

**МЕХАНИЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА**  
**MECHANIZATION AND POWER ENGINEERING**

УДК 631.615:631.512.013(476)  
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-4-470-480>

Поступила в редакцию 08.07.2019  
Received 08.07.2019

**П. П. Казакевич**

*Президиум Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь*

**МЕЛИОРАТИВНАЯ ВСПАШКА ТОРФЯНИКОВ  
И ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВУХЪЯРУСНОГО ПЛУГА**

**Аннотация:** В Беларуси осушенные торфяные почвы занимают 11,3 % сельскохозяйственных угодий. На площади почти 260 тыс. га эти почвы утратили свои генетические признаки и перешли в категорию антропогенно-преобразованных, из них более 190 тыс. га – в категорию деградированных. Наиболее важным условием улучшения свойств малозольных торфяных почв является увеличение содержания зольных элементов – до 50–70 % в пахотном слое. Этому наиболее полно соответствует антропогенно формируемая послойно-смешанная культура почвенного профиля путем глубокой мелиоративной вспашки. Ее применение важно на мелкозалежных торфяниках, быстро теряющих органический слой. Установлено, что глубина такой вспашки определяется как мощностью торфяника, так и толщиной припахиваемого минерального грунта (песка или супеси). На основании полученных аналитических выражений, анализа технологических схем формирования плугом нового почвенного профиля, с учетом наличия площадей торфяных почв по мощности залежи, обоснована целесообразность применения двух типов специальных плугов: двухъярусного навесного с глубиной вспашки 50–100 см и одноярусного прицепного с глубиной обработки 90–150 см. Технологически рациональной является работа плуга по схеме с недорезом пласта, равным ширине песчаной прослойки в подпахотном горизонте. При этом интервал рациональных значений конструкционной ширины захвата двухъярусного плуга (по корпусу II яруса)  $b_k = 50–67$  см, а ширина захвата плуга не должна превышать 100 см. Ее фактическая величина находится в соотношении с принятой конструктивной шириной корпусов в интервале отношений (5 : 4)–(2 : 1) в зависимости от агротехнических требований. Разработанный двухъярусный плуг ПТН-0,9 для глубокой мелиоративной вспашки прошел приемочные испытания и рекомендован к серийному производству. Результаты исследования являются развитием теории отвальной вспашки. Они позволяют вести разработку специальных двухъярусных плугов для глубокой мелиоративной обработки мелкозалежных торфяников, обеспечивающей повышение их сохранности в процессе сельскохозяйственного использования.

**Ключевые слова:** структурная мелиорация, торф, мелкозалежные торфяные почвы, торфяно-минеральная почва, мелиоративная вспашка, агротехнические требования, глубина вспашки, ширина пласта, двухъярусный плуг

**Для цитирования:** Казакевич, П. П. Мелиоративная вспашка торфяников и обоснование основных параметров двухъярусного плуга / П. П. Казакевич // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2019. – Т. 57, №4. – С. 470–480. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-4-470-480>

**P. P. Kazakevich**

*Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

**AMELIORATORY PLOWING OF PEAT BOGS AND SUBSTANTIATION  
OF THE BASIC PARAMETERS OF A DOUBLE-CUT PLOW**

**Abstract:** Drained peat soils in Belarus occupy 11.3 % of agricultural land. These soils lost their genetic traits on the area of almost 260 thousand hectares, and moved into the category of anthropogenically transformed, over 190 thousand hectares of those – into the category of degraded. The most important condition for improving the properties of low-ash peat soils is an increase of ash elements level – up to 50–70 % in the plowing layer. The anthropogenically formed layer-mixed culture

of soil profile with deep reclamation plowing method corresponds to this to the fullest extent. Its use is important on shallow peatlands that quickly lose their organic layer. It has been determined that the depth of such plowing is determined both by the thickness of peat bog and by the thickness of plowed mineral soil (sand or sandy loam). Based on the obtained analytical expressions, analysis of process layouts for formation of new soil profile by the plow, taking into account availability of peat soil areas according to deposit capacity, feasibility of using two types of special plows is substantiated: double-cut mounted type with plowing depth of 50–100 cm and single-cut trailed type with plowing depth of 90–150 cm. Technologically rational is plow operation according to layout with undercut equal to the width of sandy layer in sub-plowing horizon. At the same time, the interval of rational values of structural width of double-cut plow grip (on the II cut body)  $b_k = 50\text{--}67$  cm, and the width of plow grip shall not exceed 100 cm. Ratio of its actual value to the accepted design width of the bodies is in the range of (5 : 4)–(2 : 1) depending on agrotechnical requirements. The designed PTN-0.9 double-cut plow for deep amelioratory plowing has passed acceptance tests and is recommended for serial production. The result of the study is theory of dump plowing. The results allow for development of special double-cut plows for deep amelioratory treatment of shallow peat bogs, which ensures their preservation during agricultural use.

**Keywords:** structural amelioration, peat, shallow peat soils, peat-and-mineral soil, amelioratory plowing, agricultural requirements, plowing depth, slice width, double-cut plow

**For citation:** Kazakevich P. P. Amelioratory plowing of peat bogs and substantiation of the basic parameters of a double-cut plow. *Vestsi Natsyyanal' nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2019, vol. 57, no 4, pp. 470–480 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-4-470-480>

**Введение.** В сельском хозяйстве Беларуси используется 1068,2 тыс. га осушенных земель с торфяными почвами, или 11,3 % сельскохозяйственных угодий страны. На площади 258,8 тыс. га осушенных земель торфяные почвы утратили свои генетические признаки и перешли в категорию антропогенно-преобразованных, из них 190,2 тыс. га – в категорию деградированных торфяных почв (потеря органического вещества – более 50 %)<sup>1</sup>.

Главной отличительной особенностью торфяных почв по сравнению с почвами, развитыми на минеральных породах, является высокий процент содержания органического вещества. Органическая природа этих почв определяет их химические, физические и биологические свойства.

Для сельскохозяйственного производства наибольшую ценность представляют торфяники низинного типа (их около 96 %), отличающиеся высоким естественным и потенциальным плодородием. По глубине органогенного слоя они делятся на торфянисто-глеевые (до 30 см), торфяно-глеевые (30–50 см), торфяные маломощные (50–100 см), среднемощные (100–200 см) и мощные (более 200 см). Более 70 % используемых торфяных почв имеют мощность торфяного слоя до 1 м.

Относительно низкое содержание в торфе минеральной части и отличие ее природы от минеральных почв не обеспечивает закрепления огромного количества гумусовых веществ, образующихся в результате минерализации органического вещества при его сельскохозяйственном использовании. Они разрушаются, а низкомолекулярная их часть переходит в почвенный раствор и не выполняет своей роли в плодородии почв [1, 2].

