

АГРОНОМИЯ

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
(сельскохозяйственные науки)

Научная статья
УДК 631.82:632.934:633.491
doi: 10.28983/asj.y2024i4pp50-55

**Обобщение лизиметрических наблюдений при длительном применении
минеральных удобрений и средств защиты в посадках картофеля**

**Наталья Васильевна Потапова, Николай Васильевич Смолин, Александр Николаевич Никольский,
Илья Владимирович Потапов, Ефим Сергеевич Карманов**

Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева, г. Саранск, Россия
e-mail: smolin89@mail.ru

Аннотация. Лизиметрический метод исследования баланса питательных веществ и их миграции из активного корнеобитаемого слоя почвы является одним из наиболее точных и совершенных методов в современной агрохимии. С помощью лизиметрического опыта устанавливается интенсивность сброса избыточного количества влаги в грунтовые воды и растворенных в ней химических веществ. Проведенные в лизиметрической лаборатории исследования показали, что погодные условия в значительной мере влияют на урожайность картофеля, которая в решающей степени зависит от осадков летнего периода. При многолетнем систематическом применении минеральных удобрений под картофель с течением времени происходило повышение эффективности от внесенных туков. Если при выращивании первой культуры картофеля в общем чередовании (1989 г.) урожайность клубней на варианте с внесением высокой дозы минеральных удобрений и комплексом средств защиты растений была на 24 % выше контрольного варианта, то в 2005 г. этот показатель был выше контроля на 70 %, а в 2015 г. – в 2,7 раза.

Ключевые слова: лизиметрический опыт; минеральные удобрения; средства защиты растений; метеорологические условия; картофель

Для цитирования: Потапова Н. В., Смолин Н. В., Никольский А. Н., Потапов И. В., Карманов Е. С. Обобщение лизиметрических наблюдений при длительном применении минеральных удобрений и средств защиты в посадках картофеля // Аграрный научный журнал. 2024. № 4. С. 50–55. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i4pp50-55>.

AGRONOMY

Original article

**Generalization of lysimetric observations with prolonged use
of mineral fertilizers and protective agents in potato plantings**

Natalia V. Potapova, Nikolai V. Smolin, Alexander N. Nikolsky, Ilya V. Potapov, Efim S. Karmanov

Mordovia State University named after N. P. Ogarev, Saransk, Russia
e-mail: smolin89@mail.ru

Abstract The lysimetric method for studying the balance of nutrients and their migration from the active root layer of soil is one of the most accurate and advanced methods in modern agrochemistry. Using a lysimetric experiment, the intensity of the discharge of excess moisture into groundwater and chemical substances dissolved in it is established. Studies carried out in the lysimetric laboratory have shown that weather conditions significantly influence potato yields, which critically depend on summer precipitation. With many years of systematic use of mineral fertilizers for potatoes, over time the efficiency of the applied fertilizers increased. If, when growing the first potato crop in general rotation (1989), the yield of tubers in the variant with the application of a high dose of mineral fertilizers and a complex of plant protection products was 24 % higher than the control variant, then in 2005 this figure was 70 % higher than the control, and in 2015 – 2.7 times.

Keywords: lysimetric experiment; mineral fertilizers; plant protection products; meteorological conditions; potatoes

For citation: Potapova N. V., Smolin N. V., Nikolsky A. N., Potapov I. V., Karmanov E. S. Generalization of lysimetric observations with prolonged use of mineral fertilizers and protective agents in potato plantings. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(4):50–55. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i4pp50-55>.



Введение. Особый интерес представляют данные многолетних лизиметрических наблюдений за изменением уровня плодородия почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур в зависимости от интенсивности и длительности антропогенного воздействия. В мировой практике лизиметрический метод широко используется для изучения вертикальной миграции свободной гравитационной влаги, с помощью которого можно установить скорость, интенсивность и периодичность нисходящего движения влаги и определить количество транспортируемых в ней растворенных веществ [8]. Достоинством этого метода является определение параметров водного режима, контроль миграции элементов минерального питания растений и органического вещества из корнеобитаемого горизонта [1], загрязнения водных объектов остаточными количествами пестицидов [9, 11]. Лизиметрический метод позволяет рассчитать точный баланс питательных веществ в системе «почва – растение» и величину их миграции в грунтовые воды [2]. Изучение нисходящего оттока воды и растворенных в ней веществ с помощью этого метода получило наибольшее развитие в Европейских странах [12], в которых насчитывается 2450 лизиметров, из них 1260 расположено в Германии [7, 10].

