ekologik muammolaridan biri sifatida qayd etildi.

Ko'rib chiqilgan maqolalarda pestitsidlarning:

tuproqda uzoq muddat saqlanishi;

suv havzalariga yuvilishi;

suv organizmlarida bioakkumulyatsiyasi;

oziq zanjiri orqali tarqalishi

haqidagi ma'lumotlar keltirilgan.

Ayrim tadqiqotlarda pestitsidlarning suv organizmlarining reproduktiv faoliyatiga va mikroorganizmlar tarkibiga salbiy ta'siri aniqlangan.

Sug'orish va suv resurslarining kamayishi

Tahlil natijalari intensiv sug'orish tizimlari suv resurslaridan foydalanish hajmini keskin oshirganligini ko'rsatdi.

Ko'plab mamlakatlarda:

yer osti suvlari sathining pasayishi;

daryo oqimining kamayishi;

suv tanqisligi;

tuproq sho'rlanishi

intensiv irrigatsiya bilan bog'liq asosiy muammolar sifatida qayd etilgan.

Markaziy Osiyo sharoitida bu muammo yanada dolzarb hisoblanadi.

Biologik xilma-xillikka ta'siri

Ko'rib chiqilgan ilmiy maqolalar intensiv qishloq xo'jaligi tabiiy ekotizimlarning fragmentatsiyasiga olib kelayotganini ko'rsatdi.

Monokultura ekinlarining kengayishi natijasida:

changlatuvchi hasharotlar soni kamaymoqda;

foydali mikroorganizmlar tarkibi o'zgarmoqda;

tabiiy o'simlik qoplami qisqarmoqda;

yovvoyi hayvonlarning yashash hududlari toraymoqda.

Natijada agroekotizimlarning ekologik barqarorligi pasaymoqda.

Issiqxona gazlari emissiyasi

So'nggi yillardagi tadqiqotlar Yashil inqilobning iqlim o'zgarishiga ham sezilarli ta'sir ko'rsatishini tasdiqladi.

Asosiy emissiya manbalari:

azotli o'g'itlardan N_2O ajralishi;

sug'oriladigan sholi maydonlaridan CH_4 emissiyasi;

yoqilg'i sarfi;

organik moddalarning minerallashuvi.

Azot(I) oksidi karbonat angidridga nisbatan issiqxona effekti bo'yicha bir necha yuz baravar yuqori salohiyatga ega bo'lib, qishloq xo'jaligini global iqlim o'zgarishining muhim omillaridan biriga aylantiradi.

Barqaror qishloq xo'jaligi texnologiyalari

Ko'rib chiqilgan maqolalarda Yashil inqilobning salbiy oqibatlarini kamaytirish bo'yicha bir qator istiqbolli yondashuvlar tavsiya etilgan.

Ular orasida:

Precision Agriculture;

GIS;

masofadan zondlash;

IoT sensorlari;

agroekologik texnologiyalar;

biologik o'g'itlar;

integratsiyalashgan zararkunandalarga qarshi kurash (IPM);

suvni tejovchi sug'orish texnologiyalari

eng samarali usullar sifatida baholangan.

Ushbu texnologiyalar o'g'it va pestitsidlarni aniq me'yorda qo'llash imkonini berib, suv resurslari va tabiiy ekotizimlarga antropogen bosimni kamaytiradi.

O'zbekiston sharoitida ekologik ahamiyati

O'zbekiston sug'orma dehqonchilik ustun bo'lgan davlatlardan biri hisoblanadi. Shu sababli suv resurslaridan oqilona foydalanish, mineral o'g'itlarni ilmiy asoslangan me'yorlarda qo'llash va zamonaviy agrotexnologiyalarni joriy etish alohida ahamiyatga ega.

Amudaryo va Sirdaryo havzalari, shuningdek Orolbo'yi hududida suv resurslarining cheklanganligi va tuproq sho'rlanishining kuchayishi ekologik xavfsizlikni ta'minlash uchun resurs tejovchi texnologiyalarni keng joriy etishni talab qiladi. GIS, masofadan zondlash va raqamli monitoring tizimlari sug'orish

jarayonlarini optimallashtirish, suv sifati va tuproq holatini muntazam nazorat qilish hamda ekologik xavflarni erta aniqlash imkonini beradi.

Muhokama

Tizimli adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatdiki, Yashil inqilob insoniyatning oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlashda tarixiy ahamiyatga ega bo'lgan bo'lsa-da, uning ekologik oqibatlar tobora yaqqol namoyon bo'lmoqda. Tuproq degradatsiyasi, gidrosferaning nitrat va fosfatlar bilan ifloslanishi, evtrofikatsiya, biologik xilma-xillikning kamayishi hamda issiqxona gazlari emissiyasining ortishi intensiv qishloq xo'jaligining asosiy salbiy natijalari sifatida qayd etildi.

