

УДК 631.582

UDC 631.582

4.1.1. Общее земледелие, растениеводство
(биологические науки, сельскохозяйственные
науки)

4.1.1. General agriculture, plant growing (Biological
sciences)

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ СЕВООБОРОТОВ НА АГРОФИЗИЧЕСКИЕ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРО- БУРЫХ ПОЧВ АРИДНОЙ ЗОНЫ

INFLUENCE OF CROP ROTATION STRUCTURE ON AGROPHYSICAL AND AGROCHEMICAL PROPERTIES OF GRAY-BROWN SOILS IN THE ARID ZONE

Айтпаева Айгуль Алдунгаровна
к.с.-х.н., доцент
РИНЦ SPIN-код: 7861-5771
arman.bisaliev2012@yandex.ru

Aitpaeva Aigul Aldungarovna
Cand.Agric.Sci., associate professor
RSCI SPIN-code:7861-5771
arman.bisaliev2012@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук", Астраханская область, Россия

Federal State Budgetary Scientific Institution "Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Astrakhan oblast, Russia

В настоящее время в Астраханской области деградация почвенного плодородия в результате нарушения структуры посевных площадей, преобладания посадок овощных культур и картофеля достигла критических значений, спровоцировав процессы опустынивания, отрицательного баланса гумуса, что неблагоприятным образом отразилось на экологической обстановке и результативных финансово-экономических показателях деятельности сельскохозяйственных организаций всех форм собственности. В этой связи большое значение приобретает переход на рациональное землепользование, ресурсосберегающий менеджмент, основным элементом которых является научно-обоснованный севооборот с насыщением его многолетними бобовыми травами (люцерной). Цель многолетних исследований, проводимых с 2008 по 2022 гг. сводилась к оценке влияния разных по структуре севооборотов на агрофизические и агрохимические свойства серо-бурых почв Харабалинского района Астраханской области. Стационарный опыт, реализовывавшийся в трех ротациях, включал в себя три варианта севооборотов: первый - с преобладанием монокультуры картофеля, второй - травянопропашной, третий - травянозерно-пропашной. В ходе исследований было установлено, что севооборот, состоящий из трех полей картофеля и двух полей залежи к концу пятнадцатилетнего изучения продемонстрировал критическое уплотнение почвы (до 1,56 г/см³ в подпахотном слое), уменьшение содержания агрономически ценных агрегатов до 35% на фоне резкого увеличения в почвенно-поглощающем комплексе доли натрия до 12%. Напротив, травянопропашной и травянозернопропашной севообороты благоприятно отразились на снижении плотности почвы, росте количества агрономически ценных агрегатов и снижении доли

Soil fertility degradation in the Astrakhan Region, caused by the disruption of cropland structure and the predominance of vegetable and potato crops, has reached critical levels, triggering desertification and a negative humus balance. This has adversely affected the environmental situation and the financial and economic performance of agricultural organizations of all types. Therefore, the transition to rational land use and resource-saving management, the key element of which is a scientifically based crop rotation enriched with perennial legumes (alfalfa), is of great importance. The goal of long-term research conducted from 2008 to 2022 was to assess the impact of crop rotation systems with different structures on the agrophysical and agrochemical properties of gray-brown soils in the Kharabalinsky District of the Astrakhan Region. A stationary experiment, conducted in three rotations, included three crop rotation options: the first with a predominantly potato monoculture, the second with a grass-row crop, and the third with a grass-grain-row crop. The research found that a crop rotation consisting of three potato fields and two fallow fields demonstrated critical soil compaction by the end of the fifteen-year study (up to 1.56 g/cm³ in the subsoil), a decrease in the content of agronomically valuable aggregates by up to 35%, and a sharp increase in the proportion of sodium in the soil-absorbing complex (SAC) to 12%. In contrast, the grass-row crop and grass-grain-row crop rotations had a beneficial effect on reducing soil compaction, increasing the amount of agronomically valuable aggregates, and reducing the proportion of sodium in the SAC. The research results confirmed the need to include alfalfa in crop rotations recommended for use on gray-brown soils as a key element for maintaining soil fertility, increasing humus content, and preventing salinization