Водно-химическая миграция обуславливается внешними экологическими факторами, такими как тип водного режима, гранулометрический состав, плотность сложения, структура и дренированность почвенного профиля. Существенное разнообразие почвенных и климатических особенностей на территории нашей страны формируют различные типы водных режимов почвы, которые обуславливают интенсивность миграционных потоков химических и органических веществ в грунтовые воды [6]. В России функционирует всего несколько лизиметрических лабораторий, которые построены еще в прошлом веке. К сожалению, практически не осталось длительных лизиметрических стационаров, изучающих систематическое применение минеральных удобрений и средств защиты растений в посевах сельскохозяйственных культур [3]. Почвенно-климатические условия нашей страны необычайно разнообразны, что обуславливает изучение особенностей поведения средств химизации в конкретных почвах различных регионов России.

Проведенными в течение 35 лет наблюдениями определен тип водного режима – периодически промывной, когда происходит кратковременный сброс образовавшегося избытка влаги [6]. Нами установлено, что для тяжелых по гранулометрическому составу почв при превышении порога предельной полевой влагоемкости (ППВ) ежегодный отток влаги из метрового слоя почвы наблюдался весной. Через год сброс избытка воды происходил осенью, раз в четыре года такое явление наблюдалось летом, когда за короткий промежуток времени выпадали летние осадки в виде ливней. При летнем гравитационном стоке избытка воды нередко происходило такое явление, как «гумусовый взрыв». Оно теоретически не изучено и практически не описано в научной литературе. При благоприятной погоде и оптимальном увлажнении происходит усиленная минерализация органического вещества почвы микроорганизмами, что приводит к растворению лабильной части гумуса и его миграции за метровый слой почвы. В летнем сбросе за метровый слой почвы избытка воды в ней обнаружено органического вещества в 4,5 раза больше, чем в осеннем, и в 6,7 раза больше, чем в весеннем сбросах. Установлено, что в среднем суммарный гравитационный сток за гидрологический год составляет 38 % от суммы выпавших за этот период осадков.

Цель проведенных лизиметрических исследований – выявление особенностей и закономерностей развития урожайности картофеля, размещенного в общем чередовании третьей, десятой, двенадцатой, двадцать четвертой и двадцать девятой культурой зернопропашного севооборота, при многолетнем систематическом применении минеральных удобрений и средств защиты растений.

Материалы и методы. Исследования проводили в полевой лизиметрической лаборатории, функционирующей с 1987 г., территориально расположенной в северо-западной части Средне-Волжской возвышенности. Площадь одного лизиметра составляет 4 м^2 ($2 \times 2 \text{ м}$), с глубиной набивки почвой 1 м. Таким образом, рабочий объем почвы в лизиметре равен 4 м^3 . Почва – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистого гранулометрического состава, среднегумусный, среднемощный. Содержание гумуса в слое 0–25 см к моменту закладки опыта равнялось 6,1 %, мощность гумусового горизонта – 55–60 см. Для более удобного восприятия цифрового материала урожайность клубней картофеля с 1 лизиметра переведена в т/га.

Схема опыта состоит из двух факторов. В первом изучали дозы ежегодного внесения минеральных удобрений под культуры севооборота: 1-й вариант – без удобрений (контрольный), 2-й вариант обеспечивает внесение умеренной дозы минеральных удобрений под культуры севооборота, 3-й вариант – применение высокой дозы. Для картофеля умеренная доза минерального пита-



ния – $N_{60}P_{60}K_{90}$, высокая – $N_{120}P_{120}K_{180}$. Удобрения в полной дозе вносили под перекопку почвы осенью после уборки предшественника. Во втором факторе изучали химические средства защиты растений в двух вариантах: 1-й вариант – без применения средств защиты растений (контроль); 2-й вариант – с применением комплекса средств защиты. Опыт заложен в трехкратной повторности. На достаточность трех повторений указывает небольшой разброс абсолютного большинства экспериментальных данных, собранных с лизиметрического опыта и их наименьшая существенная разница ($НСР_{05}$) [3, 4].