Торф характеризуется малой плотностью (0,12–0,25 г/см<sup>3</sup>) и высокой влагоемкостью (300–600 %), что часто приводит к малому содержанию в его почвах воздуха, несмотря на их высокую скважность – 50–80 % [3, 4]. Низка у торфа и теплопроводность – один из важнейших показателей тепловых свойств почвы. По своей теплопроводности торф занимает последнее место среди всех почвообразующих пород [3].

Осушение болот приводит лишь к перераспределению фаз торфа, взаимному обмену воды и воздуха. В неосушенном виде в единице объема торфа содержится 88–94 % воды, 0–5 % воздуха, твердая фаза составляет 5–7 %. В осушенных используемых торфяниках количество твердой фазы в процессе разложения органического вещества увеличивается до 10–15 % [3, 5].

Наиболее важным условием улучшения свойств малозольных торфяных почв является увеличение содержания зольных элементов до 50–70 % в пахотном слое [3, 4, 6]. Их способность вступать во взаимодействие с гумусовыми веществами и образовывать устойчивые органо-минеральные производные придает почве новые свойства.

<sup>1</sup> Стратегия сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь 30.12.2015, №1111. [Б. м. : б. и.], 2016. 39 с.; Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика / Г. М. Мороз [и др.] ; под ред.: Г. М. Мороза, В. В. Лапы. Минск : ИВЦ Минфина, 2017. 207 с.; Козулин А. В., Тановицкая Н. И., Бамбалов Н. Н. Болота Беларуси: на пути к устойчивому использованию. Брест : АртЛайнСити, 2017. 105 с.

В условиях традиционного освоения и использования торфяно-болотных почв процесс образования комплексов с гуминовыми кислотами идет через высвобождение минеральных элементов в результате распада органического вещества, внесения минеральных удобрений, извести, микроэлементов. Однако этот процесс длительный (в связи с медленным накоплением минеральных веществ), поэтому ускорить его и достичь указанного уровня зольности можно путем искусственного обогащения торфяных почв добавками минерального грунта (песка, глины, супеси, суглинка), названного структурной мелиорацией [7–10].

В настоящее время в мировой практике структурной мелиорации торфяных почв разработаны несколько способов, эффективность применения которых во многом определяется глубиной торфяной залежи (рис. 1).

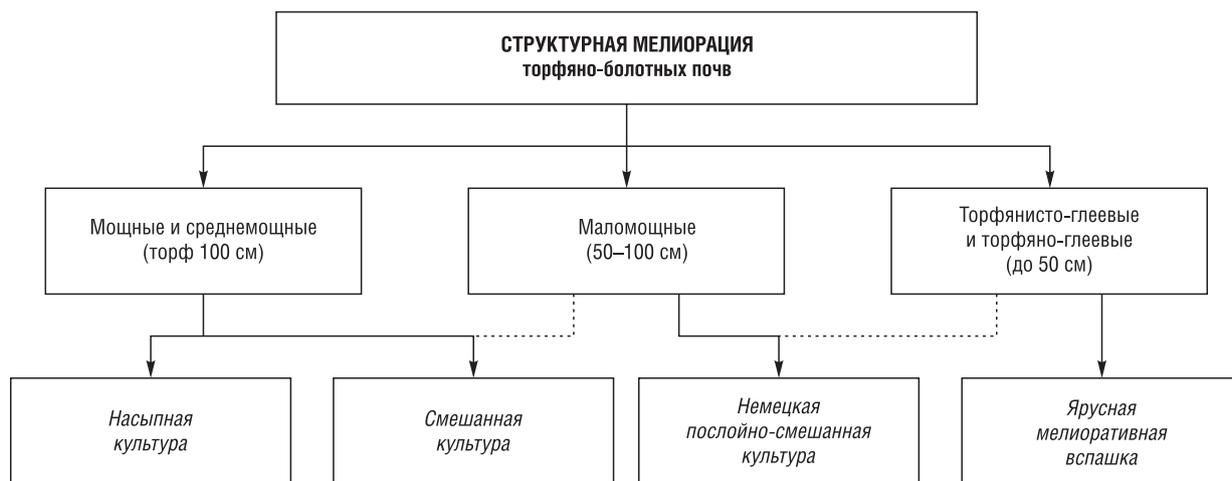


Рис. 1. Схема применения способов улучшения торфяных почв

Fig. 1. Layout of application of methods for improving peat soils

Цель работы – разработка агротехнических основ и обоснование базовых параметров двухъярусного плуга для глубокой мелиоративной вспашки мелкозалежных торфяников.

**Основная часть.** Полной механизации поддается технологический процесс так называемой «немецкой послойно-смешанной культуры» [11, 12]. Для условий Республики Беларусь технология этой культуры разработана БелНИИМВиХ (ныне Институт мелиорации Национальной академии наук Беларуси) совместно с ЦНИИМЭСХ (ныне Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства)<sup>2</sup> [13, 14]. Обоснованием этого являются местные почвенно-климатические условия. Они требуют разработки определенных параметров технологического процесса и специальных технических средств для его реализации. Данная культура торфяной почвы достигается путем проведения глубокой мелиоративной вспашки. В результате горизонтально расположенные слои торфяной залежи и подстилающего песка перемещаются в наклонное положение. Почвенный профиль приобретает слоистое строение: от подошвы плужной борозды и до поверхности расположены параллельные (под углом около 45°) пласты песка (для дренажа) и торфяной залежи (для накопления влаги, рис. 2). Пахотный слой 0–20 см создается из подстилающей породы при соответствующем включении в нее органического вещества (торфа). Мероприятие разовое. Все виды почвообработки в дальнейшем проводятся только в пределах нового пахотного слоя.

По своему строению новый почвенный профиль не имеет природных аналогов, не может быть отнесен ни к одному существующему типу почв. Правильно считать новую почву техно-

<sup>2</sup> Технология преобразования торфяников в органо-минеральные почвы и система сельскохозяйственного их использования : утв. БелНИИМВиХ 19.12.1986 / В. И. Белковский [и др.] ; Белорус. науч.-исслед. ин-т мелиорации и вод. хоз-ва, Центр. науч.-исслед. ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва Нечернозем. зоны СССР, Белорус. гос. с.-х. акад. Горки : [б. и.], 1987. 40 с.; Технологические схемы по окультуриванию мелиорируемых земель в Нечерноземной зоне / Сев. науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации. Ленинград : [б. и.], 1990. 72 с.

