

Научный журнал

Восточно-Европейского института торфяного дела
Тверского государственного технического университета



№27 (80) 2023

ТРУДЫ ИНСТОРФА



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Восточно-Европейский институт торфяного дела
Тверского государственного технического университета

ТРУДЫ ИНСТОРФА

Научный журнал

Издается с апреля 1922 года
Выходит два раза в год

№ 27 (80)
январь–июнь 2023 г.

Тверь
2023

УДК 622.331(05)
ББК 26.343.4я5

Труды Инсторфа: научный журнал. № 27 (80)
(январь–июнь 2023 г.). Тверь: ТвГТУ, 2023. 62 с.

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Тверской
государственный технический университет»

Главный редактор
проф., д. ф.-м. н.
Андрей Викторович Твардовский

Научный редактор
акад. НАНБ, д. т. н. И.И. Лиштван

Редакционный совет:
проф., д. э. н. Г.А. Александров;
проф., д. т. н. А.Н. Васильев;
проф., д. т. н. В.И. Горячев; проф., д. т. н. Н.В. Гревцев;
чл.-корр. РАН, д. с-х. н. Л.И. Инишева;
проф., д. т. н. Б.Ф. Зюзин (*зам. научного редактора*);
проф., д. т. н. А.В. Кондратьев;
проф., д. х. н. Ю.Ю. Косивцов;
проф., д. т. н. В.И. Косов; д. б. н. О.Л. Кузнецов;
д. г. н. Б.В. Курзо;
проф., д. б. н. Е.Д. Лапшина;
проф., д. т. н. Б.И. Масленников;
проф., д. т. н. А.В. Михайлов;
проф., д. т. н. В.А. Миронов;
проф., д. т. н. Б.В. Палюх; д. т. н. В.Г. Селеннов;
проф., д. т. н. В.Ф. Сеницин; д. б. н. А.А. Сиринов;
проф., д. х. н. М.Г. Сульман; д. б. н. Т.К. Юрковская;
доц., д. т. н. А.Л. Яблонев

Редакционная коллегия:
проф., д. т. н. С.Н. Гамаюнов;
проф., д. т. н. Ю.Н. Женихов;
доц., д. т. н. О.С. Мисников;
доц., д. г. н. В.В. Панов (*зам. главного редактора*);
доц., д. т. н. К.В. Фомин

Секретарь редакционной коллегии
к. т. н. А.Е. Тимофеев

Технический редактор к. т. н. В.В. Кузовлев

Свидетельство о регистрации
Эл № ФС 77-41964 выдано 9.09.2010 г.
Роскомнадзор

Редактор О.В. Чеховская
Корректор Т.С. Самборская
Технический редактор А.Ю. Соколова
E-mail: instorf@gmail.com
Тел. редакции: 8 (422) 78-93-91

ISSN 2224-1523

© Тверской государственный
технический университет, 2023
© Коллектив авторов, 2023
© Макет ООО «Издательство «Триада», 2023

Содержание

Калюжный И.Л.

Поступление минеральных
компонентов из атмосферных
осадков на болота
Кольского полуострова..... 3

Ахметьева Н.П.

Михайлова А.В.

Кричевец Г.Н.

Гидрохимический состав воды
болотной реки Дубна..... 14

Столбикова Г.Е.

Черткова Е.Ю.

Купорова А.В.

Методы расчета цикловых сборов
с учетом технологических схем
организации добычи
фрезерного торфа..... 22

Столбикова Г.Е.

Купорова А.В.

Исследование эффективности
осушения производственных
площадей добычи торфа 28

Петров А.А.

Зюзин Б.Ф.

Обоснование рационального
шагающего механизма
для болотоходной техники..... 33

Копенкина Л.В.

Профессор В.Д. Копенкин
(к 90-летию со дня рождения) 55

УДК 556.56

Калюжный И.Л.

Калюжный Игорь Леонидович, к. т. н., руководитель лаборатории гидрофизики ФГБУ «Государственный гидрологический институт», г. Санкт-Петербург, Россия, hfl@mail.ru

ПОСТУПЛЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА БОЛОТА КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Аннотация. Показано, что источником минерального питания олиготрофных болот Кольского полуострова являются химические компоненты атмосферных осадков. Дана оценка пространственно-временной изменчивости приходной составляющей минерального питания болот. Установлено, что на территории полуострова образовались зоны: промышленного загрязнения и условного природного фона. В зонах промышленного загрязнения среднегодовая концентрация ионов в осадках, вне зависимости от болотной провинции, равна 20,6 мг/дм³, среднегодовые выпадения их – 10,9 т/(км²·год). Концентрация ионов в зонах природного фона равна 7,19 мг/дм³. Среднегодовые их выпадения – 3,89 т/(км²·год). В этих зонах наблюдаются значимые тренды уменьшения концентраций и выпадения минеральных компонентов. В зонах загрязнения тренды отсутствуют.

Ключевые слова: атмосферные осадки, содержание и выпадения ионов, болота Кольского полуострова.

Kalyuzhny I.L.

Kalyuzhny Igor L. Candidate of Technical Sciences, Head of the Hydrophysics Laboratory FSBI «State Hydrological Institute», Saint Petersburg, Russia, hfl@mail.ru

INCOME OF MINERAL COMPONENTS FROM PRECIPITATION INTO THE BOGS OF THE KOLA PENINSULA

Abstract. It is shown, that a source of mineral nutrition for oligotrophic bogs of the Kola Peninsula is the chemical components of precipitation. Assessment of space and temporal variability of income component of mineral nutrition for various bogs is given in the paper. It is established, that zones of industrial pollution and semi-natural background formed over the Peninsula territory. Within the zones of industrial pollution, mean annual concentration of ions in precipitation is equal to 20.6 mg/dm³, and its mean annual fallout amounts to 10.9 g/(km² year) regardless of bog province. Within the zones of semi-natural background, ions' concentration is equal to 7.19 mg/dm³ and its mean annual fallout – 3.89 g/(km² year). For such zones trend to decrease of concentration and fallout of mineral components is observed. Within the zone of industrial pollution trends are not identified.

Keywords: precipitation, ions' fallout, bogs of the Kola Peninsula.

Введение

Площадь болот Мурманской области, в границах нулевой залежи, равна 3770 тыс. га или 26% ее территории [1]. Болота Кольского полуострова, в основном, представлены растительностью олиготрофного и олигомезотрофного типа. Большинство речных систем полуострова берут исток в этих болотах. Химический состав вод речных истоков близок к аналогичным показателям болотных вод [2]. При современном развитии экономики этого арктического региона возрастают требования к оценке химического состава речных и атмосферных вод, как источников питания болот. Установлено, что ионный состав вод болот провинции Финско-Кольской северной тайги и лапландских аапа-болот (где и проводились наши исследования) в основном формируется под влиянием химического состава атмосферных осадков [2]. Исследования на специализированной болотной станции Пулозерская Мурманского УГМС (с 1981 по 1993 год) носили эпизодический характер и не могли дать общего представления о минеральном питании болот во всех болотных провинциях Кольского полуострова. Поэтому целью настоящей работы является оценка пространственно-временной изменчивости и химического состава приходящей составляющей минерального питания болот основных болотных провинций Кольского полуострова.

Мониторинг химического состава атмосферных осадков на Кольском полуострове

Регулярные наблюдения по химическому составу атмосферных осадков (ХСАО) на территории Кольского п-ва были организованы ФГБУ «ГГО» в 1957–1958 гг. [3].

Программа мониторинга ХСАО содержит определение следующих компонентов: показателя степени кислотности (рН), удельной электропроводности, основных ионов: гидрокарбонатного, хлоридного и сульфатного, аммония, нитрат-ионов, а также ионов металлов – калия, натрия, магния, кальция и, в некоторых случаях, цинка.

Методика отбора проб атмосферных осадков на сети гидрометеорологических станций производилась по единой методике с применением стандартного оборудования [4]. Химический состав отобранных проб осадков определялся в лаборатории Мурманского УГМС, по стандартным методикам принятых в системе Росгидромета.

