

УДК 631.8 : 631.4

Экологическая и экономическая значимость лизиметрических исследований в системе «атмосферные осадки – почва – удобрение – растение» (по данным лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» за 1981–2020 гг.)

Пироговская Г.В.

РУП «Институт почвоведения и агрохимии», г. Минск, Республика Беларусь;
brissa_pir@mail.ru

DOI: 10.18522/2308-9709-2023-45-2

Аннотация: представлены результаты многолетних лизиметрических исследований (за 1981–2020 гг.) по поступлению атмосферных осадков на поверхность наиболее распространенных почв Республики Беларусь их миграции и трансформации в почвенных растворах, потерям элементов питания из слоя почв до 1,0–1,5 м в окружающую среду с оценкой их экономического ущерба в системе «Атмосферные осадки – почва – удобрение – растение».

Ключевые слова: лизиметрические исследования, атмосферные осадки, инфильтрация, почвенные растворы, потери при вымывании, стоимость потерь элементов питания.

The ecological and economic significance of lysimeter research in the system of "atmospheric precipitation - soil - fertilizer - plant" (based on data from the lysimeter station of the Institute of Soil Science and Agrochemistry for the period of 1981–2020)

Pirahouskaya H.V., RUE "Institute of Soil Science and Agrochemistry",
Minsk, Republic of Belarus; brissa_pir@mail.ru

DOI: 10.18522/2308-9709-2023-45-2

Summary: the article presents the results of long-term lysymetric studies (for 1981–2020) on the arrival of atmospheric precipitation on the surface of the most common soils of the Republic of Belarus their migration and transformation in soil solutions, losses of power elements from the soil layer of 1.0–1.5 m into the environment with an assessment of their economic damage in the system "Atmospheric precipitation–soil–fertilizer– plant".

Key words: lysimetric studies, atmospheric precipitation, infiltration, soil solutions, leaching losses, cost of nutrient losses.

Введение. Лизиметрические методы используются в почвенных исследованиях более 300 лет. Первые опыты с лизиметром были заложены во Франции Де ля Гиром в 1688 году, в Англии Д. Дальтоном – в 1795 году, в России – П.А. Костычевым в 1893 году.

Пироговская Г. В., Экологическая и экономическая значимость лизиметрических исследований в системе «атмосферные осадки – почва – удобрение – растение» (по данным лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» за 1981–2020 гг.) // «Живые и биокосные системы». – 2023. – № 45; URL: <https://jbks.ru/archive/issue-45/article-2>; DOI: 10.18522/2308-9709-2023-45-2

Первые почвенные лизиметры были установлены в России на Шатиловской опытной станции. Но популярным в почвоведении и агрохимии лизиметрический метод стал только в двадцатые годы XX века.

Термин «лизиметр» происходит от греческих слов «lysis» – растворение, разложение и «metreo» – измерение. Лизиметры используются для изучения процессов, связанных с инфильтрационными водами, в условиях близких к естественным.

Актуальность лизиметрического метода в почвенно-агрохимических исследованиях обусловлена как экологическими, так и экономическими соображениями.

Цель исследований – оценить влияние применяемых агротехнических приемов на экологическое состояние окружающей среды (инфильтрация атмосферных осадков, потери элементов питания за счет вымывания при разных уровнях применения минеральных удобрений, изменение состава, свойств почв и их устойчивости к деградации, изменение продуктивности почв в процессе длительного сельскохозяйственного использования и т.д.).

Оценить в полной мере экономическую значимость агротехнических приемов не представляется возможным. Однако, оценка ее возможна на основании потерь питательных веществ (азота, фосфора и калия), вымываемых при инфильтрации атмосферных осадков из наиболее распространенных почв Республики Беларусь из слоев почв глубиной 1,0–1,5 м (по средним данным за 1981–2020 гг.) в системе «Атмосферные осадки-почва-удобрение-растение».

Обобщение многолетних лизиметрических исследований и анализ их результатов за 1981–2020 гг. свидетельствуют, что потери элементов питания с нисходящими токами влаги (кг/га) напрямую зависят от количества выпадающих и просочившихся атмосферных осадков через слой почвы 1,0–1,5 м, а также от типа почвы и ее гранулометрического состава, т.е. от генетических особенностей почв, на которых проводили исследования.

Материал и методы исследований. Экспериментальные данные, полученные на лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (г. Минск) приводим за период с 1981 по 2020 гг. Лизиметрическая станция расположена в южной части г. Минска (53°51′03″ N., 27°30′26″ E). Введена в эксплуатацию с 1980 года и функционирует по настоящее время. Включает 48 насыпных лизиметров цилиндрической формы из сборных железобетонных колец. Глубина почвенного профиля 1,0 м (24 лизиметра) и 1,5 м (24 лизиметра). Колодцы лизиметров имеют внутренний диаметр 2,0 м, площадь 3,14 м².

На почвах, предназначенных для закладки лизиметров, в естественных условиях на специальных площадках размером 35 × 35 м были заложены почвенные разрезы, сделаны их морфологические описания по генетическим горизонтам и проведен отбор почвенных образцов послойно (1980 г. – базовый вариант), с целью контроля изменения их свойств в процессе длительного сельскохозяйственного использования. Каждый генетический горизонт почвы отбирали в отдельный бурт, или емкость, а затем транспортировали под навес. Засыпка лизиметров почвой по генетическим

горизонтам производилась в следующем порядке: вначале засыпался нижний горизонт, далее в естественной последовательности вышележащие горизонты.

Технология закладки лизиметров: при набивке лизиметров производилась утрамбовка почвенных горизонтов путем уплотнения каждого 5-сантиметрового слоя почвы по объему, с одновременным контролем мощности горизонта по стенкам лизиметров, обеспечивая его плотность близкую к естественной.

Объекты исследований: автоморфные почвы – дерново-подзолистые разного гранулометрического состава; полугидроморфные – дерновые заболоченные; гидроморфные – торфяно-болотные низинные и торфянисто-глеевые низинные. На этих же участках, в полевых естественных условиях (2005, 2010, 2015 гг.), а также в лизиметрах (через каждые 5 лет) проводили отбор почвенных проб для анализа.

Лизиметрические исследования проводили в различных типах севооборотов на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава (легкосуглинистых, связносупесчаных, рыхлосупесчаных и песчаных) и торфяных, а под монокультурой многолетних трав – на дерново-глеевых, торфянисто-глеевых и торфяных.