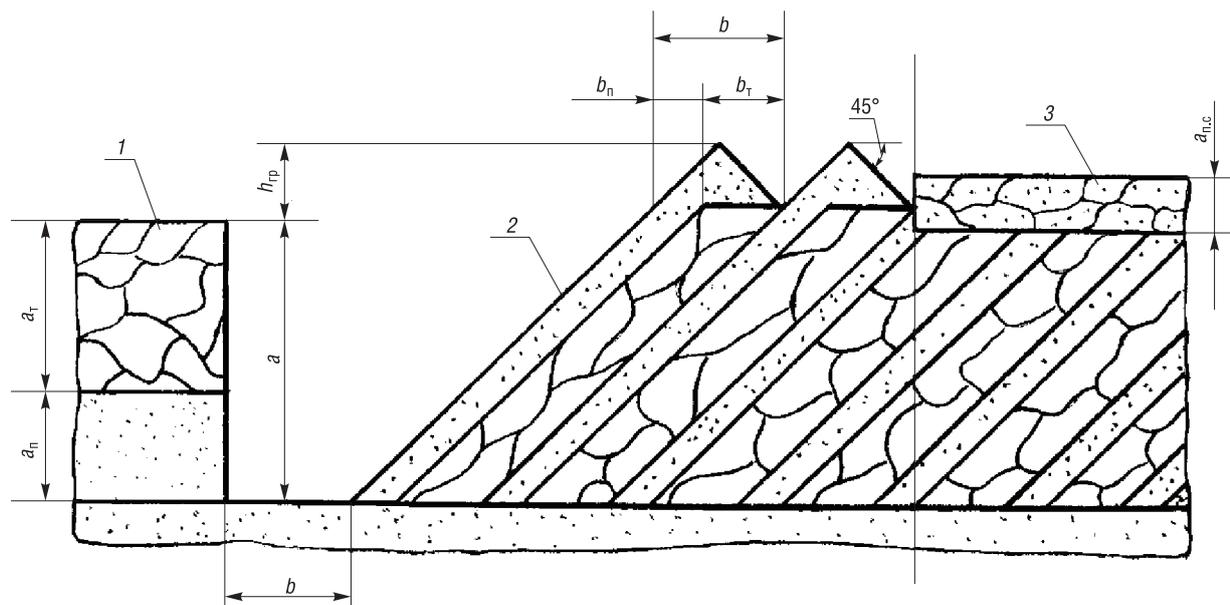


Рис. 2. Технологическая схема глубокой мелиоративной вспашки мелкозалежного торфяника: 1 – почвенный профиль до вспашки; 2 – после глубокой вспашки; 3 – после первичного освоения;  $a$  – глубина вспашки;  $a_t$  – слой торфа;  $a_n$  – слой припахиваемого песка;  $a_{nc}$  – минерально-органический пахотный слой ( $a_{nc} = 20\text{--}25$  см);  $b$  – ширина захвата плуга;  $b_t$  – ширина торфяной прослойки;  $b_n$  – ширина песчаной прослойки;  $h_{gp}$  – высота гребней

Fig. 2. Process layout of deep amelioratory plowing of shallow peat bog: 1 – soil profile before plowing; 2 – after deep plowing; 3 – after primary development;  $a$  – plowing depth;  $a_t$  – peat layer;  $a_n$  – plowed sand layer;  $a_{nc}$  – mineral-and-organic plowing layer ( $a_{nc} = 20\text{--}25$  cm);  $b$  – plow width;  $b_t$  – peat layer width;  $b_n$  – sand layer width;  $h_{gp}$  – ridge height

генной. Выполненные исследования [4, 15–21] показали, что созданная такой вспашкой почва позволяет решить следующие важнейшие агроэкологические задачи, связанные с сельскохозяйственным использованием торфяных почв:

- 1) предохранить торфяную залежь от ветровой эрозии и минерализации путем ее изолирования от контакта с атмосферой;
- 2) повысить коэффициент фильтрации почвы и тем самым улучшить ее водно-воздушный режим, при этом атмосферные осадки значительно лучше и полнее поглощаются почвой;
- 3) смягчить экстремальность болотного климата, повысить несущую способность почвогрунта и улучшить условия для использования техники при проведении полевых работ;
- 4) использовать новую почву под любую сельскохозяйственную культуру без опасения быстрой сработки торфяной залежи. Продуктивность новой почвы в среднем на 10–20 % выше;
- 5) устранить опасность возникновения пожаров.

Эффективность (в экономическом и энергетическом аспектах) применения глубокой мелиоративной вспашки ограничена, с одной стороны, глубиной вспашки, которая зависит от глубины торфа и типа подстилающего почвогрунта, с другой стороны, наименьшей глубиной торфа, при которой возможно формирование агротехнически оптимального нового почвенного профиля, поэтому рациональной считается глубокая мелиоративная вспашка почвы с торфяным слоем 30–120 см [4, 11].

**Технологические основы глубокой мелиоративной вспашки.** Важнейшим условием высокого плодородия новой почвы и придания ей целенаправленного антропогенного развития является оптимальное соотношение в пахотной и подпахотной части почвенного профиля минеральных и органических компонентов (песка и торфа). Излишнее обогащение пахотного слоя торфом может привести к снижению его водопроницаемости, ухудшению свободного передвижения воды из-за увеличения доли медленно дренирующих пор. Он будет обладать повышенной влажностью, содержать мало воздуха, препятствовать поступлению в растения питательных веществ, развитие такого пахотного слоя в культурную почву будет сдерживаться, и наоборот, слишком малое количество органического вещества приведет к снижению его влагоемкости

и сорбционной способности. Установлено<sup>3</sup>, что для нижней оптимальной границы водопроницаемости (0,4–0,5 м/сут) это соответствует 3–6 % торфа (по массе) в пахотном слое из супесей и 10–13 % – из рыхлых песков, поэтому при определении количества вносимого в пахотный слой торфа необходимо учитывать плотность как подстилающего грунта, так и торфяной залежи. Для выполнения этих условий и перехода к оптимальным объемным соотношениям торфа и песка получено следующее выражение:

$$m_T = \frac{\rho_T}{\rho_T + \frac{\rho_{п.}}{i_1}} \times 100, \quad (1)$$

где  $m_T$  – содержание массы торфа в пахотном слое, %;  $\rho_T$  и  $\rho_{п.}$  – плотность торфа и песка соответственно;  $i_1$  – соотношение (объемное) торф : песок (Т : П) в пахотном слое.

Графическая интерпретация зависимости (1) представлена на рис. 3. Анализ рисунка показал, что при соотношении Т:П = 1:2 оптимальное обогащение пахотного слоя органическим веществом обеспечивается при плотности торфа 0,1–0,4 г/см<sup>3</sup> (при плотности песка 1,3–1,5 г/см<sup>3</sup>). Соотношение  $i_1 = 1:1$  дает оптимум содержания органического вещества лишь при плотности торфа 0,1–0,2 г/см<sup>3</sup>, а (2:1) – при  $\rho_T = 0,1$  г/см<sup>3</sup>. Соотношение  $i_1 \geq (3:1)$  при данных значениях  $\rho_{п.}$  и  $\rho_T$  неприемлемо.