Наблюдения за ХСАО на сети Росгидромета, производится одновременно, в комплексе с определением метеорологических характеристик.

Мониторинг за ХСАО входит в программу работ шести метеорологических (м/с) и одной специализированной болотной станции Пулозерская. Расположение их на карте-схеме болотных провинций Кольского полуострова приведено на (рис. 1).

Пункты определения ХСАО охватывают территории Кольского полуострова, в которой расположены следующие болотные провинции и пункты наблюдений в них:

- провинция Кольской тундры, лесотундры и крупнобугристых болот (м/с Мурманск, 68°58'45" с.ш. 33°05'33" в.д., м/с Краснощелье 67°20'57" с.ш. 67°20'57" в.д.);
- Фенноскандийская провинция березовой лесотундры и крупнобугристых болот (м/с Никель 69°24'46" с.ш. 30°13'19" в.д.);
- провинция Финско-Кольской северной тайги и лапландских аапа-болот (м/с Пулозерская, 68°24'29" с.ш. 33°19'34" в.д. м/с Падун, 68°36'00" с.ш. 31°50'00" в.д.); м/с Янискоки (68°58'13" с.ш. 28°46'45" в.д.);
- Карело-Финская провинция северной тайги и аапа-болот (м/с Зареченск, 66°40'00" с.ш. 31°22'59" в.д.).

Результаты ведения мониторинга, за химическим составом атмосферных осадков и их выпадения на земную поверхность, регулярно, через каждые 5 лет, издаются в выпусках «Ежемесячные данные по химическому составу атмосферных осадков» [6–11], а также периодически в трудах Главной геофизической лаборатории им. А.И. Воейкова [12–15].

Химический состав атмосферных осадков Кольского полуострова

Горнопромышленные комплексы Мурманской области существенно воздействуют на состояние окружающей среды [16–18]. Этому способствует активная циклоническая деятельность с сильными ветрами, которая рассеивает загрязняющие вещества на значительные расстояния и территорию полуострова.

Согласно результатам исследований, приведенных в работе [17], воздействие на растительный покров, осуществляемый предприятиями АО «Кольская ГМК» охватывает территорию в 2,7 тыс. км², а аэрозольное техногенное воздействие распространяется на – 1,9 тыс. км². Промышленные площадки г. Мон-

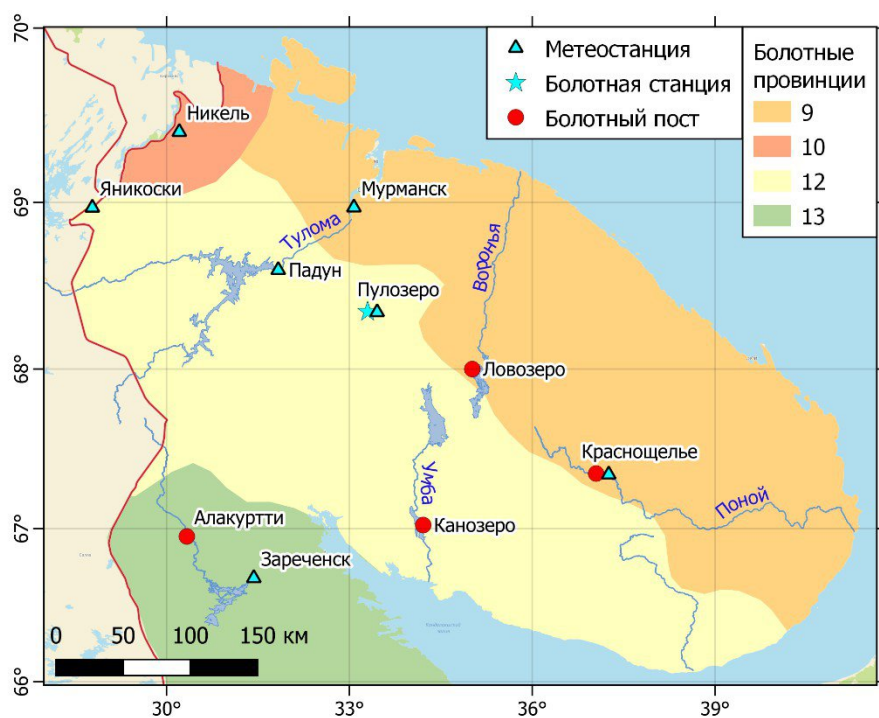


Рис. 1. Карта-схема расположения пунктов наблюдений за химическим составом атмосферных осадков на болотных провинциях Кольского полуострова. Условные обозначения: 9 – Провинция Кольской тундры, лесотундры и крупнобугристых болот; 10 – Фенноскандийская провинция березовой лесотундры и крупнобугристых болот; 12 – Провинция Финско-Кольской северной тайги и лапландских аапа-болот; 13 – Карело-Финская провинция северной тайги и аапа-болот. Наименование провинций дано по работе [5]

Fig. 1. Map-diagram of the location of observation points for the chemical composition of atmospheric precipitation in the mires provinces of the Kola Peninsula. Symbols: 9 – Province of the Kola tundra, forest tundra and coarse-grained mires; 10 – Fennoscandian province of birch forest tundra and coarse-grained swamps; 12 – Province of the Finnish–Kola Northern taiga and Lapland aapa mires; 13 – Karelo-Finnish province of the northern taiga and aapa mires. The name of the provinces is given according to the work [5]

чегорска, соответственно, на 1,2 тыс. км² и 1,0; Ковдорский ГОК – 0,3 и 0,2 тыс. км². Условно чистые участки, т.е. слабо подверженные воздействию комбината «Североникель» располагаются на расстоянии 40–45 км от комбината [16]. Отсюда следует, что концентрация компонентов химического состава атмосферных осадков на территории полуострова будет отличаться определенной неоднородностью. Формируются зоны загрязненности и зоны условного природного фона.

На космических снимках крупных промышленных центров и городов, в весенний период при таянии снежного покрова, обнаруживаются зоны его загрязнения [19, 20]. Анализ их позволил выделить зоны ограничены контуром, в которых загрязняющие компоненты в два раза превышают фоновые значения. По мере удаления от центра степень загряз-

нения уменьшается и на расстоянии до 70 км сливается с фоновым значением. На Кольском полуострове значимые площади загрязнений наблюдаются в районах Мончегорска, Никеля, Мурманска, Апатитов, Кандалакши и др.

На основании материалов наблюдений за ХСАО на полуострове выделяется зона условного природного фона, прилегающая к м/с Краснощелье. Она охватывает большую часть провинции Кольской тундры, лесотундры и крупнобугристых болот. В пределах центральной части этой болотной провинции, в Ловозерской тундры, располагается Ловозерский ГОК. Основной причиной образования здесь ореола загрязнения является пыление незакрепленных поверхностей хвостохранилищ. Однако, площадь загрязнения относительно небольшая и не может существенно повлиять на ХСАО в центральной и восточной части этой болотной провинции.

Наблюдения за ХСАО на м/с Краснощелье охватывают временной диапазон с 1991 по 2020 г. Среднеголетнее содержание главнейших ионов, по данным наблюдений на этой станции, приведено в табл. 1. Анализ содержания ионов в атмосферных осадках показывает, что средние значения сумм анионов (6,4 мг/дм³) в два раза превышает сумму катионов (3,13 мг/дм³). Аналогичное превышение анионов над катионами, в болотных водах и атмосферных осадках, приведено в работе [2] по результатам наблюдений с 1981 по 1993 гг. на болотном массиве Пулозерское (м/с Пулозерская). Здесь содержание главнейших ионов в осадках располагаются в следующей последовательности: Cl⁻ > SO₄²⁻ > HCO₃⁻ > Na⁺ > NO₃⁻ > K⁺ > Ca²⁺ > NH₄⁺ > Mg²⁺. На болотном массиве, в водах кустарничково-лишайникового микроландшафта, ряд преобразуется и принимает следующий вид: Cl⁻ > HCO₃⁻ > Na⁺ > K⁺ > Ca²⁺ > SO₄²⁻ > Mg²⁺. В грядово-мочажинном комплексе он несколько изменяется: Cl⁻ > Na⁺ > K⁺ > HCO₃⁻ > Ca²⁺ > SO₄²⁻ > Mg²⁺. Высокое содержание хлора, в зонах условного природного фона, в основном определяется близостью к морю.