Лизиметрические опыты № 1 и № 2 (в севооборотах) проводили на следующих почвах.

1. Дерново-палево-подзолистой суглинистой, развивающейся на мощном лессовидном легком суглинке (лиз. 1, 2, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32);
2. Дерново-палево-подзолистой суглинистой, развивающейся на мощном лессовидном легком суглинке (хорошо окультуренная, агрозем), (лиз. 33 и 34);
3. Почвообразующей породе (лессовидный суглинок с глубины 1,5-3.0 м), (лиз. 11 и 12);
4. Дерново-подзолистой суглинистой, развивающейся на лессовидном легком суглинке, подстилаемом с глубины 0,75 м моренным суглинком (лиз. 3 и 4);
5. Дерново-подзолистой суглинистой, развивающейся на лессовидном легком суглинке, подстилаемом с глубины 0,5 м рыхлым песком (лиз. 5 и 6);
6. Дерново-подзолистой супесчаной, развивающейся на водно-ледниковой связной супеси, подстилаемой, с глубины 0,70 м моренным суглинком с прослойкой песка на контакте (лиз. 7, 8, 35, 36, 37, 38, 39, 40);
7. Дерново-подзолистой супесчаной, развивающейся на водно-ледниковой рыхлой супеси, сменяемой с глубины 0,3 м рыхлым песком (лиз. 9, 10, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48);
8. Дерново-подзолистой песчаной, развивающейся на водно-ледниковом связном песке, сменяемом с глубины 0,25 м рыхлым песком (лиз. 13, 14, 15,16);
9. Торфяной низинной среднемошной почве, развивающейся на древесно-осоковом торфе (лиз. 23 и 24).

Лизиметрический опыт № 3 с многолетними бобово-злаковыми травосмесями проводили на следующих почвах.

1. Дерново-глеевой супесчаной, развивающейся на водно-ледниковой рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,45 м рыхлым песком (лиз. 17, 18);
2. Торфянисто-глеевой низинной, развивающейся на древесно-осоковом торфе (лиз. 19 и 20);
3. Торфяной низинной среднemocной почве, развивающейся на древесно-осоковом торфе (лиз. 21, 22).

Название почв приводится согласно принятому в Республике Беларусь классификационному списку почв и методическим указаниям (Кулаковская и др., 1974, Кауричев и др., 1975, Кузнецов и др., 2001, Цытрон и др., 2011, Пироговская, 2018; Лапа и др., 2019).

Одновременно на лизиметрической станции (г. Минск) с 1981 г. установлены осадкомеры Третьякова (2 шт.) для регулярного учета количества и состава, выпадающих атмосферных осадков, с целью определения поступления с ними различных химических элементов.

Отбор лизиметрических почвенных растворов осуществлялся ежегодно: весной – до внесения удобрений и посадки сельскохозяйственных культур, осенью – после уборки сельскохозяйственных культур, в начале зимы, после промерзания почвы и прекращения просачивания лизиметрических вод. Анализ атмосферных осадков и лизиметрических вод выполняли согласно методикам, изложенным в соответствующих руководствах (Аринушкина, 1962; Новиков и др., 1990). В инфильтратах лизиметрических вод и осадков определяли следующие показатели (N-NO₃, N-NH₄, N_{общ}, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg) (Аринушкина, 1962, Новиков и др. 1990):

- N-NO₃ – потенциометрический, ГОСТ 18826-73;
- N-NH₄ – ГОСТ 26488-85;
- фосфор – спектрометрический метод, СТБ ИСО 6878-2005;
- калий – на пламенном фотометре, ГОСТ 26427-85;

Почвенные образцы в лизиметрических опытах отбирали с пахотного и подпахотных горизонтов перед закладкой (в начале севооборотов) и после уборки сельскохозяйственных культур (в конце севооборотов) и определяли агрохимические показатели следующими методами:

- отбор проб – ГОСТ 26483-85;
- содержание общего азота – ГОСТ 26107-84, нитратного – СТБ 17.13.05-28-2014 и аммонийного – ГОСТ 26489-85;
- содержание подвижного фосфора – по Кирсанову на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26207-91);
- содержание подвижного калия – по Кирсанову на пламенном фотометре (ГОСТ 2060207-91);

Гидротермический коэффициент (ГТК) определялся по формуле

Г. Т. Селянинова, $ГТК = \Sigma X / \Sigma T / 10$;

где : ΣX – сумма осадков за вегетационный период;

ΣT – сумма положительных температур воздуха за тот же период.

Результаты исследований обрабатывали статистически с использованием дисперсионного, корреляционно-регрессионного анализа.

Лизиметрические исследования по изучению потерь элементов питания в окружающую среду проводили на наиболее распространенных почвах и в севооборотах, применяемых в сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь, а анализ атмосферных осадков и лизиметрических растворов выполняли общепринятыми методиками.

В данной статье мы приводим среднесуточные данные за 1981-2020 гг. по поступлению атмосферных осадков на поверхность почв и их инфильтрации, потерям основных элементов питания растений при вымывании (азоту, фосфору и калию), изменению агрохимических показателей (1981 и 2020 гг.) и продуктивности почв (в начале закладки лизиметров (1981-1990 гг.) и в конце исследований (2010-2020 гг.)). Экономическая значимость лизиметрических исследований, т.е. оценка потерь элементов питания в денежном выражении приводится в ценах стоимости удобрений на 01.08.2023 г. В лизиметрических опытах применяли: карбамид – 670,3 руб./т ф.в.; аммонизированный суперфосфат (марка 8:30) – 1835,0 руб./т ф.в.; хлористый калий гранулированный – 150,6 руб./т ф.в.

Результаты исследований и их обсуждение. Влагообеспеченность и тепло являются одними из главных факторов, определяющих условия роста и развития растений. Степень удовлетворения потребности растений в воде, зависит от выпадающих атмосферных осадков, гранулометрического состава почв, запаса гумуса в почве и т. д. Они оказывают влияние на увлажненность почвы, режим грунтовых вод, гидрологический режим водотоков и на условия развития сельскохозяйственных культур.

Оценка изменения количества выпадающих атмосферных осадков по годам на лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии за 1981–2020 гг. приведена с поправкой на смачивание осадкомерного ведра (Гольдберг и др., 1985), таблица 1.