натрия в ППК. Результаты исследований подтвердили необходимость включения люцерны в севообороты, рекомендуемые к освоению в условиях серо-бурых почв, как основного элемента по сохранению почвенного плодородия, увеличению содержания гумуса и предотвращению засоления

Ключевые слова: СЕВООБОРОТ, СЕРО-БУРЫЕ ПОЧВЫ, ЛЮЦЕРНА, КАРТОФЕЛЬ, АГРЕГАТНЫЙ СОСТАВ, ПЛОТНОСТЬ ПОЧВЫ, ПОЧВЕННО-ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС (ППК), ДЕГРАДАЦИЯ ПОЧВ, АРИДНАЯ ЗОНА

Keywords: CROP ROTATION, GRAY-BROWN SOILS, ALFALFA, POTATO, AGGREGATE COMPOSITION, SOIL DENSITY, SOIL ABSORPTION COMPLEX (SAC), SOIL DEGRADATION, ARID ZONE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-218-001>

1. ВВЕДЕНИЕ. Астраханская область отличается низким плодородием почв, усугубляющимся повторными посадками картофеля и овощных культур, выраженными деградационными процессами, связанными с опустыниванием, отрицательным балансом гумуса, развитием водной и ветровой эрозии [4, 6, 11]. В регионе наибольшее распространение получили бурые, серо-бурые, светло-каштановые, аллювиальные почвы и пески. Для почв аридной зоны характерно низкое содержание гумуса, повышенная карбонатность и склонность к солонцеванию, что вызывает необходимость постоянного мониторинга за их состоянием [1, 12].

Монокультура картофеля, сопровождающаяся интенсивной механической обработкой, негативно отражается на агрофизических свойствах почвы, вызывая уплотнение пахотного и подпахотного слоев, снижение количества агрономически ценных агрегатов [5, 10, 15]. Ухудшаются также и агрохимические свойства почв, наблюдается резкий рост доли натрия в почвенно-поглощающем комплексе [3, 7, 13]. В целях предотвращения данных негативных последствий ряд авторов предлагают насыщать севообороты люцерной, положительно влияющей на снижение плотности почвы, увеличение агрономически ценных агрегатов, уменьшение засоленности, накопление азота и гумуса за счет активного

<http://ej.kubagro.ru/2026/04/pdf/01.pdf>

симбиоза с клубеньковыми бактериями и большого количества растительных остатков [8, 9, 14].

В то же время для аридной зоны существует проблема слабой изученности структуры севооборотов, эффективных в разных почвенно-климатических условиях. В связи с этим **целью исследований** являлось изучение влияния структуры севооборотов на агрофизические и агрохимические свойства серо-бурых почв аридной зоны.

Задачи:

1. Проанализировать изменение агрегатного состава почв при освоении монокультуры картофеля, травянопропашного и травянозернопропашного севооборотов.

2. Оценить изменение плотности почв в зависимости от структуры севооборотов.

3. Проанализировать состав почвенно-поглощающего комплекса (ППК).

2. МЕТОДЫ. Исследования по изучению севооборотов проводились в период с 2008 по 2022 гг. Севообороты осваивались в трех ротациях. Одно поле севооборота занимало площадь 10 га. Площадь учетной делянки 100 м². Повторность опыта 4-кратная. Под одним вариантом опыта было занято 400 м². Почвы серо-бурые полупустынные. Содержание гумуса 0,99%. Методология исследований базировалась на общепринятых подходах к проведению полевых опытов, изложенных в работах Б.А. Доспехова [2].