Наибольшей изменчивостью в осадках, по данным м/с Пулозерская, обладает гидрокарбонатный ион. Амплитуда его изменений равна 8,32 мг/дм³, от наибольших значений до аналитического нуля. За период наблюдений он отсутствовал в 2007, 2010–2013 году. Этот ион наблюдается в том случае, когда водородный показатель больше 5,0 рН. Средняя величина водородного показателя за приведенные годы равна 4,74 рН.

Динамика водородного показателя и гидрокарбонатного иона (I_{гк}) за годы наблюдений приведены на рис. 2. Тренд иона описывается полиномиальным уравнением вида

$$I_{гк} = 0,0052 \tau^2 - 20,885 \tau + 21\,080 \text{ (мг/дм}^3\text{)},$$

где τ – календарный год, начиная с 1991. Коэффициент корреляции равен 0,576.

Особенностью тренда HCO₃⁻, начиная с 2002 г., является уменьшение и стабилизация рН, что в целом привело к значительному снижению содержания гидрокарбонатного иона в атмосферных осадках. В слабокислых водах мезоолиготрофных болот этот ион не обнаруживается. Он проявляется в них только при рН > 5,0. Зависимость содержания гидрокарбонатного иона (I_{нсо}) от величины рН для вод Пулозерского болота определяется выражением

$$I_{нсо} = 0,58 (\text{pH})^3 - 6,21(\text{pH})^2 + 20,38 (\text{pH}) - 17,9 \text{ (мг/дм}^3\text{)}$$

при R = 0,830.

Аналогичная зависимость содержания этого иона в атмосферных осадках имеет вид

$$I_{нсо} = 1,246 (\text{pH})^2 - 11,279 (\text{pH}) + 25,5$$

при R = 0,538. Уравнение справедливо при рН от 4,0 до 6,2.

Высокое содержание гидрокарбонатного иона в атмосферных осадках оказывает заметное влияние на их общую минерализацию (M_{об}). Эта зависимость определяется уравнением вида:

$$M_{об} = 1,407 I_{гк} + 7,50 \text{ (мг/дм}^3\text{)}$$

при R = 0,671. В болотных водах она аппроксимируется выражением

$$M_{об} = 1,64 I_{гк} + 32,6 \text{ (мг/дм}^3\text{)}$$

при R = 0,560.

Результаты сравнения ионов хлора в атмосферных осадках и болотных водах показывают, что в последних его значительно больше. На мезоолиготрофных болотах это возможно объяснить влиянием со стороны берегов и дна болота, на олиготрофных – аккумулярующей способностью торфа.

Установлено, что среднегодовая концентрация господствующих ионов имеет временной

Таблица 1. Содержание главнейших ионов в атмосферных осадках по наблюдением на метеостанции Краснощелье с 1991 по 2021 гг.

Table 1. The content of the main ions in atmospheric precipitation as observed at the Krasnoshchelye weather station from 1991 to 2021

Элемент	Содержание ионов, мг/дм ³									Сумма ионов, мг/дм ³	рН
	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		
Среднее	1,75	2,29	1,43	0,93	0,32	1,31	0,88	0,49	0,13	9,53	5,45
Max	3,82	8,90	8,32	2,31	0,70	5,81	4,26	1,47	0,51	23,4	6,10
Min	0,98	1,08	0,00	0,36	0,11	0,63	0,27	0,22	0,01	4,60	4,02

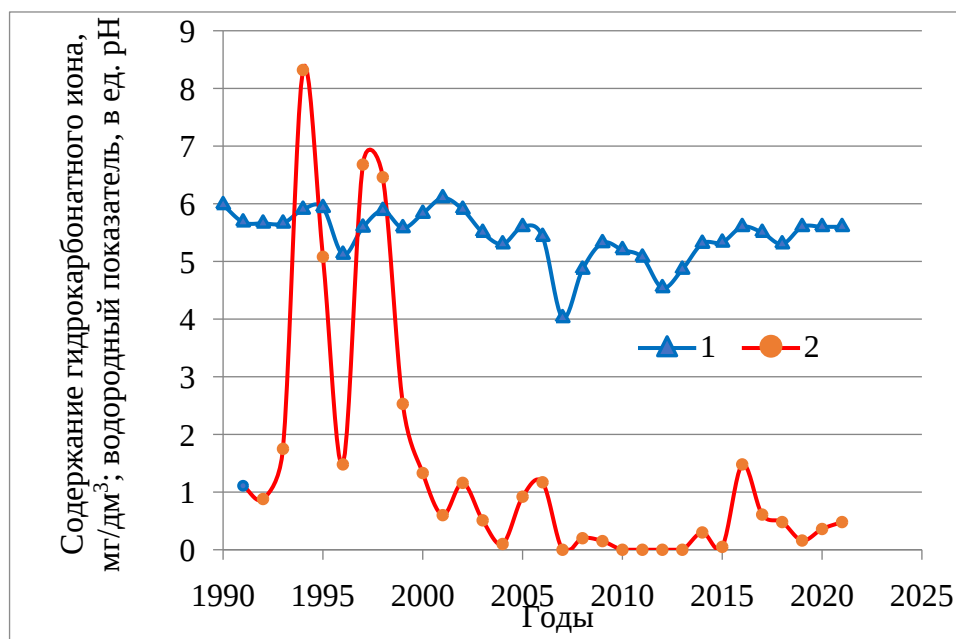


Рис. 2. Динамика содержания водородного показателя (1) и гидрокарбонатного иона (2) по данным наблюдений метеостанции Краснощелье за период с 1990 по 2021 г.

Fig. 2. Dynamics of the content of the hydrogen index (1) and the bicarbonate ion (2) according to the observations of the Krasnoshchelye weather station for the period from 1990 to 2021

тренд. Тренд среднегодовых сумм ионов ($M_{\text{СУМ}}$) описывается уравнением вида

$$M_{\text{СУМ}} = 2E + 257 \tau^{-77,6} \text{ при } R = 0,812$$

или

$$M_{\text{СУМ}} = -0,1582 \tau + 321,4 \text{ при } R = 0,700$$

где τ – календарный год, начиная с 1991.

Оценка временных линейных трендов господствующих ионов приведена в табл. 2. Значимость их определялась по [21]. Они установлены значимы с 95% уровнем надежности.

В годовом ходе господствующих ионов наблюдается два максимума, в апреле-мае и в октябре-ноябре. В отдельные годы максимумы сдвигаются на более поздний срок (рис. 3).

Минимальное содержание ионов наблюдается в летнее время. В летний период 2015 и 2019 г. содержание ионов понизилось соответственно до 4,60 и 4,77 мг/дм³. Отметим при этом, что и годовой ход ионов в водах болот аналогичный, но зимний максимум в них объясняется вытеснением ионов кристаллами льда при промерзании залежи [2].

Таблица 2. Временные тренды главных ионов (мг/дм³) атмосферных осадков по наблюдениям на м/с Краснощелье. Период с 1990 по 2021 г.