Сравнительная оценка количества выпадающих атмосферных осадков по годам исследований за 1981–2020 гг. (40 лет) на лизиметрической станции в г. Минске показала следующее. Среднегодовое количество атмосферных осадков за этот период за лизиметрический год составило 589,1 мм. Максимальное их количество выпадало в летний период (241 мм или 36,8% от годового количества), минимальное – в зимний (116 мм, 17,7%) (Пироговская, 2018).

Следует учитывать, что в Республике Беларусь принято сравнивать показатели выпадения атмосферных осадков с последним среднесуточным периодом за 1991–

2020 гг. Среднегодовое количество атмосферных осадков за 1991–2020 гг. по г. Минску составило 687,5 мм, а на лизиметрической станции – 593,7 мм, при среднегодовом за 1961–1991 гг. – 696,0 мм.

Температура воздуха в среднем за 1981–2020 гг. по г. Минску составила 6,92 °С, при среднегодовом за 1991–2020 гг. по г. Минску – 6,90 °С, а в целом по республике – 7,2 °С. Увеличение температуры воздуха за 1981–2020 гг. по сравнению с 1961–1991 гг. составило по г. Минску – 1,12 °С (19,3%), по республике – 1,40 °С 14 (24,1%).

Таблица 1 – Количество атмосферных осадков (мм) на лизиметрической станции «Минск», 1981–2020 гг.

Годы	мм/месяц												мм/ год	За 5–9 месяцы	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		мм	%*
1981	44,5	26,8	37,8	33,4	51,8	74,3	39,6	68,5	73,8	108,6	46,1	97	702,2	308,0	43,9
1982	40,9	22,1	10,0	31,7	99,2	106,8	64,3	56,4	49,8	43,2	14,7	14,8	553,9	376,5	68,0
1983	58,1	16,8	90,8	44,9	40,7	57,1	46,2	12,7	20,1	17,5	36,8	48,1	489,8	176,8	36,1
1984	44,0	23,9	17,5	4,6	92,3	69,7	59,3	17,6	44,0	4,8	42,0	33,9	453,6	282,9	62,4
1985	47,5	13,4	34,3	45,2	77,1	74,2	53,3	17,2	94,2	55,0	45,1	46,0	602,5	316,0	52,4
1986	66,2	17,5	11,4	34,6	15,9	33,4	56,7	86,2	82,2	11,1	32,7	32,9	480,8	274,4	57,1
1987	46,4	21,9	57,4	24,5	48,4	89,2	106,6	29,8	43,5	27,3	56,2	51,7	602,9	317,5	52,7
1988	27,8	35,4	50,0	24,5	25,7	177,2	25,2	58,4	89,5	12,0	63,3	41,8	630,8	376,0	59,6
1989	22,8	29,9	32,1	45,6	35,1	86,7	77,4	99,6	21,2	83,6	18,7	55,2	607,9	320,0	52,6
1990	33,9	21,7	41,7	24,4	11,0	39,4	133,7	35,2	143,8	33,8	61,4	50,0	630,0	363,1	57,6
1991	21,5	30,4	16,1	21,9	70,1	110,3	42,2	12,2	30,7	76,1	57,4	19,6	508,5	265,5	52,2
1992	21,1	41,4	25,4	58,3	67,6	48,4	18,4	6,5	53,4	64,9	61,3	24,2	490,9	194,3	39,6
1993	59,6	27,8	34,9	35,1	21,9	36,1	170,0	49,5	96,6	5,8	30,2	77,3	644,8	374,1	58,0
1994	96,0	23,8	71,2	32,3	89,6	59,6	29,8	48,5	46	23,6	64,9	44,6	629,9	273,5	43,4
1995	36,6	49,7	32,0	39,8	31,1	52,2	26,3	56,6	45,2	20,0	42,4	30,9	462,8	211,4	45,7
1996	55,8	40,9	12,4	27,2	57,6	38,8	95,1	20,4	92,6	20,0	76,0	51,4	588,2	304,5	51,8
1997	9,9	31,5	44,6	40,8	55,5	94,9	80,5	13,9	37,0	64,9	63,2	40,9	577,6	281,8	48,8
1998	41,8	22,1	40,0	38,6	68,4	129,1	114	54,4	88,6	83,0	40,5	47,0	767,5	454,5	59,2
1999	15,9	80,1	61,2	9,6	18,4	57,0	44,8	19,9	20,5	33,3	52,2	58,5	471,4	160,6	34,1
2000	27,6	54,1	27,4	67,9	18,7	46,8	76,5	51,1	29,6	1,4	61,5	45,8	508,4	222,7	43,8
2001	33,7	27,9	34,0	25,3	32,6	89,4	137,3	81,1	47,2	39,2	51,7	34,0	633,4	387,6	61,2
2002	56,2	56,4	13,1	12,6	24,2	37,0	47,5	44,3	27,5	126,7	16,0	14,0	475,5	180,5	38,0
2003	32,3	34,5	25,9	90,1	53,2	28,6	126,5	39,6	15,6	65,8	17,8	44,4	574,3	263,5	45,9
2004	75,8	78,0	33,2	48,2	26,6	53,4	94,9	119,0	44,2	63,8	39,3	37,1	713,5	338,1	47,4