Необходимое соотношение слоев торфа и песка в почвенном профиле обеспечивается заданием определенной глубины и ширины обрабатываемого пласта специальным плугом. Эти параметры определяют не только орудие, но и являются исходным условием обеспечения качества выполняемого технологического процесса.

**Обоснование глубины вспашки и типажа плугов.** Глубина вспашки определяет тип специального плуга и служит исходным показателем при его расчете и проектировании. Ее следует рассматривать как функцию мощности торфяной залежи и для каждого конкретного условия (по  $i_1$  и  $i_2$ ) определять по такому выражению:

$$a = a_T \frac{1+i_2}{i_2} + a_{п.с} \frac{i_2 - i_1}{i_2(1+i_1)}, \quad (2)$$

при этом слой припахиваемого минерального грунта

$$a_{п.с} = a_T \frac{1}{i_2} + a_{п.с} \frac{i_2 - i_1}{i_2(1+i_1)}, \quad (3)$$

где  $a_{п.с}$  – глубина нового пахотного слоя,  $a_{п.с} = 20–25$  см.

Рассчитанные согласно выражениям (2), (3) графические зависимости глубины вспашки и слоя припахиваемого минерального грунта от глубины залежи при подстилании ее различными его типами представлены на рис. 4. Для расчета приняли  $i_1 = 0,5$ . Увеличение содержания торфа в пахотном слое до предельного отношения  $i_1 = 1,0$  при прочих равных условиях уменьшает необходимую глубину вспашки, поэтому приведенные графические зависимости определяют наибольшую глубину пахоты в любом конкретном случае.

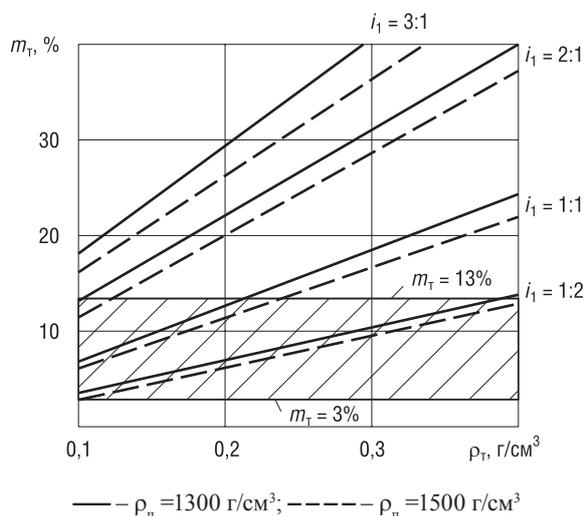


Рис. 3. Влияние соотношения торф: песок  $i_1$  и их плотностей  $\rho_T$  и  $\rho_{п.}$  на содержание в новом пахотном слое органического вещества  $m_T$

Fig. 3. Effect of ratio peat: sand  $i_1$  and their densities  $\rho_T$  and  $\rho_{п.}$  on the content of organic matter in the new plowing layer  $m_T$

<sup>3</sup> Технология преобразования торфяников в органо-минеральные почвы и система сельскохозяйственного их использования : утв. БелНИИМВХ 19.12.1986 / В. И. Белковский [и др.] ; Белорус. науч.-исслед. ин-т мелиорации и вод. хоз-ва, Центр. науч.-исслед. ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва Нечернозем. зоны СССР, Белорус. гос. с.-х. акад. Горки : [б. и.], 1987. 40 с.

Выражение (2) позволяет устанавливать верхний предел области возможного применения плуга как средства механизации глубокой мелиоративной вспашки. Зная максимальную глубину вспашки плуга и тип подстилающего минерального грунта, можно определить наибольшую глубину торфяника, при которой будет обеспечена качественная вспашка. Верно и обратное. Так, для плуга, рассчитываемого на вспашку торфяников слоем  $a_T \leq 60$  см и подстилаемых песками, которые занимают большие площади Белорусского Полесья (только торфяно-глеевых ( $a_T = 30\text{--}50$  см) – 174,6 тыс. га) и нуждаются в улучшении в первую очередь [22], как минимальную по технологическим условиям следует принять наибольшую расчетную глубину вспашки  $a = 100$  см (см. рис. 4). При такой глубине обеспечивается нижнее граничное соотношение Т:П в подпахотном слое  $i_2 = 2,0$  и в пахотном  $i_1 = 0,5$ . Если торфяник подстилается рыхлым песком, то возможна вспашка его таким плугом даже при слое 75 см.

На графике рис. 4 видно, что минимальная расчетная глубина вспашки плуга при подстилании торфяника песками и  $a_T \leq 100$  см должна составлять порядка 160 см. Такой плуг может быть только прицепным и, как показывает зарубежный опыт [7], его масса в 2 раза и более выше навесного плуга с глубиной вспашки  $a = 100$  см. Поэтому при достаточном объеме сельскохозяйственных площадей различной мощности торфа использование одного типоразмера плуга с глубиной вспашки до 160 см является не обоснованным уже прежде всего экономически как по издержкам изготовления, так и эксплуатации.

Анализ графических зависимостей (см. рис. 4) показывает, что увеличение глубины вспашки связано с параллельным возрастанием глубины слоев торфа и песка. Чтобы соблюсти эти требования в связи с технологическим процессом двухъярусной глубокой мелиоративной вспашки, в идеальном случае необходимо обеспечить непрерывное в работе регулирование глубины пахоты корпуса I яруса по отношению к корпусу II яруса. Сложность конструктивного исполнения этого условия вызывает потребность компромиссного решения: стационарное регулирование по высоте корпуса I яруса относительно корпуса II яруса с учетом среднестатистической глубины слоя торфа на участке вспашки.

Диапазон и дискретность такого регулирования позволяют установить графические зависимости (см. рис. 4), построенные согласно выражению (3). Оптимальным условиям вспашки для всех среднестатистических значений глубины торфяного слоя в пределах 25–60 см соответствует диапазон регулирования от 20 до 50 см с дискретностью в 5 см (табл. 1).

**Обоснование ширины обрабатываемого пласта и двухъярусного плуга.** Так как конструктивно двухъярусный плуг настоящего назначения представляет одну секцию рабочих органов [23], то их ширина захвата является не только технологическим, но и экономическим показателем, который вместе с рабочей скоростью определяет производительность орудия.