Table 2. Time trends of the main ions (mg/dm³) of atmospheric precipitation according to observations at the Krasnoshchelye m/s. The period from 1990 to 2021

№ п/п	Элемент	Уравнения	Коэффициент корреляции	Значимость тренда
1	SO ₄ ²⁻	$I_{\text{SO}_4^{2-}} = -0,0403 \tau + 82,6$	0,549	Значим
2	Cl ⁻	$I_{\text{Cl}^-} = -0,0736 \tau + 149,9$	0,477	Значим
3	Na ⁺	$I_{\text{Na}^+} = -0,039 \tau + 79,6$	0,379	Значим
4	K ⁺	$I_{\text{K}^+} = -0,0333 \tau + 67,7$	0,364	Значим
5	Ca ²⁺	$I_{\text{Ca}^{2+}} = -0,0174 \tau + 35,4$	0,571	Значим
6	NH ₄ ⁺	$I_{\text{NH}_4^+} = -0,0132 \tau + 26,8$	0,714	Значим

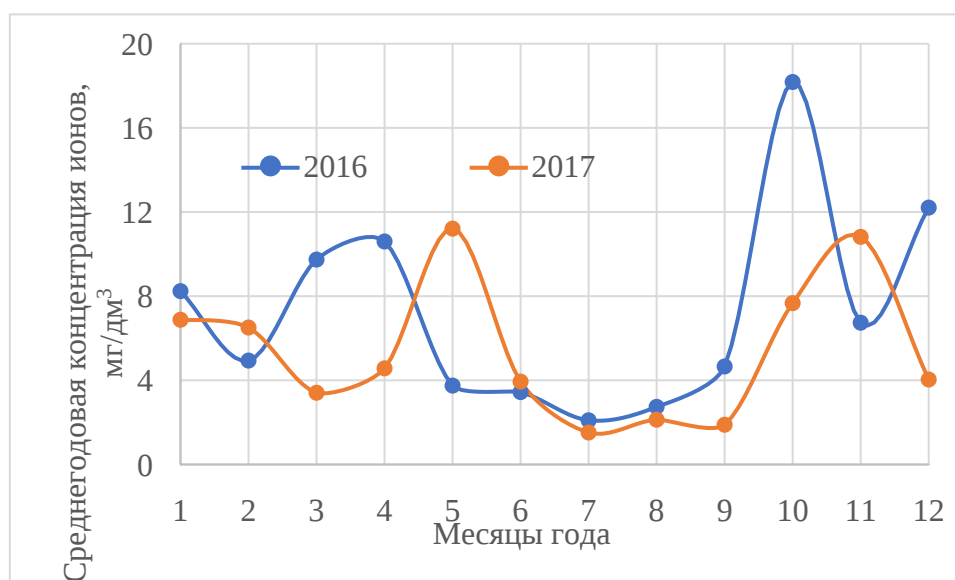


Рис. 3. Годовой ход концентрации ионов в атмосферных осадках по данным наблюдений в 2016 и 2017 гг.

Fig. 3. The annual course of ion concentration in atmospheric precipitation according to observations in 2016 and 2017

Таблица 3. Среднегодовое содержание сумм ионов в зонах условного природного фона

Table 3. The average annual content of the sum of ions in the zones of conditional natural background

Пункт	Содержание ионов, мг/дм ³									Сумма, мг/дм ³
	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
Падун	2,24	1,55	0,67	0,49	0,31	0,75	0,39	0,50	0,13	7,05
Зареченск	1,48	1,26	0,69	1,26	0,25	0,57	0,31	0,64	0,13	6,59
Янискоски	1,28	1,50	0,42	1,06	0,19	0,83	0,52	0,33	0,08	6,21
Краснощелье	1,75	2,29	0,93	1,43	0,32	1,31	0,88	0,49	0,13	9,53
Среднее	1,69	1,65	0,68	1,06	0,27	0,86	0,52	0,49	0,11	7,34

Если представить временной ряд концентраций вещества в осадках по м/с. Краснощелье в виде двух отрезков, от 1991 до 2002 года и от 2003 до 2020 г, то тренд в первом отрезке практически отсутствует (не значим), во втором он также не значим. Аналогичное отсутствия трендов наблюдаются и по данным мс. Падун, начиная с 2002 г, а также и по мс. Зареченск – с 2007 г. Отсюда следует, что, в зонах, где расположены эти пункты, в основном, устранены источники антропогенного влияния и концентрация ионов приближается к уровню природного фона. Таким образом, на болотных провинциях Кольского полуострова выделяются зоны условного природного фона в районе расположения метеорологических станций Падун, Зареченск, Краснощелье и Янискоски. Среднегодовое содержание сумм ионов, за период наблюдений с 1991 по 2020 год, по этим станциям приведено в табл. 3.

Таким образом, в болотных провинциях Кольского п-ва, в зонах условного природного фона, концентрация ионов изменяется в пределах от 6,21 до 9,53 мг/дм³ и в среднем равна 7,34 мг/дм³. Для сравнения: среднегодовая величина концентрации ионов в загрязненных зонах равна 20,6 мг/дм³.

Выпадение минеральных компонентов в болотных провинциях Кольского п-ова

Расчет поступления химических веществ с атмосферными осадками на поверхность болотного массива определяется по формуле

$$P = M_{CP} Q_{Г} K,$$

где P – модуль прихода растворенного химического вещества на поверхность болота, т/км²; M_{CP} – средняя годовая концентрация вещества в осадках, мг/дм³; K = 10³ – коэффи-

циент пересчета размерностей дм^3 в км^2 и мг в тонны.

Количество компонентов атмосферных осадков, выпадающих на земную поверхность, прямо пропорционально их концентрации и зависит от слоя выпавшего дождя [12]. С увеличением слоя осадков величина выпадения минеральных компонентов несколько увеличивается.

На рис. 4 приведена эта зависимость, полученная по данным наблюдений м/с Мурманск и м/с Краснощелье, которая аппроксимируется выражением вида

$$P = 0,5586 M_{\text{ср}} - 0,10 \text{ (т/км}^2 \text{ год)}$$

при $R = 0,943$.

Анализ многолетних рядов среднегодовых величин концентраций ионов и выпадений на болота показывают их значительную временную изменчивость. В рядах близких к фоновым значениям концентрации ионов (м/с Краснощелье и др.) наблюдаются хорошо выраженные, практически синхронные, тренды как концентрации, так и выпадения ионов. Анализ многолетних рядов среднегодовых величин концентраций ионов и выпадений на болота показывают их значительную временную изменчивость. В рядах близких к фоновым значений концентрации ионов (м/с Краснощелье и др.) наблюдаются хорошо выраженные, прак-

тически синхронные, тренды как концентрации, так и выпадения ионов.

На рис. 5 приведены временные тренды по мс. Краснощелье определяемые выражениями: для среднегодовых концентраций ионов

$$M_{\text{ср}} = -0,3602 \tau + 732,2 \text{ (мг/дм}^3\text{)} \\ \text{при } R = 0,721;$$

для среднегодовых значений выпадения

$$P = -0,1582 \tau + 321,4 \text{ (т/км}^2 \text{ год)} \\ \text{при } R = 0,699.$$

Результаты расчетов по выпадению минеральных компонентов на Краснощельское болото приведено в табл. 4. Количество выпадающих в осадках ионов, в порядке убывания, образуют следующий ряд: $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{NO}_3^- > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$. Преобладание ионов хлора объясняется влиянием переноса воздушной массы со стороны моря. При преобладании компонентов техногенного происхождения преобладает сера. Тогда, по данным мс. Мурманск ряд несколько изменяется: $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ и далее $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^- > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$. Аналогичные изменения прослеживаются и по ряду ионов в зоне м/с Никель.

Поступая на болотный массив состав минеральных компонентов трансформируется под действием биохимических процессов происходящих в деятельном слое болот.