2005	35,5	33,6	58,9	19,0	111,3	37,0	38,6	148,2	20,2	38,2	51,1	58,8	650,4	355,3	54,6
2006	6,4	21,7	35,1	26,0	76,4	58,5	51,2	219,7	40,6	30,1	36,3	16,1	618,1	446,4	72,2
2007	69,8	47,8	20,6	6,6	81,1	44,0	123,8	10,4	19,5	48,6	58,2	18,1	548,5	278,8	50,8
2008	62,0	55,1	84,9	106,4	157,1	45,3	84,7	59,0	52,2	59,7	29,9	22,8	819,1	398,3	48,6
2009	44,8	37,4	37,3	3,1	30,9	169,8	156,6	54,3	34,9	116,9	60,0	82,1	828,1	446,5	53,9
2010	40,2	36,4	17,4	15,9	88,9	103,5	107,4	60,4	44,8	40,1	52,2	62,9	670,1	405,0	60,4
2011	44,2	24,9	6,0	13,8	70,5	62,3	119,1	56,9	17,9	39,8	20,2	37,8	513,4	326,7	63,6
2012	84,2	37,2	25,9	95,4	63,7	99,5	25,9	37,2	49,0	44,1	68,5	54,1	684,7	275,3	40,2
2013	53,0	40,7	39,1	16,9	75,3	92,5	42,2	23,7	37,8	21,9	92,1	28,6	563,8	271,5	48,2
2014	54,0	17,9	5,9	13,7	83,4	113,7	74,3	166,8	25,6	10,7	4,4	44,9	615,3	463,8	75,4
2015	54,9	30,7	21,0	26,3	58,2	12,2	49,6	0,0	82,6	26,8	58,5	28,4	449,2	202,6	45,1
2016	57,3	41,9	14,2	43,5	54,8	25,8	106,7	19,8	15,6	132,2	45,4	10,0	567,2	222,7	39,3
2017	46,2	21,6	42,8	74,4	21,0	45,6	120,0	70,9	87,6	94,9	57,0	51,5	733,5	345,1	47,0
2018	28,8	23,4	4,0	21,4	22,2	24,6	171,8	52,2	41,0	48,3	29,8	55,9	523,4	311,8	59,6
2019	27,3	22,7	40,9	4,0	48,9	40,8	65,4	89,5	17,0	5,1	60,3	71,0	492,9	261,6	53,1
2020	26,7	51,9	21,9	3,6	33,4	58,8	93,1	67,8	26,8	23,0	41,8	39,2	488,0	279,9	57,4
Среднее за 1981–2020 гг.	43,8	34,3	33,3	33,8	55,2	68,1	79,9	55,9	48,7	46,6	46,4	43,1	589,1	307,8	52,2
Среднее за 1961–1991 гг.	42	40	40	48	61	81	90	83	59	50	53	49	696,0	374	53,7
Среднее 1991–2020 гг.	46,8	40,0	41,3	43,1	65,8	79,2	97,5	71,0	51,6	55,3	49,1	46,8	687,5	365,1	53,1

* - Процент количества осадков за май – сентябрь от годового.

Гидротермический коэффициент (ГТК) в центральной части республики за 5-9 месяцев в годы исследований (1981–2020 гг.) изменялся в пределах от 0,62 (1999 г.) до 1,98 (1998 г.), а в среднем за эти годы составил 1,28. На долю *влажных лет* приходилось 22,5% (9 лет), *оптимальных* – 25,0% (10 лет), *слабозасушливых* – 35,0% (14 лет), *засушливых* – 12,5% (5 лет) и *очень засушливых* – 5,0% (2 года).

Поступление элементов питания с атмосферными осадками приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Поступление элементов питания на поверхность почвы с атмосферными осадками (среднее за 1981–2020 гг.)

Среднегодовое поступление элементов с атмосферными осадками, кг/га	Поступление элементов питания с атмосферными осадками, кг/га					
	N-NO ₃	N-NH ₄	N общ.	N-NO ₂	K ₂ O	P ₂ O ₅
	12,38	14,09	26,47	2,1*	9,95	1,13

* Средние данные за 2016–2020 гг.

Установлено, что в среднем за 40-летний период (с 1981 по 2020 гг.) с атмосферными осадками поступало на поверхность почв 12,38 кг/га азота нитратного (N-NO₃), 14,09 кг/га азота аммонийного (N-NH₄), общего азота – 26,47 кг/га, калия (K₂O) – 9,95 кг/га и фосфора (P₂O₅) – 1,13 кг/га. Поступление N-NO₂ приведено по средним данным за 2016–2020 гг.

Среднегодовая инфильтрация атмосферных осадков из слоя 1,0-1,5 м наиболее распространенных почв Республики Беларусь приведена по лизиметрическому опыту № 1, где применялись одинаковые дозы органических и минеральных удобрений под культуры севооборотов (среднегодовая доза удобрений за 1981-2020 гг. составила на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава – 13,2 т/га органических удобрений + N_{77,6}P_{66,5}K_{135,5} и на торфяной – N_{36,5}P₆₇K₁₃₈), (табл. 3 и 4).

Таблица 3 – Влияние типа и разновидности (гранулометрического состава) почв Беларуси на инфильтрацию атмосферных осадков (среднегодовая инфильтрация за 1981–2020 гг.)

Почвы	Инфильтрация (слой почвы 1,0–1,5 м) за 1981–2020 гг., л/м ²				
	1981–2020	1981–1990	1991–2000	2001–2010	2011–2020
1. Дерново-палево-подзолистая суглинистая на мощном лессовидном легком суглинке, лиз.1,2	94,1	63,6	71,7	129,9	104,5
2. Дерново-палево-подзолистая суглинистая на мощном	95,9	57,6	80,1	128,5	104,8

лессовидном легком суглинке (агрозем), лиз.33, 34					
3. Почвообразующая порода (лессовидный суглинок с глубины 1,5–3,0 м), лиз.11,12	118,0	79,3	113,2	146,9	111,2
4. Дерново-подзолистая суглинистая на лессовидном легком суглинке, подстилаемом с глубины 0,75 м моренным суглинком, лиз.3, 4	146,0	103,2	134,3	187,5	136,6
5. Дерново-подзолистая суглинистая на лессовидном легком суглинке, подстилаемом с 0,5 м рыхлым песком, лиз.5, 6	125,6	82,6	108,9	182,4	109,2
6. Дерново-подзолистая супесчаная на водно-ледниковой связной супеси, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком с прослойкой песка на контакте, лиз.7, 8	153,3	107,9	137,8	194,7	149,0
7. Дерново-подзолистая супесчаная на водно-ледниковой рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком, лиз. 9, 10	148,0	106,0	136,7	195,9	127,8
8. Дерново-подзолистая песчаная, на водно-ледниковом связном песке, сменяемом с глубины 0,25 м рыхлым песком, лиз.13-16	209,1	192,1	204,6	249,1	146,2
9. Торфяная низинная, среднемошная на древесно-осоковом торфе, лиз. 23-24	97,2	57,1	77,5	156,7	84,3
НСР _{0,5}	10,2	6,9	9,6	14,7	9,8

Среднегодовой объем инфильтрации (за 40 лет) различался преимущественно от типа и гранулометрического состава почв и по десятилетиям: минимальный объем составлял в дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах – 94,1 л/м², максимальный в песчаных почвах – 209,1 л/м². Самый большой объем инфильтрации во всех почвах, которыми заполнены лизиметры, отмечен в 2001–2010 годы (табл. 3).