Анализ работы разного назначения плужных корпусов по ширине захвата  $b$  показывает, что корпус может работать как с полным подрезанием пласта лемехом, когда его рабочая ширина равна или меньше конструктивной ( $b \leq b_k$ ), так и с недорезом (огрехом), если она больше конструктивной ширины захвата ( $b > b_k$ ).

Исследованием [24] установлено, что при подрезании пласта с деблокирующим выступом (недорезом) в любом случае имеет место снижение удельного усилия резания, отнесенного к площади поперечного сечения среза, если ширина выступа  $b_b \leq b_{b_{np}}$  некоторой предельной ширины

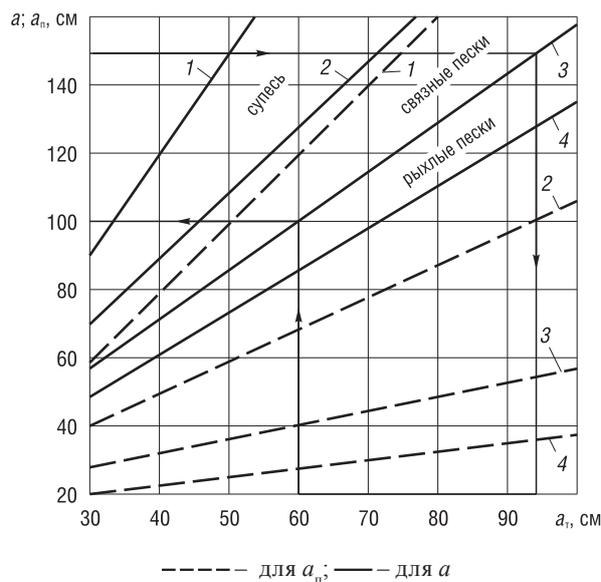


Рис. 4. Глубина вспашки  $a$  и слой припахиваемого минерального грунта  $a_n$  в зависимости от глубины торфа  $a_T$  при соотношении торф:песок в пахотном слое  $i_1 = 1:2$  и в подпахотном профиле  $i_2$ : 1 – 0,5; 2 – 1,0; 3 – 2,0; 4 – 4,0

Fig. 4. Plowing depth  $a$  and layer of plowed mineral soil  $a_n$  depending on peat depth  $a_T$  at peat:sand ratio in plowing layer  $i_1 = 1:2$  and in the subplowing profile  $i_2$ : 1 – 0,5; 2 – 1,0; 3 – 2,0; 4 – 4,0

Таблица 1. Слой припахиваемого песка  $a_n$  в зависимости от глубины торфа  $a_r$ , соотношения торф: песок в подпахотном горизонте  $i_2$  и типа песка ( $i_1 = 0,5$ )

Table 1. Plowing sand layer  $a_n$  depending on the peat depth  $a_r$ , peat:sand ratio in the underplowing horizon  $i_2$  and sand type ( $i_1 = 0.5$ )

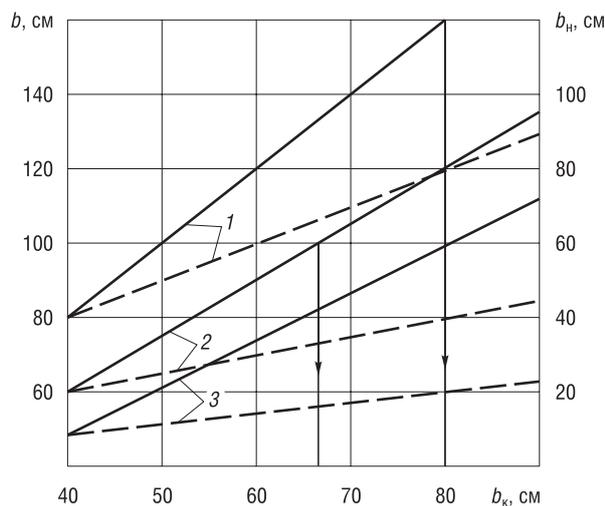
Тип песка, содержание глинистых частиц	$i_2$	$a_r$ , см	$a_n$ , см
Рыхлый, 0–5 %	4–2	25–30	20
		30–40	25
		40–50	25; 30
		50–60	30; 35
Связный, 5–10 %	2–1	25–30	25; 30; 35
		30–40	35; 40; 45
		40–50	35; 40; 45; 50
		50–55	40; 45
		55–60	40

Источник: Казакевич П.П. Улучшение агроэкологических свойств почв на основе разработки специальных отвальных плугов: дис... д-ра техн. наук: 05.20.01. Минск, 1998. 277 с.

при  $b_n > b_n$  заведомо технологически нарушается требование равномерности песчаной и торфяной прослоек по глубине вспашки.

Если недорез принять в максимальном технологическом значении (равном ширине песчаной прослойки  $b_n$ ), то между шириной захвата плуга  $b$  и его конструктивной шириной  $b_k$  существует функциональная связь

$$b = \frac{1+i_2}{i_2} b_k. \quad (4)$$



(—) — ширина захвата (----) — ширина недореза

Рис. 5. Зависимость рабочей ширины захвата  $b$  и недореза  $b_n$  от конструктивной ширины захвата плуга  $b_k$  при  $b_n = b_n$ : 1 —  $i_2 = 1$ ; 2 —  $i_2 = 2$ ; 3 —  $i_2 = 4$

Fig. 5. Dependence of operating width  $b$  and undercut  $b_n$  from structural plow width  $b_k$  at  $b_n = b_n$ : 1 —  $i_2 = 1$ ; 2 —  $i_2 = 2$ ; 3 —  $i_2 = 4$

выступа, при которой наступает блокированное резание. Это вызвано не только тем, что удельное сопротивление отрыву меньше, чем при сдвиге, но и потому, что площадь отрыва меньше, чем площадь среза. В работе [25] показано, что при недорезе торфяного пласта не только улучшается его оборот, но и уменьшается энергоёмкость вспашки.

Из условия минимизации энергоёмкости глубокой мелиоративной вспашки по отделению пласта от массива рациональным следует считать работу его плужных корпусов с недорезом перемещаемых ими слоев пласта, величина которого может быть ограничена агротехническими и энергетическими показателями. Оптимальная величина недореза пласта для глубокой мелиоративной вспашки определяется условием выполнения агротехнических требований при наименьшей силе тяги. Максимальная величина недореза ограничена шириной песчаной прослойки  $b_n$ , т.е.  $b_n \leq b_n$ , так как

Графическая реализация этой функции для граничных значений  $i_2$  подстилающего минерального грунта приведена на рис. 5. Здесь же для указанных условий даны графические зависимости недореза пласта  $b_n$  при

$$b_n = (1/i_2) b_k. \quad (5)$$

Анализ этих зависимостей показывает, что как ширина захвата  $b$ , так и величина недореза  $b_n$  увеличиваются с нарастанием конструктивной ширины плуга  $b_k$  и уменьшением отношения  $i_2$ . Учитывая, что по агрономическим требованиям  $b < 100$  см и  $10$  см  $\leq b_n = b_n \leq 50$  см, из графических зависимостей на рис. 5 следует, что в плуге для глубокой мелиоративной вспашки торфяников, подстилаемых песками ( $1 \leq i_2 \leq 4$ ), конструктивная ширина захвата по лемеху корпуса II яруса должна составлять  $b_k = 50$ – $80$  см. Однако только при  $b_k = 50$  см плуг технологически может обеспечить все необходимые соотношения  $i_2$  путем уменьшения  $b$  с увеличением соотношения  $i_2$ . Интервал рациональных значений  $b_k = 50$ – $67$  см.