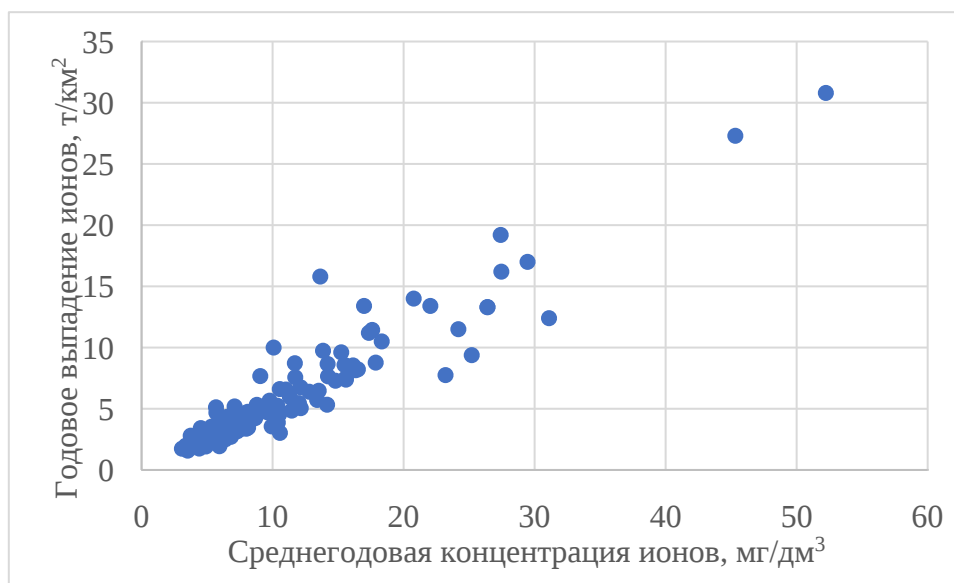


Рис. 4. Зависимость годового выпадения главных ионов от среднегодовой их концентрации по данным наблюдений на м/с Краснощелье и м/с Мурманск

Fig. 4. The dependence of the annual precipitation of the main ions on their average annual concentration according to observations on m/s Krasnoshchelye and m/s Murmansk

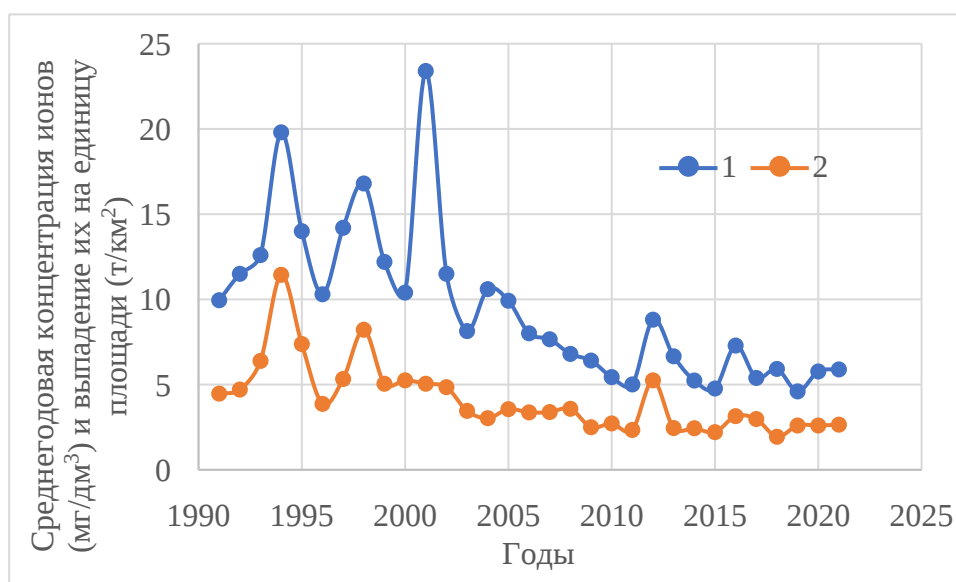


Рис. 5. Временной ряд среднегодовых концентраций ионов в атмосферных осадках (1) и их выпадений (2) на поверхность Краснощельского болота

Fig. 5. Time series of average annual concentrations of ions in atmospheric precipitation (1) and their precipitation (2) on the surface of the Krasnoshchelsky mire

Таблица 4. Результаты сравнения выпадения главнейших ионов в ореоле промышленного загрязнения (г. Мурманск) и их фоновых значений (м/с Краснощелье)

Table 4. Results of comparison of the precipitation of the main ions in the halo of industrial pollution (Murmansk) and their background values (m/s Krasnoshchelye)

Элемент	Выпадение главнейших ионов, т/км ²									
	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сумма
По данным наблюдений м/с Мурманск. Атмосферные осадки 554,9 мм										
Среднее	3,72	2,94	0,53	0,52	0,24	1,13	0,44	1,37	0,28	11,2
Max	8,23	8,38	1,31	2,47	0,6	2,32	0,97	4,94	0,83	27,4
Min	1,47	1,41	0,07	0,00	0,03	0,54	0,21	0,34	0,10	5,22
По данным наблюдений м/с Краснощелье. Атмосферные осадки 537,4 мм										
Среднее	0,9	0,95	0,39	0,64	0,14	0,51	0,33	0,23	0,05	4,14
Max	2,56	1,8	0,88	5,07	0,28	1,09	0,98	0,98	0,29	11,4
Min	0,36	0,48	0,19	0,00	0,05	0,23	0,13	0,00	0,00	1,94
Разность средних	2,82	1,99	0,14	-0,12	0,10	0,62	0,11	1,14	0,23	7,06

На этом болоте, по данным наблюдений за 1981–1990 г, ежегодные величины прихода изменяются в широком диапазоне, от 4,8 до 30,3 т/(км²·год). На единицу площади болота в среднем за год поступает 13,0 т/(км²·год) растворенного химического вещества. На олиготрофном болоте Ламмин-Суо (Ленинградская область) поступление их соответственно несколько меньше и равно 9,78 т/(км²·год) [22].

В ореолах промышленного загрязнения, конгломерат г. Мурманск, западная часть провинции Кольской тундры, лесотундры и круп-

нобугристых болот), величина выпадающих минеральных компонентов должны всегда превышать их фоновые значения. Сумма выпадений ионов на загрязненной территории ореола м/с Мурманск в 2,7 раза больше, чем на Краснощельском болоте в одноименной болотной провинции. В табл. 5 приведены результаты сравнений выпадений главных ионов по м/с Мурманск и м/с Краснощельское. В зоне влияния г. Мурманск выпадение главнейших ионов превышает эти характеристики на Краснощельском болоте за исключением гид-

Таблица 5. Среднегодовые содержания главных ионов в атмосферных осадках и их выпадение на поверхность болот по данным наблюдений на метеостанциях Кольского полуострова

Table 5. Average annual concentrations of major ions in atmospheric precipitation and their deposition on the surface of mires according to observations at meteorological stations of the Kola Peninsula

Элемент	Осадки, мм	Среднегодовое содержание ионов, мг/дм ³	Выпадение на единицу площади, т/(км ² ·год)	Осадки, мм	Среднегодовое содержание ионов, мг/дм ³	Выпадение на единицу площади, т/(км ² ·год)
Зареченск, 1990–2020 гг.			Падун, 1990–2020 гг.			
Среднее	598,6	6,57	3,91	516,9	6,97	3,62
Мах	757,6	14,2	8,66	657,3	13,4	7,57
Min	427,3	3,37	1,98	397,3	3,61	2,02
Краснощелье, 1990–2021 гг.			Янискоски, 2003–2020 гг.			
Среднее	537,4	9,01	4,14	628,2	6,21	3,90
Мах	726,5	17,6	11,4	1155,6	13,6	15,7
Min	382,4	4,62	1,94	391,9	2,93	1,15

рокарбонатного иона. Сумма поступлений на поверхность болот в зоне промышленного загрязнения в 2,7 раза выше фоновых значений по м/с Краснощелье. Превышение выпадение гидрокарбонатов обусловлено тем фактом, что атмосферные осадки в районе Краснощелье более щелочные (рН = 5,45), чем в ореоле г. Мурманск.

Финско-Кольская провинция северной тайги и лапландских аапа-болот занимает практически половину территории Кольского полуострова. В ней расположены зоны значительного загрязнения (Мончегорские тундры, Апатиты, район г. Кандалакша) и зоны природного фона. Здесь мониторинг за ХСАО производится на м/с Падун и м/с Янискоски. Результаты сравнения рядов мониторинга не равной продолжительности (1991 по 2020 г, м/с Падун, м/с Янискоски, 2003 – 2020 гг.), приведенных в табл. 5, показывают, что их фоновые значения, как содержания главных ионов (6,97 и 6,21 мг/дм³), так и их выпадение

на единицу площади (3,62 и 3,90 т/км²) близки между собой.