Сорта картофеля, ассортимент средств защиты и суммарные дозы удобрений, внесенные за предыдущие годы опыта, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сорта картофеля, суммарные дозы удобрений, ассортимент средств защиты

Table 1 – Potato varieties, total doses of fertilizers, range of protective equipment

Вегетационный период	Среднеранние сорта	Культура в общем чередовании	Суммарная доза удобрений в севообороте перед посадкой картофеля		Средства защиты и доза препарата		
			на умеренном фоне	на высоком фоне	гербицид	инсектицид	фунгицид
1989 г.	Невский	3-я	$N_{165}P_{180}K_{190}$	$N_{330}P_{360}K_{380}$	–	Децис, 0,15 л/га	Ридомил, 2,5 кг/га
1996 г.	Невский	10-я	$N_{530}P_{600}K_{570}$	$N_{1060}P_{1200}K_{1140}$	Прометрин, 3 кг/га	Сумицидин, 03 л/га	Арцерид, 2,5 кг/га
2005 г.	Адретта	19-я	$N_{1055}P_{1170}K_{1040}$	$N_{2110}P_{2340}K_{2080}$	–	Конфидор, 0,05 л/га	ХОМ, 3 кг/га
2010 г.	Адретта	24-я	$N_{1370}P_{1500}K_{1350}$	$N_{2740}P_{3000}K_{2700}$	Раундап, 4 л/га	Фьюри, 0,15 л/га	Оксихом, 2 кг/га
2015 г.	Сантэ	29-я	$N_{1730}P_{1860}K_{1650}$	$N_{3460}P_{3720}K_{3300}$	Фюзилад Форте, 1,5 л/га	Децис Профи, 0,03 л/га	Акробат МЦ, 2,0 кг/га

Согласно принятой схеме опыта посадки картофеля, средствами защиты обрабатывали растения независимо от учета порога вредоносности биотических факторов. Дозы и сроки применения пестицидов были взяты из справочников, регламентирующих их использование на этой культуре.

Метеорологические условия в годы проведения опыта с картофелем были типичными для северо-западной части Средне-Волжской возвышенности (таблица 2), характерные для неустойчивой по годам погоды, когда острозасушливые годы чередуются с избыточно увлажненными. Если в сильно засушливом 2010 г. с мая по август выпало всего 69 мм осадков, то в избыточно увлажненном 1989 г. в эти же летние месяцы выпало 346 мм.

Таблица 2 – Метеоусловия Мордовского ЦГМС – филиала ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС»

Table 2 – Weather conditions of the Mordovian Central Hydrometeorological Service – a branch of the Federal State Budgetary Institution «Verkhne-Volzhskoe UGMS»

Гидрологический период	Количество осадков, мм			Температурный режим за вегетацию, °С			ГТК за вегетацию
	за осенне-зимний период (сентябрь – апрель)	за летний период (май – август)	всего	сумма температур	сумма эффективных температур выше 10 °С	среднесуточная температура	
1988–1989 гг.	261	346	607	2156	949	17,5	1,60
1995–1996 гг.	221	232	453	2184	964	17,8	1,06
2005–2005 гг.	286	172	458	2133	903	17,3	0,81
2009–2010 гг.	207	69	276	2647	1417	21,5	0,26
2014–2015 гг.	199	141	340	2170	941	17,6	0,65
Среднее многолетнее	270	232	502	2190	950	17,0	1,06
Коэффициент вариации, %	16	37	15	8	19	7	40

Примечание: градация ГТК: до 0,50 – острозасушливые годы; 0,51–0,80 – засушливые; 0,81–1,0 – слабозасушливые; 1,01–1,50 – оптимальные; 1,51–2,0 – избыточно влажные [6].



Близкие к средним многолетним данным были отмечены метеоусловия 1996 г., за исключением осенне-зимних осадков, которых в этом году выпало на 18 % меньше среднего многолетнего показателя. Гидротермический коэффициент (ГТК) этого года за вегетационный период картофеля составил 1,06. В 1989 г., напротив, предвегетационные запасы влаги были близки к средним многолетним данным, а в течение вегетационного периода картофеля выпало осадков в виде дождей на 49 % больше средних многолетних значений. ГТК в этом году был равен 1,6. Метеорологические условия 2005 г. можно отнести к слабозасушливым (ГТК = 0,81) благодаря достаточному количеству осенне-зимних осадков, которые, по мнению Г.В. Дегтяревой [4], используются растениями в этом регионе с коэффициентом 0,7, тогда как летние дожди – всего лишь с коэффициентом 0,3.