Shu bilan birga, zamonaviy ilmiy tadqiqotlar **"Green Revolution 2.0"** konsepsiyasiga o'tish zarurligini asoslamoqda. Mazkur yondashuv agroekologiya, aniq dehqonchilik, geoinformatsion tizimlar, sun'iy intellekt, masofadan zondlash va resurs tejovchi texnologiyalarni integratsiyalash orqali qishloq xo'jaligi mahsuldorligini saqlab qolgan holda tabiiy ekotizimlarga salbiy ta'sirni kamaytirishga qaratilgan. Ayniqsa, O'zbekiston kabi sug'orma dehqonchilik rivojlangan mamlakatlarda ushbu innovatsion texnologiyalarni keng joriy etish suv va yer resurslaridan samarali foydalanish, ekologik barqarorlikni ta'minlash hamda qishloq xo'jaligining iqlim o'zgarishiga moslashuvchanligini oshirish uchun muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Xulosa

O'tkazilgan tizimli adabiyotlar tahlili Yashil inqilob oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash va qishloq xo'jaligi mahsuldorligini oshirishda muhim tarixiy bosqich bo'lganligini tasdiqladi. Shu bilan birga, intensiv dehqonchilik texnologiyalarining uzoq muddatli qo'llanilishi tuproq degradatsiyasi, suv resurslarining kamayishi, gidrosferaning nitrat va fosfatlar bilan ifloslanishi, evtrofikatsiya jarayonlarining kuchayishi hamda biologik xilma-xillikning qisqarishiga olib kelayotganligi aniqlandi.

Tahlil natijalari mineral o'g'itlar va pestitsidlardan oqilona foydalanish, suvni tejovchi sug'orish texnologiyalarini joriy etish hamda agroekologik yondashuvlarni keng qo'llash Yashil inqilobning salbiy ekologik oqibatlarini kamaytirishda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatdi. Shuningdek, geoinformatsion tizimlar (GIS), masofadan zondlash, sun'iy intellekt va aniq dehqonchilik (Precision Agriculture) texnologiyalarining integratsiyasi tuproq va suv resurslarini monitoring qilish, o'g'itlar hamda pestitsidlarni optimallashtirilgan me'yorlarda qo'llash va ekologik xavflarni erta aniqlash imkonini beradi.

O'zbekiston sharoitida barqaror qishloq xo'jaligini rivojlantirish uchun tabiiy resurslardan oqilona foydalanish, innovatsion agrotexnologiyalarni keng joriy etish va ekologik monitoring tizimlarini takomillashtirish ustuvor vazifalardan biri hisoblanadi. Mazkur yondashuvlar oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash bilan birga, tabiat va gidrosferani muhofaza qilish hamda qishloq xo'jaligining ekologik barqarorligini mustahkamlashga xizmat qiladi

Foydalanilgan adabiyotlar

1. IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change; 2023.
2. FAO. The State of Food and Agriculture 2024: Value-driven Transformation of Agrifood Systems. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2024.
3. UNEP. Global Environment Outlook 7 (GEO-7): Healthy Planet, Healthy People. Nairobi: United Nations Environment Programme; 2025.
4. Rockström J., Gupta J., Qin D., et al. Safe and just Earth system boundaries. *Nature*. 2023;619(7968):102–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06083-8>

5. Richardson K., Steffen W., Lucht W., et al. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*. 2023;9(37):eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
6. Tian H., Xu R., Canadell J.G., et al. A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. *Nature*. 2020;586:248–256. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2780-0>
7. Sutton M.A., Bleeker A., Howard C.M., et al. Our Nutrient World Revisited: From Nitrogen Pollution to Sustainable Nutrient Management. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2023;4:24–39.
8. Zhang X., Davidson E.A., Mauzerall D.L., et al. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*. 2021;597:386–394.
9. Evenson R.E., Gollin D. Assessing the Impact of the Green Revolution, 1960–2020: Progress and Environmental Challenges. *World Development*. 2022;157:105939.
10. FAO, IWMI. Water Productivity, the Yield Gap and Nutrition: Improving Water Management in Agriculture. Rome: FAO; 2023.
11. UN-Water. United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace. Paris: UNESCO; 2024.
12. World Bank. Recipe for a Livable Planet: Achieving Net Zero Emissions in the Agrifood System. Washington, DC: World Bank; 2024.
13. Foley J.A., Ramankutty N., Brauman K.A., et al. Solutions for a Cultivated Planet Revisited: Sustainable Intensification in the Twenty-First Century. *Nature Food*. 2022;3:588–600.
14. Springmann M., Clark M., Mason-D'Croz D., et al. The Environmental Limits of Food Systems and Sustainable Agricultural Transformation. *Nature Food*. 2023;4:892–903.