Поэтому для фоновых значений Финско-Кольская провинция северной тайги и лапландских аапа-болот, в качестве показателей содержания и выпадения ионов, возможно принять их средние величины, соответственно – 6,59 мг/дм³ и 3,76 т/(км²·год).

Анализ рядов наблюдений по м/с Падун и м/с Зареченск, однозначно и синхронно изменяются. Тренды показывают уменьшение компонентов содержания и выпадения (табл. 6) ионов во времени, от 1990 до 2020 г. Все тренды значимы с 95% уровнем надежности.

Карело-Финская провинция располагается в южной части Мурманской области. В зоне условного природного фона, по данным наблюдений по м/с Зареченск, среднегодовое содержание ионов в осадках равно 6,57 мг/дм³, а их выпадение на единицу площади 3,91 т/(км²·год) (табл. 5). Эти характеристики близки к фоновым значениям по м/с Падун

Таблица 6. Временные тренды среднегодовых концентраций и выпадения ионов по данным наблюдений м/с Заречное и м/с Падун

Table 6. Time trends of average annual concentrations and precipitation of ions according to observations of m/s Zarechnoye and m/s Padun

Метеостанция	Уравнение	Коэффициент корреляции	Степень значимости
Среднегодовые концентрации ионов, мг/дм ³			
М/с Заречное	$M_{ср} = -0,0988 \tau + 204,7$	0,365	Значим
М/с Падун	$M_{ср} = -0,1478 \tau + 303,3$	0,541	Значим
Среднегодовые выпадения ионов на поверхность болот, т/(км ² ·год)			
М/с Заречное	$P = -0,0549 \tau + 114,0$	0,515	Значим
М/с Падун	$P = -0,0807 \tau + 165,4$	0,538	Значим

и м/с Янискоски, соответственно 6,97 мг/дм³ и 6,21 мг/дм³.

Фенноскандийская провинция березовой лесотундры и крупнобугристых болот занимает менее 10% северо-западной части Мурманской области. Мониторинг атмосферного воздуха осуществляет мс. Никель. По данным наблюдений, с 2006 по 2020 г., среднегодовая концентрация компонентов в атмосферных осадках составляет 20,1 мг/дм³, что несколько меньше по сравнению с данными по м/с Мурманск (21,0 мг/дм³), т. е. на 10,4%. Величина выпадения минеральных компонентов равна 10,6 мг/(дм³·год). Основным здесь загрязняющим компонентом при переработке медно-никелевых руд является диоксид серы. Его концентрация превышает санитарные нормы.

В зонах промышленного загрязнения среднегодовая концентрация ионов, вне зависимости от болотной провинции, равна 20,6 мг/дм³, а среднегодовые выпадения их на поверхность болот – 10,9 т/(км² год). Тренды среднегодовых концентраций и их выпадения отсутствуют.

В зонах условного природного фона среднегодовая концентрация ионов равна 7,19 мг/дм³, что в 2,9 раза меньше, чем в зонах загрязнения. Среднегодовые их выпадения – 3,89 т/(км²·год). Диапазон изменений величин выпадений минеральных компонентов, в пределах изменения фоновых значений, составляет 0,52 т/(км²·год). На загрязненных территориях болотных провинций выпадения минеральных компонентов в 2,8 раза превышает их фоновые значения.

Выводы

Основным источником минерального питания олиготрофных и мезотрофных болот являются минеральные компоненты атмосферных осадков, пыль космического и антропогенного происхождения. На основе натурных определений, установлена зависимость ионного состава вод олиготрофных болот от состава вод атмосферных осадков. Регулярные наблюдения по химическому составу атмосферных осадков на территории Кольского п-ва производятся с 1957 по 2020 годы. Результаты наблюдений позволили дать оценку пространственно-временной изменчивости химического состава приходящей составляющей минерального питания болот основных болотных провинций Кольского полуострова. Установлено, что на территории полуострова образовались зоны: промыш-

ленного загрязнения и условного природного фона. В зоне условного природного фона Финско-Кольской провинции северной тайги и лапландских аапа-болот, регулярные наблюдения производятся на м/с Падун и м/с Янискоски, эпизодические – на м/с Пулозерская. Среднегодовое содержание ионов в условиях природного фона равно 6,59 мг/дм³, выпадение их на единицу площади – 3,76 т/(км²·год). По данным м/с Пулозерская содержание главных ионов в осадках располагаются в следующей последовательности: Cl⁻ > SO₄²⁻ > HCO₃⁻ > Na⁺ > NO₃⁻ > K⁺ > Ca²⁺ > NH₄⁺ > Mg²⁺. В провинции Кольской тундры, лесотундры и крупнобугристых болот, по данным мс. Краснощелье, среднегодовое содержание ионов в условиях природного фона равно 9,01 мг/дм³, выпадение их на единицу площади – 4,14 т/(км²·год). Содержание ионов Cl⁻ в ряду ионов практически всегда является преобладающим. Наибольшей изменчивостью в осадках обладает гидрокарбонатный ион. Амплитуда его изменений – от наибольших значений (8,32 мг/дм³) до аналитического нуля. Ион наблюдается в случае, когда рН больше 5,0. Среднегодовая концентрация господствующих ионов имеет временной тренд. Приведены тренды концентрации господствующих ионов и выпадений ионов на поверхность болота. В Карело-Финская провинция северной тайги и аапа-болот по данным наблюдений на м/с Зареченск среднегодовая концентрация вещества в осадках равна 6,57 мг/дм³, выпадения на единицу площади 3,91 т/(км²·год). В Фенноскандийская провинция березовой лесотундры и крупнобугристых болот мониторинг атмосферного воздуха осуществляет мс. Никель. По данным наблюдений среднегодовая концентрация вещества в атмосферных осадках составляет 20,1 мг/дм³, что несколько меньше по сравнению с данными по мс. Мурманск (21,0 мг/дм³). Величина выпадения минеральных компонентов равна 10,6 т/(км²·год). В зонах промышленного загрязнения среднегодовая концентрация ионов, вне зависимости от болотной провинции, равна 20,6 мг/дм³, среднегодовые выпадения их – 10,9 т/(км² год). Тренды среднегодовых концентраций и их выпадения отсутствуют. В зонах условного природного фона среднегодовая концентрация ионов равна 7,19 мг/дм³, что в 2,9 раза меньше, чем в зонах загрязнения. Среднегодовые их выпадения – 3,89 т/(км²·год). На загрязненных территориях выпадения минеральных компонентов в 2,8 раза превышает их фоновые значения.