Общий объем инфильтрации атмосферных осадков в изучаемых почвах значительно различался и в зависимости от степени увлажнения года. Во влажные годы (9 лет из 40) минимальное среднегодовое количество инфильтрата наблюдалось в торфяной почве, которое составило 97,2 л/м², максимальное – в песчаной почве (244,8 л/м²), на связно-, и рыхлосупесчаных почвах – 182,9–195,2 л/м², легкосуглинистых (лиз. 1, 2, 33, 34) – 127,0–129,3 л/м².

По сравнению с влажными годами в оптимальные по степени увлажнения годы (10 лет из 40) наблюдалось закономерное снижение инфильтрации атмосферных осадков во всех почвах – минимальное значение данного показателя (81,9 л/м²) было в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (агрозем) и максимальное – в песчаной (191,3 л/м²), соответственно в слабо засушливые (14 лет из 40) – 79,1 (легкосуглинистая) – 190,9 (песчаная) и засушливые (5 лет из 40) – 59,6 (легкосуглинистая, агрозем) – 168,9 (песчаная). Что касается очень засушливых лет (2 года из 40), то по сравнению с засушливыми годами дальнейшего снижения инфильтрации не наблюдалось, а на отдельных почвах отмечено даже ее увеличение. Это объясняется, по-видимому, малым объемом выборки данных лет (табл. 4).

Таблица 4 – Изменение инфильтрации атмосферных осадков в различные по степени увлажнения годы в пахотных наиболее распространенных почвах Беларуси (1981–2020 гг.)

Почвы	Инфильтрация (слой почвы 1,0–1,5 м), л/м ²				
	влажные	оптимальные	слабо засушливые	засушливые	очень засушливые
1. Дерново-палево-подзолистая суглинистая, развивающаяся на мощном лессовидном легком суглинке, лиз.1,2	127,0	89,1	79,1	69,5	86,0
2. Дерново-палево-подзолистая суглинистая, развивающаяся на мощном лессовидном легком суглинке (агрозем), лиз.33, 34	129,3	81,9	87,9	59,6	97,8
3. Почвообразующая порода (лессовидный суглинок с глубины 1,5-3,0 м), лиз.11,12	158,9	109,0	97,8	78,1	101,5
4. Дерново-подзолистая суглинистая, развивающаяся на лессовидном легком суглинке, подстилаемом с глубины 0,75 м моренным суглинком, лиз.3, 4	180,6	134,8	118,8	122,2	160,1
5. Дерново-подзолистая суглинистая, развивающаяся на лессовидном легком суглинке, подстилаемом с 0,5 м рыхлым песком, лиз.5, 6	164,6	117,2	94,4	108,0	142,5
6. Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на водно-ледниковой связной супеси, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком с прослойкой песка на контакте, лиз.7, 8	195,2	133,2	133,5	127,2	131,1

7. Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на водно-ледниковой рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком, лиз. 9, 10	182,9	137,8	123,7	123,6	132,5
8. Дерново-подзолистая песчаная, развивающаяся на водно-ледниковом связном песке, сменяемом с глубины 0,25 м рыхлым песком, лиз.13-16	244,8	191,3	190,9	168,9	161,8
9. Торфяная низинная, среднemosная, развивающаяся на древесно-осоковом торфе, лиз. 23-24	97,2	92,3	78,0	84,3	42,4
НСР _{0,5}	13,2	8,3	7,1	6,9	8,8

Потери при вымывании основных элементов питания (азота, фосфора и калия) из основных наиболее распространенных почв республики представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Потери элементов питания из пахотных почв Республики Беларусь, кг/га (из слоя почвы 1,0–1,5 м), средние значения за 1981–2020 гг.

Почва	Потери при вымывании, кг/га					
	1981–2020 гг.			N-NO ₃ , % от N _{общ.}	P ₂ O ₅	K ₂ O
	N-NO ₃	N-NH ₄	N _{общ.}			
1. Дерново-палево-подзолистая суглинистая на мощном лессовидном легком суглинке, лиз.1,2	14,5	0,43	14,9	97,1	0,12	6,6
2. Дерново-палево-подзолистая суглинистая на мощном лессовидном легком суглинке (агрозем), лиз.33, 34	21,2	0,38	21,6	98,2	1,04	12,5
3. Почвообразующая порода (лессовидный суглинок с глубины 1,5–3,0 м), лиз.11,12	13,4	0,44	13,8	96,8	0,15	11,3
4. Дерново-подзолистая суглинистая на лессовидном легком суглинке, подстилаемом с глубины 0,75 м моренным суглинком, лиз.3, 4	30,2	0,58	30,8	98,1	0,12	7,9

5. Дерново-подзолистая суглинистая на лессовидном легком суглинке, подстилаемом с 0,5 м рыхлым песком, лиз.5, 6	26,0	0,62	26,6	97,7	0,09	9,0
6. Дерново-подзолистая супесчаная на водно-ледниковой связной супеси, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком с прослойкой песка на контакте, лиз.7, 8	38,6	0,67	39,3	98,3	0,225	11,6
7. Дерново-подзолистая супесчаная на водно-ледниковой рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком, лиз.9, 10	31,3	0,57	31,9	98,2	0,08	34,8
8. Дерново-подзолистая песчаная на водно-ледниковом связном песке, сменяемом с глубины 0,25 м рыхлым песком, лиз.13-16	42,9	1,10	44,0	97,5	0,14	48,3
9. Торфяная низинная, среднемощная на древесно-осоковом торфе, лиз. 23-24	43,6	0,97	44,6	97,8	0,19	11,2
НСР _{0,5}	2,01	0,033	2,14	1,97	0,017	1,27