Результаты исследований. Наиболее высокую урожайность клубней картофеля отмечали в оптимальном по метеорологическим условиям 1996 г., в среднем по опыту – 41,51 т/га (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние длительного применения минеральных удобрений и средств защиты на урожайность клубней картофеля, т/га

Table 3 – Effect of long-term use of mineral fertilizers and protective agents on the yield of potato tubers, t/ha

Вариант		Урожайность по годам					В среднем	
доза удобрений (фактор А)	средства защиты (фактор В)	избыточно увлажненный 1989 г.	оптимальный 1996 г.	слабозасушливый 2005 г.	острозасушливый 2010 г.	засушливый 2015 г.	по вариантам	по удобрениям
Контроль	Контроль	31,01	35,16	15,01	8,92	13,61	20,74	21,61
	СЗР*	32,04	38,56	17,07	10,81	13,92	22,48	
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	Контроль	33,54	40,26	18,65	11,47	24,17	25,62	26,95
	СЗР	34,80	44,81	22,64	14,17	25,00	28,28	
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₈₀	Контроль	38,35	42,29	20,84	12,32	31,33	29,03	30,95
	СЗР	38,51	47,98	25,52	14,90	37,42	32,87	
Среднее		34,71	41,51	19,96	12,10	24,24	26,50	
НСП ₀₅ ч. р.		1,91	3,15	1,36	0,81	2,37	1,92	
НСП ₀₅ А		1,70	2,50	1,24	0,73	1,89	1,61	
НСП ₀₅ В		F _φ < F _т	2,43	1,01	1,44	1,76	1,65	

* средства защиты растений.

Наименьший средний сбор массы клубней картофеля с опыта был в острозасушливом 2010 г. – 12,1 т/га. В 1989 г. в условиях избыточного увлажнения средний уровень урожайности клубней с опыта составил 34,71 т/га.

Анализ урожайных данных картофеля выявил следующую закономерность: при многолетнем систематическом внесении минеральных удобрений и средств защиты с течением времени происходило увеличение отдачи от применения средств химизации. В 1989 г. урожайность клубней картофеля на самом интенсивном варианте с внесением средств химизации (N₁₂₀P₁₂₀K₁₈₀ + СЗР) была на 24 % выше по сравнению с контрольным вариантом. Тогда как в 2005 г. этот показатель составил 70 %, а в 2015 г. – 275 %. В большей мере этому способствовало систематическое применение минеральных удобрений в севообороте, которые оказались более эффективными по сравнению с обработкой посадок картофеля средствами защиты. Следует отметить, что между факторами применения минеральных удобрений и средств защиты растений достоверного взаимодействия не выявлено.

В среднем за пять исследуемых лет применение умеренной дозы минеральных удобрений дало прибавку урожайности клубней на 25 % по сравнению с контролем, а высокой – на 43 % (таблица 4). Тогда как обработка посадок картофеля средствами защиты на неудобренном фоне обеспечила прирост урожайности клубней на 8 %, на умеренном фоне минерального питания – на 10 %, а на высоком – на 13 %.

При абсолютном сравнении самый высокий прирост урожайности клубней картофеля в среднем за пять лет отмечали на варианте с применением высокой дозы минерального питания и комплексом средств защиты растений (58 %) по сравнению с контрольным вариантом. Без применения средств защиты этот показатель составил 40 %.



Таблица 4 – Прибавка урожая клубней картофеля в зависимости от применения средств химизации

Table 4 – Increase in yield of potato tubers depending on the use of chemicals

Вариант		Прибавка урожая в среднем					
доза удобрений (фактор А)	средства защиты (фактор В)	к абсолютному контролю		по средствам защиты (В)		по удобрениям (А)	
		т/га	%	т/га	%	т/га	%
Контроль	Контроль	–	–	–	–	–	–
	СЗР	1,74	8	1,74	8		
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	Контроль	4,88	23	–	–	5,34	25
	СЗР	7,54	36	2,66	10		
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₈₀	Контроль	8,29	40	–	–	9,34	43
	СЗР	12,13	58	3,84	13		

Регрессионно-корреляционный анализ зависимости урожайности от климатических условий выявил достоверно высокую связь для показателей количества осадков за летний период (май–август), суммы эффективных температур.