Библиографический список

1. *Новиков С.М., Усова Л.И.* К оценке площади болот, заболоченных земель и прогнозных запасов торфа на территории Российской Федерации // Сборник работ по гидрологии. – 2002. – № 25. – С. 3–24.
2. *Калюжный И.Л.* Гидрохимический режим и химический состав вод мезоолиготрофных болотных массивов Кольского полуострова // Вестник Кольского Научного Центра РАН. – 2016. – № 3. – С. 116–125.
3. *Дроздова В.М., Петренчук О.П., Селезнева Е.С., Свистов П.Ф.* Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 209 с.
4. РД 52.04.878-2019 «Отбор проб при наблюдениях за химическим составом атмосферных осадков». – СПб., 2019. – 20 с.
5. *Кац Н.Я.* Болота Земного шара. – М.: «Наука», 1971. – 295 с.
6. *Ежегодные данные по химическому составу атмосферных осадков 1991–1995 гг.* – СПб.: Гидрометеиздат, 1998. – 66 с.
7. *Свистов П.Ф., Першина Н.А., Полищук А.И.* Ежегодные данные по химическому составу атмосферных осадков за 1996–2000 гг. (Обзор данных). – М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. – 226 с.
8. *Свистов П.Ф., Першина Н.А., Полищук А.И.* Ежегодные данные по химическому составу атмосферных осадков за 2001–2005 гг. (Обзор данных). – СПб., 2010. – 128 с.
9. *Свистов П.Ф., Полищук А.И., Першина Н.А., Павлова М.Т.* Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2006–2010 гг. (Обзор данных). – СПб., 2014. – 68 с.
10. *Павлова М.Т., Семенец Е.С.* Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2011–2015 гг. (Обзор данных). – СПб., 2016. – 116 с.
11. *Першина Н.А., Павлова М.Т., Полищук А.И., Семенец Е.С.* Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2016–2020 гг. (Обзор данных). – СПб.: ФГБУ «ГГО» Росгидромета; Саратов: Амирит, 2021. – 114 с.
12. *Селезнева Е.С., Петренчук О.П.* Изменение концентрации химических примесей в осадках в зависимости от метеорологических условий // Труды ГГО. – 1962. – Вып. 134. – С. 14–25.
13. *Селезнева Е.С., Свистов П.Ф.* Некоторые данные о химическом составе и распределении аэрозолей на побережье Кольского полуострова // Труды ГГО, 1966. – Вып. 185. – С. 110–116.
14. *Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т. и др.* Химический состав атмосферных осадков в российской Арктике в 2007–2015 // Метеорология и гидрология. – 2017. – № 5. – С. 62–68.
15. *Свистов П.Ф., Першина Н.А.* О тренде химических элементов в атмосферных осадках // Труды ГГО. – 1991. – Вып. 543. – С. 57–65.
16. *Опекунова М.Г., Елсукова Е.Ю., Чекушин В.А. и др.* Мониторинг изменения состояния окружающей среды в зоне воздействия комбината «Североникель» // Вестник СПбГУ. – 2006. – Сер. 7. – Вып. 2. – С. 96–103.
17. *Месяц С.П., Остапенко С.П.* Оценка воздействия горнопромышленного комплекса Мурманской области на состояние растительного покрова по данным спутниковых наблюдений // Горная Промышленность. – 2019. – № 6. – С. 112–116.
18. *Красавцева Е.А., Максимова В.В., Горбачева Т.Т. и др.* Оценка химического загрязнения грунтов и растений в зоне влияния хранилища отходов лопаритовых руд // Маркшейдерия и недропользование. – 2021. – № 2 (112). – С. 52–58.
19. *Прокачева В.Г., Чмутова Н.П., Абакуменко В.П., Усачев В.Ф.* Зоны загрязнения снежного покрова вокруг городов на территории СССР. Каталог ореолов для городов с населением более 50 тыс. человек. – Л.: Изд. ГГИ. – 125 с.
20. *Прокачева В.Г., Усачев В.Ф., Чмутова Н.П.* Зоны хронического загрязнения вокруг городских поселений и вдоль дорог по республикам, краям и областям Российской Федерации. Справочник. 1992. – СПб.: Изд. ГГИ, 1988. – 188 с.
21. *Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по однородным данным.* – СПб.: ГГИ, 2010. – 162 с.
22. *Калюжный И.Л.* Химический состав, вынос минеральных и органических компонентов водами олиготрофных болотных массивов // Материалы конференции «Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования». – М.: ГЕОС, 1999. – С. 191–193.

УДК 504.064

Ахметьева Н.П.

Ахметьева Нина Петровна, с. н. с., к. г.-м. н., лаборатория гидрогеологических проблем охраны окружающей среды ИВП РАН. 119333, г. Москва, ул. Губкина, 3, nakhmeteva@rambler.ru

Михайлова А.В.

Михайлова Алла Владимировна, с. н. с., к. х. н., лаборатория инструментальных методов и органических реагентов. ФГБОУН «Ордена Ленина и ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского» Российской академии наук (ГЕОХИ РАН). 119991, ГС. П-1, г. Москва, ул. Косыгина, 19, xema@iltra@yandex.ru

Кричевец Г.Н.

Кричевец Геннадий Николаевич, с. н. с., к. г.-м. н., лаборатория гидрогеологических проблем охраны окружающей среды ИВП РАН. 119333, г. Москва, ул. Губкина, 3, gkrich@yandex.ru

**ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ
СОСТАВ ВОДЫ
БОЛОТНОЙ РЕКИ ДУБНА**

Аннотация. Проанализировано состояние воды в р. Дубна в пределах Дубненского болотного массива за более чем 60-летний период. Торфяные болота подвергались осушению, добыче торфа для производства удобрения и топлива, пожарам, сельскохозяйственному использованию и обводнению. Отмечено, что загрязнению воды в реке на этом участке препятствует оставшийся слой торфа. В целом вода в реке соответствует всем параметрам болотных рек и на исследуемом участке по содержанию в воде тяжелых металлов, органогенных элементов и других гидрохимических и химических показателей явных изменений не обнаружено.

Ключевые слова: гидрология суши, торфяные болота, река Дубна (приток Волги), химический состав воды, гидрохимические показатели, экологическая ситуация.

Akhmet'eva N.P.

Akhmetyeva Nina P., Ph.D., Senior Research of Environmental Hydrogeology Laboratory, Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences. Moscow, Gubkina, 3. nakhmeteva@rambler.ru

Mikhailova A.V.

Mikhailova Alla V., Ph.D. (analytical chemistry), Senior Research, Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences. Moscow, Kosyigina, 19. xema@iltra@yandex.ru

Krichevets G.N.

Krichevets Gennadiy N., Ph.D. (Candidate of geological-mineralogical sciences), Senior Research of Environmental Hydrogeology Laboratory of Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences. Moscow, Gubkina, 3. gkrich@yandex.ru

**HYDROCHEMICAL
COMPOSITION OF WATER
IN THE BOG DUBNA RIVER**

Abstract. The state of water in the Dubna river within the Dubna swamp massif for more than 60 years has been analyzed. Peat bogs were subjected to drainage, peat extraction for the production of fertilizer and fuel, fires, agricultural use and flooding. It is noted that the remaining layer of peat prevents water pollution in the river in this area. In general, the water in the river corresponds to all the parameters of mire rivers and there were no obvious changes in the content of heavy metals, organogenic elements and other hydrochemical and chemical indicators in the studied area.

Keywords: land hydrology, peat bogs, Dubna river (a tributary of the Volga), chemical composition of water, hydrochemical parameters, ecological situation.

Введение

Река Дубна в своем верховье протекает по Дубненскому болотному массиву на протяжении ~30 км, от д. Корелы (Владимировская область) до д. Нушполы (Московская область) [1–6]. На правом берегу реки присутствует пойма шириной от 30 м до 3–4 км (у д. Нушполы), на которой распространены главным образом низинные болота мощностью около 2 м, используемые для посева трав. На первой и второй надпойменных террасах, занятых евтрофными и мезотрофными болотами, расположены сельскохозяйственные поля под картофель, морковь, капусту, иногда травы. Олиготрофные болота встречаются в окраинной части долины р. Дубна, их мощность составляет до 4 м.

В 1930-е годы с целью осушения поймы р. Дубна был спрямлен участок ее русла длиной 57,5 км в верхнем и среднем течении. Эти меры оказали существенное влияние на гидрологический режим реки. В 1967–1970 гг. по всей реке проводились работы по спрямлению русла и осушению поймы. На правом берегу р. Дубна в 1970–1980-е годы проводились работы по осушению болот всех типов. В настоящее время олиготрофные болота не осушены и не используются, тогда как мезотрофные и евтрофные используются до сих пор. В них вносятся минеральные удобрения, они распахиваются, поля пропалывают, картофельные поля окучивают, т. е. торфяные поля ежегодно испытывают значительную антропогенную нагрузку, при которой нарушается естественное сложение почвы, увеличивается или уменьшается влажность торфа (в зависимости от количества осадков), главным образом, увеличивается водопроницаемость почвенного слоя и, в связи с этим, происходит некоторое увеличение подземного стока в реку. Следует отметить, что торф в этих местах подстилается слабоводопроницаемыми сапропелями и суглинками с коэффициентами фильтрации порядка 0,01–0,001 м/сут и значит подземный сток в реку происходит практически только по верхнему торфяному слою мощностью 1–2 м.

Прилегающая местность – низменная равнина, местами заболоченная, частично занятая под сельскохозяйственные угодья. Грунты тяжело-суглинистые, глинистые и торфяные.