Установлено, что потери азота при вымывании изменялись в зависимости от типа и гранулометрического состава почв. Минимальные среднегодовые потери общего азота в среднем за 1981-2020 гг. были из почвообразующей породы, которые составили 13,8 кг/га, в том числе нитратного азота – 13,4 кг/га, а аммонийного – 0,44 кг/га; далее из дерново-подзолистой легкосуглинистой, развивающейся на мощных лессовидных суглинках почве – 14,9 кг/га (нитратного азота – 14,5 и аммонийного – 0,43 кг/га). На той же дерново-подзолистой легкосуглинистой, но высококультуренной почве (агроем) потери общего азота увеличивались и составили 21,6 кг/га (нитратного азота – 21,5 и аммонийного – 0,38 кг/га). Потери общего азота из дерново-подзолистых легкосуглинистых, подстилаемых с глубины 0,75 м моренным суглинком, или песком с 0,5 м почв, находились в пределах от 26,6 до 30,8 кг/га; соответственно из дерново-подзолистой связно-, рыхлосупесчаной – 31,9-39,3 кг/га; из дерново-подзолистой песчаной – 44,0 и торфяной в севообороте – 44,6 кг/га. При этом следует отметить, что на долю нитратного азота приходилось от 96,8 (почвообразующая порода) до 98,2 (дерново-подзолистая легкосуглинистая, агрозем) – 98,3% (дерново-подзолистая связносупесчаная).

Потери фосфора при вымывании незначительные и на исследуемых почвах составляли от 0,09 кг/га (дерново-подзолистая легкосуглинистая, подстилаемая с 0,5 м рыхлым песком) до 1,04 кг/га (дерново-подзолистая легкосуглинистая, агрозем).

Максимальные потери калия при вымывании на дерново-подзолистых песчаных (48,3 кг/га) и дерново-подзолистых рыхлосупесчаных, подстилаемых рыхлыми песками (34,8 кг/га). Эти данные свидетельствуют, что на почвах легкого гранулометрического состава не рекомендуется внесение калийных удобрений с осени, так как их потери при вымывании значительные.

В денежном выражении потери на 1 гектар (в ценах на 01.08. 2023 г., курс доллара равен 3,0344 белорусских рублей) составили: при применении азотных удобрений в форме карбамида теряем на 1 гектаре от 21,8 руб./га (7,2 долл. США) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве до 64,1 (песчаная) и 64,9 (торфяная) руб./га (21,1 и 21,4 долл. США), табл. 7.

Потери фосфора в денежном выражении на исследуемых почвах составляют от 0,489 до 6,361 руб./га или от 0,16 до 2,1 долл. США/га.

Соответственно, стоимость потерь калия составляет от 1,66 до 12,12 руб./га или от 0,55 до 2,88 (песчаная)- 4,0 (торфяная) дол. США/га, (табл. 6).

Таблица 6 – Потери элементов питания при вымывании из пахотных почв Республики Беларусь в денежном выражении, руб./га и USD/га (по средним данным за 1981–2020 гг.)

Почва	Стоимость потерь при вымывании элементов питания, руб./га и долл. США					
	азотные		фосфорные		калийные	
	руб/га	USD/га	руб/га	USD/га	руб/га	USD/га
1. Дерново-палево-подзолистая суглинистая, развивающаяся на мощном лессовидном легком суглинке, лиз.1,2	21,8	7,2	0,734	0,24	1,66	0,55
2. Дерново-палево-подзолистая суглинистая, развивающаяся на мощном лессовидном легком суглинке (агрозем), лиз.33, 34	31,4	10,4	6,361	2,10	3,14	1,03
3. Почвообразующая порода (лессовидный суглинок с глубины 1,5–3,0 м), лиз.11,12	20,2	6,6	0,918	0,30	2,84	0,93
4. Дерново-подзолистая суглинистая, развивающаяся на лессовидном легком суглинке, подстилаемом с глубины 0,75 м моренным суглинком, лиз.3, 4	44,9	14,8	0,734	0,24	1,98	0,65

5. Дерново-подзолистая суглинистая, развивающаяся на лессовидном легком суглинке, подстилаемом с 0,5 м рыхлым песком, лиз.5, 6	38,8	12,8	0,551	0,18	2,26	0,74
6. Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на водно-ледниковой связной супеси, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком с прослойкой песка на контакте, лиз.7, 8	57,2	18,9	1,376	0,45	2,91	0,96
7. Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на водно-ледниковой рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком, лиз.9, 10	46,4	15,3	0,489	0,16	8,73	2,88
8. Дерново-подзолистая песчаная, развивающаяся на водно-ледниковом связном песке, сменяемом с глубины 0,25 м рыхлым песком, лиз.13–16	64,1	21,1	0,856	0,28	12,12	4,00
9. Торфяная низинная, среднemoshная, развивающаяся на древесно-осоковом торфе, лиз. 23–24	64,9	21,4	1,162	0,38	2,81	0,93

Что касается агроэкологических изменений свойств почв в процессе длительного сельскохозяйственного использования, то остановимся только на основных показателях окультуренности почв (содержании подвижных форм фосфора и калия и органического вещества), табл. 7.

Таблица 7 – Содержание органического вещества, подвижных форм фосфора и калия в наиболее распространенных почвах Республики Беларусь (лизиметрический опыт № 1), 1980–2020 гг.

Почвы	Содержание элементов в Апах, мг/кг почвы (осень)								
	ОВ, %			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	1980 г.	2020 г.	± к 1980 г.	1980 г.	2020 г.	± к 1980 г.	1980 г.	2020 г.	± к 1980 г.
Почва 1 (лиз.1, 2)	1,50	1,97	0,47	243	316	73	140	258	118
Почва 2 (лиз.33, 34)	2,83	3,17	0,34	348	389	41	239	243	4

Почва 3 (почвообразующая порода, лиз.11,12)	0,36	1,53	1,17	375	349	-26	113	277	164
Почва 4 (лиз. 3, 4)	1,59	1,87	0,28	208	259	51	163	236	73
Почва 5 (лиз. 5, 6)	1,60	1,98	0,38	379	341	-38	176	230	54
Почва 6 (лиз. 7, 8)	3,78	3,55	-0,23	113	259	146	77	172	95
Почва 7 (лиз. 9, 10)	1,72	2,16	0,44	100	252	152	210	225	15
Почва 8 (лиз. 13–16)	1,45	1,98	0,53	124	261	137	83	144	61
Почва 9 (лиз. 23, 24)	62,4	25,0	-37,4	850	808	-42	326	-	-
Выборка, n	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Содержание гумуса в наиболее распространенных дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава Республики Беларусь в процессе длительного сельскохозяйственного использования (40 лет) увеличилось к 2020 г. в пахотных горизонтах на 0,28–0,53%, с максимальным приростом в почвообразующей породе (на 1,17%). Минимальное содержание гумуса в 1980 г. (1,45%) отмечено в дерново-подзолистой песчаной почве, а также в почвообразующей породе (0,36%).