Таблица 1- Схема опыта

Вариант 1 (контроль)	Вариант 2	Вариант 3
Севооборот № 1	Севооборот № 2	Севооборот № 3
1. Картофель 2. Картофель 3. Картофель 4. Залежь 5. Залежь	1. Люцерна 1-го года жизни 2. Люцерна 2-го года жизни 3. Люцерна 3-го года жизни 4. Картофель 5. Картофель	1. Люцерна 1-го года жизни 2. Люцерна 2-го года жизни 3. Люцерна 3-го года жизни 4. Яровой ячмень 5. Картофель

Сорта культур, выращиваемые в севообороте: картофель Импала, люцерна синяя Талисман, яровой ячмень Камышинский 23.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ. До начала освоения севооборотов почвы опытного участка отличались низким исходным содержанием агрономически ценных агрегатов (10.0-0.25 мм) и высоким содержанием пыли (<0.25 мм). Это связано с небольшим содержанием гумуса, большой карбонатностью и слабой солонцеватостью, что ухудшает структурообразование.

Исходное состояние (начало первой ротации) было принято единое для всех вариантов, так как почва изначально одинакова. Перед освоением севооборотов частицы размером 10,0-0,25 мм составляли 45-48%, а пыль < 0,25 мм 52-55%. Повышенное содержание пыли свидетельствует о слабой оструктуренности почв опытного участка.

Изменения к концу пятнадцатого года освоения севооборотов были следующие:

-при освоении севооборота 1 наблюдалось резкое ухудшение, обусловленное механическим разрушением агрегатов в слое 0...0,25 м. К концу третьей ротации ценных фракций осталось всего 35%. В слое 0.25-0.50 м количество ценных агрегатов упало до 40% вследствие уплотнения почвы от проходов техники и снижения биологической активности;

-к концу третьей ротации при освоении травянопропашного севооборота (3 поля люцерны + 2 поля картофеля) наблюдалось существенное увеличение (до 68%) количества ценных агрегатов в слое 0-0.25 м. Последствие люцерны (мощная корневая система, обогащение азотом, стимуляция почвенной биоты) значительно повышало содержание агрономически ценных агрегатов, несмотря на выращивание после нее картофеля. Подобная тенденция прослеживалась и в слое 0.25...0.50 м (количество ценных агрегатов возросло до 62%). Люцерна положительно влияла на пахотный и на подпахотный слой;

-при освоении травянозернопропашного севооборота (3 поля люцерны + 1 поле ярового ячменя + 1 поле картофеля) наблюдался наилучший результат (72% ценных агрегатов в слое 0-0.25 м). После люцерны в севооборот вводился яровой ячмень, который, будучи культурой сплошного сева, меньше разрушал структуру, чем пропашные, и частично закреплял эффект люцерны. Картофель в конце каждой ротации оказывал наименьшее негативное влияние, так как работал на уже хорошо оструктуренной почве. Это оптимальный с точки зрения сохранения структуры почвы вариант севооборота.

Проанализируем плотность почв до и после освоения севооборотов. Исходная плотность серо-бурых почв была высокой, что связано с:

- низким содержанием гумуса (<1%),
- легким гранулометрическим составом, склонным к уплотнению,
- слабой солонцеватостью, которая способствует образованию плотной глыбистой структуры,
- аридными условиями, ведущими к слабой промытости и высокой концентрации солей, цементирующих частицы.

Таблица 2 - Влияние севооборотов на агрегатный состав серо-бурых почв (сухое просеивание), %

Севооборот / Культура	Слой, м	Начало ротации		Конец ротации	
		Частицы 10,0–0,25 мм	Пыль <0,25 мм	Частицы 10,0–0,25 мм	Пыль <0,25 мм
Монокультура картофеля	0-0.25	45.0	55.0	35.0	65.0
	0.25-0.50	48.0	52.0	40.0	60.0
Травянопропашной (3 поля люцерны + 2 поля картофеля)	0-0.25	45.0	55.0	68.0	32.0
	0.25-0.50	48.0	52.0	62.0	38.0
Травянозерно-пропашной (3 поля люцерны + 1 поле ярового ячменя + 1 поле картофеля)	0-0.25	45.0	55.0	72.0	28.0
	0.25-0.50	48.0	52.0	65.0	35.0

Представленные данные демонстрируют влияние различных систем землепользования на агрофизические свойства серо-бурых почв, в частности на плотность их сложения (г/см^3) в двух верхних горизонтах (0-0.25 м и 0.25-0.50 м) за три ротации севооборотов.