Осадки осенне-зимнего периода:

$$y = 5,44x - 0,011x^2 - 0,062; R^2 = 0,427.$$

Осадки летнего периода:

$$y = 0,281x - 0,0004x^2 - 6,84; R^2 = 0,632.$$

Осадки всего:

$$y = 0,24x - 0,0003x^2 - 45,3; R^2 = 0,452.$$

Сумма температур за вегетацию:

$$y = 1,73x - 0,0007x^2 - 935; R^2 = 0,728.$$

Сумма эффективных температур:

$$y = 3,56x - 0,0007x^2 - 418; R^2 = 0,624.$$

Проведенный анализ β -коэффициентов уравнения множественной регрессии зависимости урожайности картофеля y от метеоусловий выявил, что положительный вклад в увеличение продуктивности культуры вносят летние осадки x_2 . В рассматриваемой модели отдельные метеорологические факторы, например, осадки осенне-зимнего периода x_1 , либо не влияют на урожайность, либо, такие как сумма эффективных температур x_3 , снижают урожайность культуры. Их относительный вклад в зависимую переменную приведен ниже:

$$y = 26,5 - 5,11x_1 + 8,82x_2 - 3,52x_3; R^2 = 0,677.$$

Заключение. Погодные условия в значительной мере влияют на урожайность картофеля, которая в решающей степени зависит от осадков летнего периода. Однако чем благоприятнее водный режим за вегетацию, тем меньший вклад в прибавку урожайности клубней картофеля вносят минеральные удобрения. При оптимальных метеоусловиях происходит усиленная минерализация органического вещества, при которой образуется больше доступных для растений элементов питания даже на абсолютно неудобренном фоне.

При многолетнем систематическом применении минеральных удобрений под картофель с течением времени происходило повышение эффективности от внесенных туков. Если при выращивании первой культуры картофеля в общем чередовании в 1989 г. урожайность клубней на варианте с внесением высокой дозы минеральных удобрений и комплексом средств защиты растений была на 24 % выше контрольного варианта, то в 2005 г. этот показатель составил 70 %, а в 2015 г. возрос в 2,7 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атенбеков Р. А., Яшин И. М., Васенев И. И. Эко-геохимическая оценка водной миграции веществ в почвах Юрьев-Польского Ополя // Доклады ТСХА: сб. ст. М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2019. Вып. 291. Ч. IV. С. 706–710.
2. Балкизов А. Б., Сасиков А. С. Лизиметрический метод исследования водного баланса почвенных и грунтовых вод // Известия Кабардино-Балкарского ГАУ. 2021. № 3. С. 34–40.





3. Влияние длительного применения средств химизации на урожайность зерна озимой ржи (данные лизиметрического опыта) / Смолин Н. В. [и др.] // Актуальные вопросы аграрной науки: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию со дня рождения профессора А.П. Осипова. Нижний Новгород : Изд-во Нижегородского ГАУ, 2023. С. 354–359.

4. Влияние длительного применения минеральных удобрений и средств защиты на урожайность ячменя / О. А. Сухарева [и др.] // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке: материалы XXVII Междунар. науч.-произв. конф. Белгород : Изд-во Белгородского ГАУ, 2023. С. 20–21.

5. Дегтярева Г. В. Агрометеообстановка – 82 // Степные просторы. 1982. № 3. С. 26.

6. Инфильтрация осадков в выщелоченном черноземе при аридизации климата / Н. В. Смолин [и др.] // Метеорология и гидрология. 2020. № 12. С. 86–94.

7. Использование инновационной лизиметрической технологии в российско-германских исследованиях / П. И. Пыленок [и др.] // Вестник российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 5. С. 3–8.

8. Методы расчета водного баланса. Международное руководство по исследованиям и практике. Л. : Гидрометеоздат, 1976. 120 с.

9. Моделирование миграции пестицидов в почвах больших лизиметров МГУ / А. А. Белик [и др.] // Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы: сб. науч. тр. Междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения А. Д. Воронина. М.: ООО «Издательский дом КДУ», 2019. С. 255–260.