Максимальное содержание гумуса наблюдалось в 1980 г. в дерново-подзолистой супесчаной, развивающейся на связной супеси, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком с прослойкой песка на контакте, почве (3,78%, лиз.7, 8) и в высококультурной дерново-подзолистой суглинистой, развивающейся на легком лессовидном суглинке почве (2,83%, лиз.33, 34). В торфяной низинной почве содержание органического вещества к 2020 г. уменьшилось по сравнению с 1980 г. и составило 25,0%, что свидетельствует о его минерализации и более высокой миграции в нижележащие горизонты (табл. 8).

На момент закладки лизиметрических опытов (осень 1980 г.) содержание подвижного фосфора в пахотных горизонтах дерново-подзолистых почв изменялось от низкого (100 мг/кг почвы – в рыхлосупесчаной, подстилаемой рыхлыми песками почве, среднее по двум лизиметрам – лиз. 9–10) до высокого (375 мг/кг почвы – почвообразующей породе (лессовидный суглинок), лиз. 33–34). В торфяной низинной почве содержание подвижного фосфора было высоким (850 мг/кг почвы).

Применение органических и минеральных удобрений в течение длительного использования к 2020 г. способствовало увеличению содержания подвижных форм фосфора, преимущественно, во всех дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава, за исключением снижения его содержания в почвообразующей породе (лессовидный суглинок) и торфяной низинной почве. Данные свидетельствуют, что в настоящее время содержание подвижных форм фосфора в некоторых исследуемых почвах находится выше оптимального уровня, что в дальнейшем необходимо учитывать при расчете доз фосфорных удобрений под сельскохозяйственные культуры. Оптимальные интервалы содержания фосфора для дерново-подзолистых легкосуглинистых почв составляют 250–300 мг/кг почвы; для супесчаных – 200–250 мг/кг почвы и песчаных – 150–200 мг/кг почвы

Содержание калия (K_2O по методу Кирсанова) в 1980 г. в пахотных горизонтах дерново-подзолистых связносупесчаной, песчаной и легкосуглинистой почвах, а также в почвообразующей породе было очень низким и низким (77–140 мг/кг почвы) и торфяной низинной почве (326 мг/кг почвы). К 2020 г. в пахотных горизонтах всех дерново-подзолистых почв отмечается увеличение содержания калия, с минимальным приростом 4,0 мг/кг почвы в высокоокультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (агрозем). Оптимальные интервалы содержания калия для дерново-подзолистых легкосуглинистых почв составляют 220–250 мг/кг почвы; для супесчаных – 170–250 мг/кг почвы и песчаных – 100–150 мг/кг почвы.

Известно, что продуктивность сельскохозяйственных культур изменяется в зависимости от севооборота, типа почвы и ее гранулометрического состава, насыщения севооборотов зерновыми, пропашными и крупяными культурами, а также климатических факторов [6].

Среднегодовая продуктивность сельскохозяйственных культур (за 1981–2020 гг.) на исследуемых почвах при среднегодовой дозе внесения 13,2 т/га органических удобрений + $N_{77,6}P_{66,5}K_{135,5}$ была более высокой на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах и изменялась от 82,4 (агрозем, лиз, 33–34) до 63,4 (легкосуглинистой, подстилаемой с глубины 0,5 м рыхлым песком, лиз. 5–6) ц/га к. ед., на связносупесчаных (лиз. 7–8) она составила – 72,1, рыхлосупесчаных (лиз. 9–10) – 65,4, песчаных (лиз. 13–16) – 55,0 и торфяной ($N_{36,5}P_{67}K_{138}$) – 68,8 ц/га к. ед. Следует отметить, что минимальная продуктивность во всех севооборотах наблюдалась на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава, в частности, на песчаных и рыхлосупесчаных почвах.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что при одном и том же уровне минерального питания на дерново-подзолистых почвах (лизиметрический опыт № 1) при одних и тех же климатических условиях, обуславливающих количество, периодичность и интенсивность выпадения атмосферных осадков, испарении и конденсации влаги в почвах, при возделывании одинаковых культур в севооборотах, инфильтрация атмосферных осадков, потери элементов питания при вымывании, продуктивность сельскохозяйственных культур значительно различалась в зависимости от типа почв и их гранулометрического состава.

Выводы

1. Среднегодовое количество атмосферных осадков в Центральной части Республики Беларусь (лизиметрическая станция РУП «Институт почвоведения и агрохимии») за период с 1981 по 2020 гг. составило 589,1 мм, при среднемноголетних за 1961–1991 гг. – 696 мм, а за 1991–2020 гг. – 687,5 мм (на лизиметрической станции – 593,7 мм).
2. С атмосферными осадками на поверхность почв поступало ежегодно (среднегодовое за 1981–2020 гг.) $N-NO_3$ – 12,38 кг/га, $N-NH_4$ – 14,09 и общего азота – 26,47 кг/га, калия (K_2O) – 9,95 кг/га, фосфора (P_2O_5) – 1,13 кг/га.
3. Общий объем инфильтрации атмосферных осадков в среднем за 1981–2020 гг. из слоя 1,0–1,5 м пахотных почв Республики Беларусь, при одном и том же количестве выпадающих атмосферных осадков, температурном режиме,

одинаковом уровне применения минеральных удобрений под культуры севооборотов, изменялся в зависимости от типа и гранулометрического состава почв и составил: в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве – 94,1 л/м², легкосуглинистой, хорошо окультуренной (агрозем) – 95,9 л/м², почвообразующей породе (лессовидный суглинок из глубины 1,5-3,0 м) – 118,0 л/м², легкосуглинистых, подстилаемых моренным суглинком или песком – 125,6-146,0, связносупесчаной, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком с прослойкой песка на контакте и рыхлосупесчаной, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлыми песками – 148,0-153,3 л/м², песчаных – 209,1 и торфяной (в севообороте) – 97,2 л/м². Максимальный объем инфильтрации атмосферных осадков в пахотных почвах наблюдался во влажные годы, далее в оптимальные по степени увлажнения годы, в слабозасушливые, засушливые и очень засушливые годы.