Исследования показали, что повторные посадки картофеля приводят к значительному уплотнению почвы в обоих исследуемых слоях.

Таблица 3 – Изменение плотности почвы в зависимости от структуры севооборотов

Вариант (культура / севооборот)	Плотность почвы, г/см^3 до начала освоения севооборотов		Плотность почвы, г/см^3 после трех ротаций	
	Слой почвы, 0-0,25 м	Слой почвы, 0,25-0,50 м	Слой почвы, 0-0,25 м	Слой почвы, 0,25-0,50 м
I. Монокультура картофеля (в среднем за ротацию)	1,30-1,34	1,38-1,42	1,43 – 1,47	1,52 – 1,56
II. Травянопропашной севооборот				
Поле 1: Люцерна 1-го года	1,32	1,45	1,17	1,30
Поле 2: Люцерна 2-го года	1,30	1,42	1,15	1,28
Поле 3: Люцерна 3-го года	1,31	1,40	1,16	1,27
Поле 4: Картофель (после люцерны)	1,38	1,48	1,22	1,32
Поле 5: Картофель 2-й год	1,42	1,51	1,27	1,38
Среднее по севообороту	1,35	1,45	1,20	1,31
III. Травянозернопропашной				
Поле 1: Люцерна 1-го года	1,32	1,45	1,16	1,29
Поле 2: Люцерна 2-го года	1,29	1,41	1,14	1,28
Поле 3: Люцерна 3-го года	1,28	1,39	1,15	1,26
Поле 4: Яровой ячмень (после люцерны)	1,33	1,45	1,19	1,30
Поле 5: Картофель (после ячменя)	1,40	1,49	1,24	1,35
Среднее по севообороту	1,33	1,44	1,18	1,30

К концу эксперимента при монокультуре картофеля плотность достигает критических значений 1.43–1.47 г/см³ (верхний слой) и 1.52–1.56 г/см³ (подпахотный слой), что свидетельствует о деградации почвенной структуры, снижении общей пористости и, как следствие, ухудшении водно-воздушного режима. Это является классическим проявлением физической деградации под воздействием интенсивной пропашной культуры с постоянной механической обработкой.

Травянопропашной севооборот (3 поля люцерны+2 поля картофеля) показывает хорошие результаты по разуплотнению, в среднем по севообороту (1.20 и 1.31 г/см³ после окончания опыта). Однако второй год картофеля (поле 5) уже приводит к заметному увеличению плотности (1.27 и 1.38 г/см³), что указывает на быстрое обратное уплотнение при возврате к интенсивной обработке.

Травянозернопропашной севооборот (3 поля люцерны +1 поле ярового ячменя +1 поле картофеля) демонстрирует сопоставимый, но несколько более выраженный мелиоративный эффект в среднем (1.18 и 1.30 г/см³). Включение ярового ячменя в качестве промежуточной культуры после люцерны выполняет стабилизирующую роль, позволяя сохранить положительный эффект трав перед посадкой пропашной культуры.

Таблица 4 - Динамика изменения почвенно-поглощающего комплекса (слой 0-0.25 м)

Вариант (севооборот)	Срок определе ния	Сумма обменных оснований (ммоль(+)/100 г почвы)	Состав ППК, % от суммы		
			Ca	Mg	Na
I. Монокультура картофеля	Начало опыта	19.0	60.0	35.0	5.0
	Конец 3-й ротации	15.5 (-18.4%)	58.0↓	30.0↓	12.0↑
II. Травянопропашно й	Начало опыта	19.0	60.0	35.0	5.0
	Конец 3-й ротации	17.8 (-6.3%)	70.0↑	26.0↓	4.0
III. Травянозернопроп ашной	Начало опыта	19.0	60.0	35.0	5.0
	Конец 3-й ротации	18.2 (-4.2%)	71.0↑	26.0↓	3.0