**Результаты испытания плуга.** Двухъярусный плуг ПТН-0,9 для глубокой мелиоративной вспашки мелкозалежных торфяников прошел приемочные испытания на Белорусской МИС (протокол №7-66-85) [24]. Рекомендован в производство. Технические показатели плуга представлены в табл. 2.

Параллельно испытаниям плуга проводили разработку полного технологического комплекса работ, связанных с проведением глубокой мелиоративной вспашки, условий и особенностей ведения земледелия на новой почве, а также оценку развития процессов, определяющих ее экологическое состояние.

Агротехническая оценка включала определение следующих основных показателей. В качестве оценок сформированного наклонно-слоистого почвенного профиля использовали соотношение средних значений ширины торфяной и песчаной прослоек по высоте в подпахотном горизонте и полученное содержание торфа в новом 20-сантиметровом пахотном слое, рассчитанное по формуле

$$m_t = \frac{S_t}{S_t + \frac{\rho_n}{\rho_t} S_n} \cdot 100,$$

где  $S_t$  и  $S_n$  – площадь торфа и песка в профильном сечении пахоты, включаемые в 20-сантиметровый верхний горизонт.

Как условия, обеспечивающие возможность формирования нового профиля почвы, определяли ширину захвата и глубину вспашки, а также коэффициент вариации ширины захвата и среднеквадратическое отклонение глубины вспашки от заданных величин, гребнистость пашни. Так как бороздной обрез корпуса II яруса выполнен под углом 45°, то измерение угла наклона почвенных слоев в подпахотном горизонте не имело смысла.

По результатам испытаний коэффициент надежности технологического процесса составил 0,98, а коэффициент вариации ширины захвата – 3,6–9,3 %, среднеквадратическое отклонение глубины вспашки – ±3,5–8,7 см, что соответствует исходным требованиям и техническому заданию на плуг.

Испытаниями подтверждены все показатели плуга ПТН-0,9<sup>4</sup>, заданные техническим заданием на его разработку. Он имеет высокую техническую надежность (коэффициент готовности – 1,0), что в итоге позволило принять решение о постановке его на серийное производство.

Выполненные экспериментально-теоретические исследования по агроинженерии глубокой мелиоративной вспашки торфяных почв являются научной основой разработки новых моделей плугов данного назначения [21, 26].

### Выводы

1. Преобразование методом глубокой мелиоративной вспашки специальными плугами почвенного профиля мелкозалежных торфяников в принципиально новую профильную текстуру почвогрунта с последующим формированием минерального пахотного слоя следует считать одним из наиболее эффективных путей коренного улучшения свойств и рационального использования запасов органического вещества.

Т а б л и ц а 2. Основные технические показатели плуга ПТН-0,9

Table 2. Basic specifications of PTN-0.9 plow

Показатель	Значение
Тип плуга	Навесной
Агрегируется с болотоходным трактором класса	6–8
Глубина вспашки корпусом, см: I яруса II яруса	25–60 50–100
Конструкционная ширина захвата корпусов, см	60
Рабочая скорость, км/ч	До 4
Производительность за час основного времени, га	Не менее 0,22
Диапазон регулирования высоты относительной установки корпусов, см	25–50
Габариты плуга, мм: длина ширина высота	3910 3780 2280
Масса, кг	2200
Обслуживающий персонал	Тракторист

<sup>4</sup> Глубокая вспашка мелкозалежных торфяников / Р.Л. Турецкий [и др.] // Техника в сел. хоз-ве. 1987. №10. С. 20–21; Агрегат для ярусной вспашки: а. с. 1034622 СССР, МКИЗ А ОI В 13/14 / Н.Г. Райкевич, Р.Л. Турецкий, П.П. Казакевич, М.А. Горин. №3396597/30–15; заявл. 15.02.82; опубл. 15.08.83.

2. Теоретическая глубина такой вспашки определяется как мощностью торфяника, так и толщиной припахиваемого минерального грунта (песка или супеси). На основании полученных аналитических выражений, анализа технологических схем формирования плугом нового почвенного профиля, с учетом наличия площадей торфяных почв по мощности залежи обоснована целесообразность применения двух типов специальных плугов: двухъярусного навесного с глубиной вспашки 50–100 см и одноярусного прицепного с глубиной обработки 90–150 см.

3. Обоснована технологически рациональная работа плуга по схеме с недорезом пласта равным ширине песчаной прослойки в подпахотном горизонте. Установлен интервал рациональных значений конструкционной ширины захвата двухъярусного плуга (по корпусу II яруса) – 50–67 см. Ширина захвата плуга не должна превышать 100 см, а ее фактическая величина находится в соотношении с принятой конструктивной шириной корпусов в интервале отношений (5:4)–(2:1) в зависимости от агротехнических требований.

4. Результаты выполненной разработки двухъярусного плуга ПТН-0,9 для глубокой мелиоративной вспашки подтверждены государственными приемочными испытаниями, что явилось основанием рекомендации его к серийному производству.

Результаты представленного исследования являются развитием теории отвальной вспашки. Они позволяют вести разработку специальных двухъярусных плугов для глубокой мелиоративной обработки мелкозалежных торфяников, обеспечивающей повышение их сохранности в процессе сельскохозяйственного использования.