4. Потери азота при вымывании изменялись в зависимости от типа и гранулометрического состава почв: минимальные среднегодовые потери общего азота в среднем за 1981-2020 гг. были из почвообразующей породы (13,8 кг/га, в том числе нитратного азота – 13,4 кг/га, а аммонийного – 0,44 кг/га); далее из дерново-подзолистой легкосуглинистой, развивающейся на мощных лессовидных суглинках почве – 14,9 кг/га (14,5 и 0,43 кг/га). На дерново-подзолистой легкосуглинистой, но высокоокультуренной почве (агрозем) потери общего азота увеличивались и составили 21,6 кг/га (21,5 и 0,38 кг/га), из дерново-подзолистых легкосуглинистых, подстилаемых с глубины 0,75 м моренным суглинком, или песком с 0,5 м - находились в пределах от 26,6 до 30,8 кг/га; соответственно из дерново-подзолистой связно-, рыхлосупесчаной – 31,9–39,3 кг/га; из дерново-подзолистой песчаной – 44,0 и торфяной в севообороте – 44,6 кг/га.
5. Потери фосфора при вымывании незначительные и на исследуемых почвах составляли от 0,09 кг/га (дерново-подзолистая легкосуглинистая, подстилаемая с 0,5 м рыхлым песком) до 1,04 кг/га (дерново-подзолистая легкосуглинистая, агрозем).
6. Потери калия при вымывании были максимальными из дерново-подзолистых песчаных (48,3 кг/га) и дерново-подзолистых рыхлосупесчаных, подстилаемых рыхлыми песками (34,8 кг/га), из легкосуглинистых и связносупесчаных почв составляли от 6,6 до 11,6 кг/га.
7. В денежном выражении потери элементов питания растений на 1 гектар (в ценах на 01.08. 2023 г., курс доллара равен 3,0344 белорусских рублей) составляли: при применении азотных удобрений в форме карбамида от 21,8 руб./га (7,2 долл. США) (на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве) до 64,1 (песчаная) и 64,9 (торфяная) руб./га (21,1 и 21,4 долл. США), потери фосфора на исследуемых почвах – от 0,489 до 6,361 руб./га или от 0,16 до 2,1 долл. США/га; потери калия - от 1,66 до 12,12 руб./га или от 0,55 до 2,88 (песчаная)- 4,0 (торфяная) дол. США/га.
8. Среднегодовая продуктивность сельскохозяйственных культур (за 1981–2020 гг.) на исследуемых почвах при среднегодовой дозе внесения 13,2 т/га органических удобрений + N_{77,6}P_{66,5}K_{135,5} была более высокой на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах и изменялась от 82,4 (агрозем) до 63,4

ц/га к. ед. (легкосуглинистой, подстилаемой с глубины 0,5 м рыхлым песком), на связносупесчаных она составила – 72,1, рыхлосупесчаных – 65,4, песчаных – 55,0 и торфяной (N_{36,5}P₆₇K₁₃₈) – 68,8 ц/га к. ед.

Литература

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1962. – 491 с.
2. Гольдберг М. А., Мельник В. И. (ред). Агроклиматические ресурсы Белорусской ССР : материалы гидрометеорол. наблюдений. Минск : Гидрометцентр БССР, 1985. – 451 с.
3. Кауричев И. С. (ред). Почвоведение : учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Колос, 1975. – 495 с.
4. Кузнецов Г. И., Смяян Н. И. (ред). Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь : практ. пособие. Ком. по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Респ. Беларусь. Минск : Оргстрой, 2001. – 432 с.
5. Кулаковская Т. Н., Роговой П. П., Смяян Н. И. (ред). Почвы Белорусской ССР / Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. Минск : Ураджай, 1974. – 312 с.
6. Лапа В. В. (ред) Почвы Республики Беларусь. Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 632 с.
7. Новиков Ю. В. , Ласточкина К. О., Болдина З. Н. Методы исследования качества воды водоемов / под ред. А. П. Шицковой. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Медицина, 1990. – 400 с.
8. Пироговская Г. В. Поступление, потери элементов питания растений в системе «атмосферные осадки – почва – удобрение – растение». Минск : Беларуская навука, 2018. – 227 с.
9. Цытрон Г. С. (ред.). Полевая диагностика почв Беларуси : практическое пособие. Минск : Учеб. центр подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров землеустроительной и картографо-геодезической службы, 2011. – 175 с.

References

1. Arinushkina E. V. Guidelines for the chemical analysis of soils. M. : Publishing house Mosk. un-ta, 1962. – 491 p.
2. Goldberg M.A., Melnik V.I. (ed). Agro-climatic resources of the Byelorussian SSR: materials of hydrometeorol. observations. Minsk: Hydrometeorological Center of the BSSR, 1985. - 451 p.
3. Kaurichev I.S. (ed). Soil science: textbook. 2nd ed., revised. and additional M.: Kolos, 1975. – 495 p.

4. Kuznetsov G.I., Smeyan N.I. (ed). Soils of agricultural lands of the Republic of Belarus: pract. allowance. Com. on land resources, geodesy and cartography under the Council of Ministers Rep. Belarus. Minsk: Orgstroy, 2001. – 432 p.
5. Kulakovskaya T. N., Rogovoy P. P., N. I. Smeyan N. I. (ed). Soils of the Byelorussian SSR / Belarus. scientific research Institute of Soil Science and Agrochemistry. Minsk: Urajay, 1974. – 312 p.
6. Lapa V.V. (ed.) Soils of the Republic of Belarus. Minsk: Information Center of the Ministry of Finance, 2019. – 632 p.
7. Novikov Yu. V., Lastochkina K. O., Boldina Z. N. Methods for studying the quality of water in reservoirs / ed. A. P. Shitskova. 2nd ed., revised. and additional M.: Medicine, 1990. – 400 p.
8. Pirogovskaya G.V., Income, losses of plant nutrients in the system "atmospheric precipitation – soil – fertilizer – plant". Minsk: Belarusian Science, 2018. – 227 p.
9. Tsytron G. S. (ed.). Field diagnostics of soils in Belarus: a practical guide. Minsk: Training center for training, advanced training and retraining of personnel of the land management, and cartographic and geodetic service, 2011. – 175 p.