Структура севооборотов оказывала влияние и на агрохимические свойства серо-бурых почв. Динамика натрия в почвенно-поглощающем комплексе при монокультуре картофеля за 15 лет возросла с 5 до 12%, что свидетельствует о солонцевании почв. Напротив, севообороты, насыщенные люцерной, уменьшали долю натрия в ППК до 3...4%.

4. ОБСУЖДЕНИЕ. Освоение севооборотов, насыщенных многолетними бобовыми травами (люцерной), оказывало положительный эффект на почвообразовательные процессы, способствовало накоплению органического вещества, образованию водопрочной структуры.

Напротив, при монокультуре картофеля (пропашная культура) интенсивная механическая обработка (особенно междурядная) приводила к сильному разрушению структуры, распылению верхнего и уплотнению нижнего слоя почвы.

Яровой ячмень оказывал умеренное структурирующее действие, но

значительно слабее, чем люцерна.

Эффект от севооборота оценивался как комбинированное и последующее влияние культур, особенно люцерны.

Для малогумусных и склонных к деградации серо-бурых почв Волго-Ахтубинской поймы монокультура картофеля является крайне негативной практикой, приводящей к катастрофическому распылению пахотного горизонта. Введение в севооборот многолетних трав (люцерны) является обязательным мелиоративным приемом для восстановления и поддержания почвенной структуры. Наиболее сбалансированным по агрофизическим показателям является травянозернопропашной севооборот.

Изменение плотности почвы после трех ротаций севооборотов показало, что при монокультуре картофеля (севооборот 1) наблюдалось максимальное уплотнение, особенно в подпахотном слое из-за многократных проходов тяжелой техники (посадка, окучивание, уборка) и разрушения структуры в пахотном горизонте.

Люцерна (многолетние травы) оказывала лучшее разуплотняющее действие. Мощная корневая система разрыхляла подпахотный слой, а органическое вещество улучшало структуру верхнего слоя. Положительный эффект люцерны сохранялся в севообороте, частично компенсируя уплотняющее воздействие последующих культур. Введение в схему многолетних бобовых трав (люцерны) оказывало мелиорирующее влияние на плотность почвы. Во всех полях с люцерной, а также в среднем по севооборотам 2 и 3, наблюдалось значительное снижение плотности как в пахотном, так и в подпахотном горизонте по сравнению с исходным состоянием. Это объясняется росто-восстановительной деятельностью корневых систем люцерны, которые разрыхляют почву, способствуют образованию водопроходной структуры и накоплению органического вещества.

Яровой ячмень отличался умеренным уплотняющим воздействием на подпахотный слой из-за меньшей массы корней по сравнению с люцерной, но лучше сохранял верхний слой, чем пропашные культуры (картофель).

Структура севооборотов оказывала существенное влияние и на агрохимические свойства серо-бурых почв. Так, например, при монокультуре картофеля наблюдалось резкое увеличение натрия в почвенно-поглощающем комплексе, что свидетельствует о начале солонцевания.

Введение севооборотов с длительным периодом люцерны переводило систему в мелиоративно-стабилизационный режим. При этом травянозернопропашной севооборот оказался наиболее сбалансированной системой, обеспечивающей оптимальную плотность, благоприятный состав почвенно-поглощающего комплекса (кальциевый тип питания) и устойчивый режим азотного питания для всех культур в севообороте.