#### Список использованных источников

1. *Скоропанов, С.Г.* Вопросы эволюции торфяных почв / С.Г. Скоропанов, И.И. Лиштван, Н.Н. Бамбалов // Тезисы докладов Республиканской конференции по проблемам минерализации и эрозии торфа, 14–15 нояб. 1978 г. / Ин-т торфа, Науч. совет АН БССР по проблемам Полесья; отв. ред. И.И. Лиштван. – Минск, 1978. – С. 4.
2. *Авраменко, Н.М.* Трансформация осушенных торфяных почв Полесья / Н.М. Авраменко // Мелиорация. – 2017. – №4 (82). – С. 12–15.
3. *Ефимов, В.Н.* Торфяные почвы и их плодородие / В.Н. Ефимов. – Л.: Агропромиздат, 1986. – 264 с.
4. *Белковский, В.И.* Плодородие и использование торфяных почв / В.И. Белковский, В.М. Горошко. – Минск: Ураджай, 1991. – 295 с.
5. *Авраменко, Н.М.* Экспериментальные исследования осадки торфа на мелиоративной системе «ПОМС» Лунинецкого района / Н.М. Авраменко // Мелиорация. – 2018. – №4 (86). – С. 50–62.
6. *Емельянова, И.М.* Повышение продуктивности мелиорируемых земель Нечерноземья / И.М. Емельянова, Г.А. Малышева, Т.П. Попова. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 255 с.
7. Структурная мелиорация торфяно-болотных почв / М-во мелиорации и вод. хоз-ва СССР, Всесоюз. голов. проект.-технол. ин-т «Союзоргтехводстрой»; сост.: В.И. Белковский, В.С. Казаков. – М.: Колос, 1973. – 64 с.
8. *Курчевский, С.М.* Сравнительная оценка пескования и глинования для повышения продуктивности торфяных почв / С.М. Курчевский, Э.И. Поднебесная // Агрохим. вестн. – 2013. – №2. – С. 27–28.
9. *Курчевский, С.М.* Влияние различных доз минерального грунта на агрохимические показатели и продуктивность торфяных почв / С.М. Курчевский, Д.В. Виноградов, А.В. Щур // Вестн. Ряз. гос. агротехнол. ун-та им. П.А. Костычева. – 2015. – №1 (25). – С. 27–31.
10. *Проневич, В.А.* Обґрунтування структурної меліорації торфових ґрунтів для органічного агровиробництва / В.А. Проневич // Агрокол. журн. – 2012. – №4. – С. 48–54.
11. *Эггельсманн, Р.* Руководство по дренажу / Р. Эггельсманн; пер. с нем. В.Н. Горинского; под ред. и с предисл. Ф.Р. Зайдельмана. – М.: Колос, 1978. – 255 с.
12. *Kuntze, H.* Meliorationsbeispiel sandmischkultur / H. Kuntze // Landbauforschung Völknerode. – 1974. – S.-H. 24: Meliorative Bodenbearbeitung. – S. 31–46.
13. *Севернев, М.М.* Устойчивое повышение урожая сельскохозяйственных культур и направление научно-технического прогресса в почвообработке / М.М. Севернев, Р.Л. Турецкий, П.П. Казакевич // Материалы годичного собрания Западного отделения ВАСХНИЛ, 10 февр. 1983 г., г. Таллин. – Таллин, 1983. – С. 61–65.
14. *Казакевич, П.П.* Улучшение агроэкологических свойств почв на основе разработки специальных отвальных плугов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / П.П. Казакевич. – Минск, 1998. – 277 л.
15. *Севернев, М.М.* Создание новой почвы на выработанных торфяниках / М.М. Севернев, П.П. Казакевич, В.И. Белковский // Мелиорация и урожай. – 1986. – №1. – С. 26–28.
16. *Белковский, В.И.* Улучшение маломощных торфяников / В.И. Белковский, И.П. Лашкевич // Земледелие. – 1981. – №5. – С. 49–53.
17. *Тимошенко, В.Я.* Механизация обработки торфяников / В.Я. Тимошенко, О.М. Мацепуро, П.П. Казакевич. – Минск: Ураджай, 1988. – 80 с.
18. *Авраменко, Н.М.* Технология использования антропогенно-преобразованных торфяных почв по методу песчано-смешанной культуры в условиях Полесья / Н.М. Авраменко, Н.Н. Бамбалов, А.В. Юзупанов // Мелиорация.

Современные методики, инновации и опыт практического применения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 19–20 окт. 2017 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т мелиорации ; ред.: Н. К. Вахонин [и др.]. – Минск, 2017. – С. 150–162.

19. Бамбалов, Н. Н. Минерализация органического вещества торфяной почвы в условиях послойно-смешанной культуры / Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова // Современные проблемы повышения плодородия почв и защиты их от деградации : материалы междунар. науч.-практ. конф., 27–29 июня 2006 г., Минск / Нац. акад. наук Беларуси [и др.] ; ред.: В. В. Лапа [и др.]. – Минск, 2006. – С. 27–29.

20. Бамбалов, Н. Н. Сохранение и улучшение торфяных почв Полесья при сельскохозяйственном использовании в условиях немецкой песчано-смешанной культуры / Н. Н. Бамбалов, Н. М. Авраменко // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : сб. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 14–17 сент. 2016 г. : в 2 т. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.] ; ред.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск, 2016. – Т. 1. – С. 16–20.

21. Мееровский, А. С. К вопросу применения глубокой мелиоративной вспашки на торфяных почвах / А. С. Мееровский, Л. С. Шкабаро // Мелиорация. – 2016. – № 1 (75). – С. 7–10.

22. Белковский, В. И. Структурная мелиорация мелкозалежных торфяников / В. И. Белковский. – Минск : Ураджай, 1985. – 88 с.

23. Турецкий, Р. Л. Двухъярусный плуг для улучшения свойств торфяных почв / Р. Л. Турецкий, Н. Г. Райкевич, П. П. Казакевич // Гидротехника и мелиорация. – 1984. – № 1. – С. 42–46.

24. Турецкий, Р. Л. Резание мелиорируемых грунтов и интенсификация рабочих процессов машин для осушения и освоения земель Нечерноземной зоны : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Р. Л. Турецкий. – Минск, 1981. – 427 л.

25. Мацепуро, М. Е. Силы, действующие на корпус плуга при вспашке болотно-торфяных почв / М. Е. Мацепуро, С. И. Назаров // Вопросы земледельческой механики / Акад. с.-х. наук БССР, Ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва. – Минск, 1959. – Т. 2. – С. 135–163.

26. Мееровский, А. С. Создание высокопроизводительных агрегатов для мелиоративной вспашки торфяных почв / А. С. Мееровский, Л. С. Шкабаро // Мелиорация. – 2018. – № 3 (85). – С. 74–77.

## References

1. Skoropanov S. G., Lishtvan I. I., Bambalov N. N. Issues of evolution of peat soils. *Tezisy докладov Respublikanskoi konferentsii po problemam mineralizatsii i erozii torfa (14–15 noyabrya 1978 g.)* [Abstracts of the Republican conference on the problems of peat mineralization and erosion (November 14–15, 1978)]. Minsk, 1978, pp. 4 (in Russian).

2. Avramenko N. M. Transformation of drained peat soils in Polesye region. *Melioratsiya* [Reclamation], 2017, no. 4 (82), pp. 12–15 (in Russian).