10. Оценка водно-солевого режима антропогенно-преобразованных почв степных территорий с использованием гравитационных взвешиваемых лизиметров (на примере германо-российского проекта «Кулунда») / А. В. Пузанов [и др.] // Экологические и экономические стратегии устойчивого землепользования в степях Евразии в условиях глобального изменения климата: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 30 сентября – 3 октября 2014. Барнаул : Изд-во Алтайского ун-та, 2014. С. 121–124.

11. Пыленок П. И. Применение лизиметров для изучения ресурсоемкости агротехнологий // Инновационные научные исследования. 2023. № 3-2(27). С. 5–15.

12. Lanthaler C., Fank J. Lysimeter stations and soil hydrological measuring sites in Europe – results of a 2004 survey. In 'Proceedings of the Eleventh Lysimeter Symposium, Raumberg-Gumpenstein, 2005. P. 19–24.

REFERENCES

1. Atenbekov R. A., Yashin I. M., Vasenev I. I. Eco-geochemical assessment of aquatic migration of substances in soils of the Yuryev-Polsky Opole. TLC reports: Collection of articles. Moscow : Publishing House of the Russian State Agricultural Academy. 2019. Issue 291. Part IV. P. 706–710. (In Russ.).

2. Balkizov A. B., Sasikov A. S. Lysimetric method for studying the water balance of soil and groundwater. *Izvestiya Kabardino-Balkaria GAU*. 2021;(3):34–40. (In Russ.).

3. The effect of long-term use of chemicals on the yield of winter rye grain (data from lysimetric experience) / Topical issues of agricultural science. Collection of works on the results of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 85th anniversary of the birth of Professor A. P. Osipov / N. V. Smolin et al. Nizhny Novgorod : Publishing House of Nizhny Novgorod State University; 2023. P. 354–359. (In Russ.).

4. The influence of long-term use of mineral fertilizers and plant protection products on the environment of barley / O. A. Sukhareva, N. V. Smolin, D. A. Golovin, D. T. Blinov. Appeals and innovative statements in agricultural science: Materials of the XXVII International. research and production conf. Belgorod: Publishing house of Belgorod State Agrarian University; 2023. P. 20–21. (In Russ.).

5. Degtyareva G. V. Agrometeoobstanovka – 82. *Steppe Expanses*. 1982;(3):26. (In Russ.).

6. Infiltration of precipitation in leached chernozem during climate aridization / N. V. Smolin et al. *Meteorology and Hydrology*. 2020;(12):86–94. (In Russ.).

7. The use of innovative lysimetric technology in Russian-German research / P. I. Pylenok, S. V. Peregudov, V. M. Yashin et al. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2012;(5):3–8. (In Russ.).

8. Methods of calculating the water balance. International Guide to Research and Practice. L.: Hydrometeoizdat; 1976. 120 p. (In Russ.).

9. Modeling of pesticide migration in soils of large lysimeters of Moscow State University / A. A. Belik, A. A. Kokoreva, V. N. Kolupaeva, Z. S. Yezhelev. Fundamental concepts of soil physics: development, modern applications and prospects collection of scientific papers of the International Scientific Conference dedicated to the 90th anniversary of the birth of A. D. Voronin. Moscow: LLC "Publishing house of KDU". 2019. P. 255–260. (In Russ.).

10. Assessment of the water-salt regime of anthropogenic transformed soils of steppe territories using gravitational weighted lysimeters (on the example of the German-Russian Kulunda project) / A. V. Puzanov, D. N. Balykin, R. Meissner, E. Stefan. In the collection. Ecological and economic strategies for sustainable land use in the steppes of Eurasia in the context of global climate change. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, September 30 – October 3, 2014. Barnaul: Publishing House of the Altai University; 2014. P. 121–124. (In Russ.).

11. Pylenok P. I. Application of algorithms for studying the resource intensity of software products. *Information Technologies*. 2023;3-2(27):5–15. (In Russ.).

12. Lanthaler C., Fank J. Lysimeter stations and soil hydrological measuring sites in Europe – results of a 2004 survey. In 'Proceedings of the Eleventh Lysimeter Symposium, Raumberg-Gumpenstein; 2005. P. 19–24.

*Статья поступила в редакцию 06.01.2024; одобрена после рецензирования 01.02.2024; принята к публикации 07.02.2024.
The article was submitted 06.01.2024; approved after reviewing 01.02.2024; accepted for publication 07.02.2024.*