5. ВЫВОДЫ. В течение трех ротаций севооборота наблюдался деградиционный тренд при монокультуре картофеля, затрагивающий как физические (уплотнение), так и химические (осолонцевание) свойства почвы. Введение севооборотов с длительным периодом люцерны переводило систему в мелиоративно-стабилизационный режим и положительно отражалось на снижении плотности почвы, увеличении количества агрономически ценных агрегатов, снижении доли натрия в почвенно-поглощающем комплексе

Библиографический список

1. Барабанов А. Т. Обоснование роли и места стокорегулирующих мероприятий в борьбе с деградацией почв и опустыниванием земель / А. Т. Барабанов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. — 2023. — № 1 (69). — С. 36-46.

2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. — Москва : Лань, 2022. — 352 с.

3. Кирейчева Л. В. Оценка тенденций изменения климата в зоне недостаточного увлажнения юга Европейской части России и их учет при обосновании орошения / Л. В.

Кирейчева, И. В. Корнеев // Орошаемое земледелие. — 2023. — № 2 (41). — С. 19-26.

4. Ковалев Н. Г. Учет агроэкологических особенностей земель при разработке базовых моделей ландшафтно-мелиоративных систем земледелия / Н. Г. Ковалев, Д. А. Иванов, О. Н. Анциферова // Эколого-мелиоративные аспекты научно-производственного обеспечения АПК. — Москва : Современные тетради, 2005. — С. 33-42.

5. Кулик К. Н. Современные проблемы деградации земель в Прикаспийском регионе и пути их решения / К. Н. Кулик [и др.] // Аридные экосистемы. — 2020. — Т. 26. — № 4(85). — С. 3-12.

6. Лысак Г. Н. Деградация почв и пути её предотвращения в южных регионах России / Г. Н. Лысак, Н. З. Милащенко // Почвоведение. — 2020. — № 12. — С. 1505-1516.

7. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: информационное издание. — Москва : ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. — 304 с.

8. Милащенко Н. З. Система удобрения в адаптивно-ландшафтном земледелии / под ред. Н. З. Милащенко. — Москва : Росинформагротех, 2021. — 300 с.

9. Плескачев Ю. Н. Инновационные подходы к развитию АПК Волгоградской области / Ю. Н. Плескачев, И. Б. Борисенко, А. А. Холод // Стратегические ориентиры инновационного развития АПК в современных экономических условиях : сборник научных трудов по материалам конференции (Волгоград, 26–29 января 2016 г.). — Волгоград : Волгоградский ГАУ, 2016. — Т. 1. — С. 89-95.

10. Плескачев Ю. Н. Деградация земель в Нижнем Поволжье / Ю. Н. Плескачев, М. В. Костин // Полевые исследования. — 2020. — Вып. 7. — С. 124-133. — DOI: 10.22162/2500-4328-2020-7-124-133.

11. Шинкаренко С. С. Спутниковый мониторинг процессов опустынивания на юге Европейской России в 2019-2022 гг. / С. С. Шинкаренко, С. А. Барталев, А. Н. Берденгалиева, В. В. Дорошенко // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2022. — Т. 19. — № 5. — С. 319-327.

12. Юферев В. Г. Картографирование и моделирование агроландшафтов с использованием геоинформационных систем / В. Г. Юферев, Н. А. Ткаченко // Научно-агрономический журнал. — 2020. — № 4 (111). — С. 23-28.

13. Elrys Ah. Aridity creates global thresholds in soil nitrogen retention and availability / Ah. Elrys [et al.] // Global Change Biology. — 2023. — No 30. — e17003.

14. Sayre R. Potential 2050 Distributions of World Terrestrial Ecosystems from Projections of Changes in World Climate Regions and Global Land Cover / R. Sayre, Ch. Frye [et al.] // Global Ecology and Conservation. — 2024. — No 57. — e03370.

15. Yuferev V. G. Degradation of landscapes in the south of the Privolzhsky upland / V. G. Yuferev [et al.] // Journal of Forest Science. — 2019. — Vol. 65. — № 5. — Pp. 195-202.

References

1. Barabanov A. T. Obosnovanie roli i mesta stokoregulirujushhij meroprijatij v bor'be s degradaciej pochv i opustynivaniem zemel' / A. T. Barabanov // Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. — 2023. — № 1 (69). — S. 36-46.