3. Efimov V. N. *Peat soils and their fertility*. Leningrad, Agropromizdat Publ., 1986. 264 p. (in Russian).

4. Belkovskii V. I., Goroshko V. M. *Fertility and use of peat soils*. Minsk, Uradzhai Publ., 1991. 295 p. (in Russian).

5. Avramenko N. M. Experimental studies of the peat sediment with the reclamation system “POMS” in Luninets district. *Melioratsiya* [Reclamation], 2018, no. 4 (86), pp. 50–62 (in Russian).

6. Emel'yanova I. M., Malysheva G. A., Popova T. P. *Increasing the productivity of reclaimed lands of the Non-Black Soil Zone*. Leningrad, Agropromizdat Publ., 1987. 255 p. (in Russian).

7. Belkovskii V. I., Kazakov V. S. *Structural reclamation of peat bog soils*. Moscow, Kolos Publ., 1973. 64 p. (in Russian).

8. Kurchevskii S. M., Podnebesnaya E. I. Comparison making sand and clay on efficiency and conservation of peat soils. *Agrokhimicheskii vestnik = Agrochemical Herald*, 2013, no. 2, pp. 27–28 (in Russian).

9. Kurchevskii S. M., Vinogradov D. V., Shchur A. V. Influence of mineral ground different doses on agrochemical indexes and peat soil efficiency. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva = Herald of Ryazan State Agrotechnical University Named after P. A. Kostychev*, 2015, no. 1 (25), pp. 27–31 (in Russian).

10. Pronevich V. A. Justification of structural reclamation of peat soils for organic agricultural production. *Agroekologichnii zhurnal = Agroecological Journal*, 2012, no. 4, pp. 48–54 (in Ukrainian).

11. Eggelsmann R. *Dränanleitung : für Landbau, Ingenieurbau und Landschaftsbau*. Verlag, Wasser und Boden, 1973. 332 p. (in German).

12. Kuntze H. Meliorationsbeispiel sandmischkultur [Reclamation example of a mixed crop on sand]. *Landbauforschung Völkenrode : Sonderheft = FAL agricultural research : special issue*, 1974, spec. iss. 24, pp. 31–46 (in German).

13. Severnev M. M., Turetskii R. L., Kazakevich P. P. Sustainable increase in crop yield and the direction of scientific and technological progress in soil cultivation. *Materialy godichnogo sobraniya Zapadnogo otdeleniya VASKhNIL (10 fevralya 1983g., g. Tallin)* [Proceedings of the annual meeting of the Western branch of VASKhNIL (February 10, 1983, Tallin)]. Tallin, 1983, pp. 61–65 (in Russian).

14. Kazakevich P. P. *Improvement of agro-ecological properties of soils on the basis of development of special mould-board ploughs*. PhD Thesis. Minsk, 1998. 277 p. (in Russian).

15. Severnev M. M., Kazakevich P. P., Belkovskii V. I. Creation of new soil on the depleted peatlands. *Melioratsiya i urozhai* [Land Reclamation and Harvest], 1986, no. 1, pp. 26–28 (in Russian).

16. Belkovskii V. I., Lashkevich I. P. Improvement of shallow peatlands. *Zemledelie* [Arable Farming], 1981, no. 5, pp. 49–53 (in Russian).

17. Timoshenko V. Ya., Matsepuro O. M., Kazakevich P. P. *Mechanization of peatland processing*. Minsk, Uradzhai Publ., 1988. 80 p. (in Russian).

18. Avramenko N. M., Bambalov N. N., Yuzupanov A. V. The technology of using of anthropogenically transformed peat soils according to the method of sand-mixed culture in the conditions of Polesye. *Melioratsiya. Sovremennyye metodi-*

*ki, innovatsii i opyt prakticheskogo primeneniya: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Minsk, 19–20 oktyabrya 2017 g.)* [Land reclamation. Modern methods, innovations and practical experience: proceedings of the International scientific and practical conference (Minsk, October 19–20, 2017)]. Minsk, 2017, pp. 150–162 (in Russian).

19. Bambalov N. N., Smirnova V. V. Mineralization of the organic matter of peat soil in the conditions of graded and mixed culture. *Sovremennye problemy povysheniya plodorodiya pochv i zashchity ikh ot degradatsii: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 27–29 iyunya 2006 g.*, Minsk [Present-day problems of soil fertility increase and their protection from degradation: proceedings of the international scientific-practical conference, June 27–29, 2006, Minsk]. Minsk, 2006, pp. 27–29 (in Russian).

20. Bambalov N. N., Avramenko N. M. Conservation and improvement of Polesye peat soils in course of agricultural use under conditions of German sand-mix culture. *Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya prirodnykh resursov i ustoychivoe razvitie Poles'ya: sbornik dokladov Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Minsk, 14–17 sentyabrya 2016 g.)* [Problems of rational use of natural resources and sustainable development of Polesye: a collection of papers of the International scientific conference (Minsk, September 14–17, 2016)]. Minsk, 2016, vol. 1, pp. 16–20 (in Russian).

21. Meerovskii A. S., Shkabaro L. S. Deep reclamation plowing on peat soils. Main aspects. *Melioratsiya* [Reclamation], 2016, no. 1 (75), pp. 7–10 (in Russian).

22. Belkovskii V. I. *Structural reclamation of shallow peatlands*. Minsk, Uradzhai Publ., 1985. 88 p. (in Russian).

23. Turetskii R. L., Raikevich N. G., Kazakevich P. P. A double-depth plough to improve the properties of peat soils. *Gidrotekhnika i melioratsiya* [Hydrotechnics and Land Reclamation], 1984, no. 1, pp. 42–46 (in Russian).

24. Turetskii R. L. *Cutting of reclaimed soils and intensification of the working processes of machines for draining and developing land in the Non-Black Soil Zone*. PhD Thesis. Minsk, 1981. 427 p. (in Russian).

25. Matsepuro M. E., Nazarov S. I. Forces affecting the plough body during plowing of swamp-peat soils. *Voprosy zemledel'cheskoi mekhaniki* [Issues of Arable Farming Mechanics]. Minsk, 1959, vol. 2, pp. 135–163 (in Russian).

26. Meerovskii A. S., Shkabaro L. S. Design of high performance unit for reclamation plowing of peat soils. *Melioratsiya* [Reclamation], 2018, no. 3 (85), pp. 74–77 (in Russian).

#### Информация об авторе

*Казакевич Петр Петрович* – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, заместитель Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси (пр. Независимости, 66, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: oan2011@mail.ru

#### Information about author

*Kazakevich Petr P.* – Corresponding Member, Ph. D. (Engineering), professor. The Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, (66, Nezavisimosti Ave., Minsk 220072, Republic of Belarus). E-mail: oan2011@mail.ru