2. Dosphehov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij) / B. A. Dosphehov. — Moskva : Lan', 2022. — 352 s.

3. Kirejcheva L. V. Ocenka tendencij izmenenija klimata v zone nedostatochnogo uvlazhnenija juga Evropejskoj chasti Rossii i ih uchet pri obosnovanii oroshenija / L. V. Kirejcheva, I. V. Korneev // Oroschaemoe zemledelie. — 2023. — № 2 (41). — S. 19-26.

4. Kovalev N. G. Uchet agrojekologicheskikh osobennostej zemel' pri razrabotke bazovyh modelej landshaftno-meliorativnyh sistem zemledelija / N. G. Kovalev, D. A. Ivanov, O. N. Anciferova // Jekologo-meliorativnye aspekty nauchno-proizvodstvennogo obespechenija APK. — Moskva : Sovremennye tetradi, 2005. — S. 33-42.

5. Kulik K. N. Sovremennye problemy degradacii zemel' v Prikaspijskom regione i puti ih reshenija / K. N. Kulik [i dr.] // Aridnye jekosistemy. — 2020. — T. 26. — № 4(85). — S. 3-12.

6. Lysak G. N. Degradacija pochv i puti ejo predotvrashhenija v juzhnyh regionah Rossii / G. N. Lysak, N. Z. Milashhenko // Pochvovedenie. — 2020. — № 12. — S. 1505-1516.

7. Meliorativnyj kompleks Rossijskoj Federacii: informacionnoe izdanie. — Moskva : FGBNU «Rosinformagroteh», 2020. — 304 s.

8. Milashhenko N. Z. Sistema udobrenija v adaptivno-landshaftnom zemledelii / pod red. N. Z. Milashhenko. — Moskva : Rosinformagroteh, 2021. — 300 s.

9. Pleskachev Ju. N. Innovacionnye podhody k razvitiju APK Volgogradskoj oblasti / Ju. N. Pleskachev, I. B. Borisenko, A. A. Holod // Strategicheskie orientiry innovacionnogo razvitija APK v sovremennyh jekonomicheskikh uslovijah : sbornik nauchnyh trudov po materialam konferencii (Volgograd, 26–29 janvarja 2016 g.). — Volgograd : Volgogradskij GAU, 2016. — T. 1. — S. 89-95.

10. Pleskachev Ju. N. Degradacija zemel' v Nizhnem Povolzh'e / Ju. N. Pleskachev, M. V. Kostin // Polevye issledovanija. — 2020. — Vyp. 7. — S. 124-133. — DOI: 10.22162/2500-4328-2020-7-124-133.

11. Shinkarenko S. S. Sputnikovij monitoring processov opustynivaniya na juge Evropejskoj Rossii v 2019-2022 gg. / S. S. Shinkarenko, S. A. Bartalev, A. N. Berdengaliev, V. V. Doroshenko // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. — 2022. — T. 19. — № 5. — S. 319-327.

12. Juferev V. G. Kartografirovanie i modelirovanie agrolandshaftov s ispol'zovaniem geoinformacionnyh sistem / V. G. Juferev, N. A. Tkachenko // Nauchno-agronomicheskij zhurnal. — 2020. — № 4 (111). — S. 23-28.

13. Elrys Ah. Aridity creates global thresholds in soil nitrogen retention and availability / Ah. Elrys [et al.] // Global Change Biology. — 2023. — No 30. — e17003.

14. Sayre R. Potential 2050 Distributions of World Terrestrial Ecosystems from Projections of Changes in World Climate Regions and Global Land Cover / R. Sayre, Ch. Frye [et al.] // Global Ecology and Conservation. — 2024. — No 57. — e03370.

15. Yuferev V. G. Degradation of landscapes in the south of the Privolzhsky upland / V. G. Yuferev [et al.] // Journal of Forest Science. — 2019. — Vol. 65. — № 5. — Pp. 195-202.