Долина реки не ясно выраженная. Склоны долины: левый – пологий, преимущественно заболоченный, поросший кустарником и ольхой, правый – очень пологий занят под сельскохозяйственные угодья, частично заболочен,

выше и ниже участка залесен. Русло прямолинейное, песчано-илистое, деформирующееся, зарастающее. Ширина реки в межень 18–20 м. Берега крутые, преимущественно искусственно насыпные, обнаженные, местами поросшие кустарником.

На рассматриваемой территории, по которой протекает исследуемый участок р. Дубна, расположен Государственный биосферный природный заказник «Журавлиная родина» – особо охраняемая зона [3]. Заказник представляет собой 300 км² лесов, болот и сельхозугодий, один из двух участков, которые занимает Заказник – «Дубненский болотный массив» – самое крупное на севере Московской области болото. В связи с этим хозяйственная деятельность по освоению этих мест значительно сократилась, но и в последние годы сельскохозяйственные предприятия развивают животноводство.

В течение 2002–2022 гг. сотрудники Института водных проблем РАН проводили изучение химического состава болотных вод и торфа [2]. Были выполнены не только общие анализы болотной воды и торфа, но и специфические (совместно с ГЕОХИ РАН) по определению тяжелых и редкоземельных металлов в воде и торфе [4]. В результате работ были обнаружены редкие элементы, в т. ч. РЗЭ, и тяжелые металлы в торфе ранее осушенных болот Московской и других областей. Содержание Се и La в некоторых образцах торфа существенно (около 50 мг/кг). Получено, что в торфянике низинных болот содержание Pb, Ti, Sr, V, U, Ba, Zn и некоторых других, кроме обычно высоких Fe и Mn, выше, чем в торфе верховых болот. Для низинного торфа Дубненского массива можно предположить, что повышенные содержания элементов появились из-за длительного их накопления (концентрирования торфом) при внесении удобрений.

Поскольку низинные и переходные торфяные площади, оставшиеся после добычи торфа в 70–80-х годах, использовались в основном для выращивания кормовых трав и овощных культур, можно предположить загрязнение воды р. Дубна соединениями азота, фосфора, калия, серы (сульфатами), а также органическими (значения окисляемости). Основная цель работы была проследить за изменением во времени этих показателей речной воды в пределах Дубненского болотного массива.

Для сравнения экологического состояния р. Дубна нами выбрана похожая по месту наход-

дения малая болотная р. Бужа (Национальный Парк «Мещера»). Река Бужа протекает в самом центре НП «Мещера» среди нетронутой природы, вытекает из озера Исихра, расположенного среди торфяных болот. Прилегающая к р. Бужа местность – слабоволнистая равнина, поросшая зрелым смешанным лесом. Долина реки трапецеидальная, шириной 0,5–3 км с пологими склонами. Пойма двухсторонняя, шириной до 400 м, неровная, изрезанная старицами, рукавами и протоками; начинает затопляться при уровне воды 280 см (БСВ). Русло извилистое, глинисто-песчаное, местами заиленное, деформирующееся. Ширина реки в межень 10–12 м. Левый берег пологий, правый – крутой, местами обрывистый. Высота берегов 2,5–2,8 м.

Материалы исследований

Пробы воды р. Дубна отбирали в двух точках – у д. Нушполы, где раньше на правом берегу находился водомерный пост (до ~1964 г.), и у д. Окаево. Отбор проб проводили вручную по выбранным точкам. Пробы речной воды отбирали с глубины 0,3–0,5 м в количестве 1 л в полиэтиленовые бутылки согласно требованиям [8]. Пробы болотной воды отбирали с поверхности на глубине УБВ. Пробы торфа отбирали лопатой в полиэтиленовые мешки, массой около 1 кг.

Использовали имеющиеся материалы результатов химических анализов воды р. Дубна и р. Бужа, собранных в Гидрологических ежегодниках (данные за 1950–1964 гг.) и оригинальные фактические данные, полученные авторами [2, 4, 9].

Химический анализ болотной и речной воды, отобранной авторами, проводили химическими методами в лаборатории Ивановской НИС ИВП РАН (г. Конаково) по аттестованным методикам измерений. Для определения растворенных в воде металлов, пробы отфильтровывали через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм.

Торфяную воду получали водной вытяжкой из анализируемого образца торфа при соотношении торф : вода = 1 : 50.

Анализ торфа (кислотное микроволновое разложение) выполняли методом МС-ИСП на приборе «ELAN DRC II» («Perkin Elmer», США). Содержание элементов в воде определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на атомно-эмиссионном спектрометре Varian 720-ES (ICP-AES). Для построения серии градуировочных графиков использовали соответствующие стандартные растворы.

Результаты работы приведены в табл. 1–7, где «тире» обозначено отсутствие данных; окисляемость обозначена как ПО – перманганатная.

Таблица 1. Химический состав болотной и торфяной воды Дубненской поймы (Журавлиная Родина), отбор проб произведен 13.08.2002 (наши данные)

Table 1. Chemical composition of the swamp and peat water of the Dubna floodplain (Crane Homeland), sampling was carried out on August 13, 2002 (our data)

Показатель	Болотная вода	Вода дренажной канавы	Р. Дубна (у д. Окаево)
рН	6,96	7,4	7,52
Цветность, град. цветности	80	210	30
ПО, мгО/л	49,5	91	7,27
Сульфаты, мг/л	10	11	25
Гидрокарбонаты, мг-экв/л	4,2	5,2	6,4
Ионы кальция, мг-экв/л	2,8	2,2	4,4
Ионы магния, мг-экв/л	1,4	2	2
Хлориды, мг/л	1,4	4,1	9,5
Фосфаты, мгР/л	0,054	1,206	0,367
Фосфор общий, мгР/л	0,089	0,99	0,421
Азот аммонийный, мгN/л	1,9	1,69	0,49
Азот нитритный, мгN/л	0,001	0,004	0,003
Азот нитратный, мгN/л	0,43	0,39	0,25
Ионы натрия, мг/л	1,02	17	3,44
Ионы калия, мг/л	0,57	1,12	0,91
Железо общее, мг/л	0,98	0,59	0,052
Eh	-159	83	174

Таблица 2. Гидрохимические показатели воды реки Дубна (с. Нушполы) по годам 1950–1964

Table 2. Hydrochemical indicators of the water of the Dubna River (village of Nushpoly) by years 1950–1964

Дата отбора проб воды	Температура воды, °С	Прозрачность, см	Вкус/запах	pH	Жесткость общая, мг·эquiv/л	Жесткость постоянная, мг·эquiv/л	Цветность, град. цветности	ПО, мгО/л	ХПК, мгО/л
22.11.1950	0	>30	Без вкуса/без запаха	–	2,05	0,28	80°	23	–
31.08.1951	18,7	>30	Без вкуса/без запаха	–	4,51	0,64	45°	10,1	–
13.08.1952	20,4	>30	Без вкуса/без запаха	–	4,05	0,1	125°	28,8	–
30.10.1953	1,9	20	Без вкуса/без запаха	–	2,1	0,09	180°	28,2	–
30.11.1954	0	28	Без вкуса/болот	–	4,69	0,42	120°	14,5	–
20.09.1955	12,7	25	Без вкуса/без запаха	–	6,22	0,62	25°	6,5	–
6.03.1956	0	>30	–	–	6,71	0,61	14°	3	–
27.04.1956	5,2	22	–	–	1,47	0,45	60°	17,8	–
3.05.1956	10,6	22	–	–	1,42	0,69	80°	16,2	–
10.05.1956	11,2	27	–	–	1,7	0,47	200°	25,6	–
15.09.1956	10,3	18	–	–	3,23	0,31	130°	40	–
1.11.1956	0	30	–	–	3,97	0,42	130°	19,3	–
18.02.1960	0	>30	–	7,35	6,69	0,69	20°	3,5	–
18.04.1960	5	22	–	6,6	1,01	0,77	72°	11,3	23,2
3.05.1960	8,2	>30	–	7	1,66	0,7	102°	17,9	44,2
18.06.1960	21,4	>30	–	–	5,21	0,64	61°	11,5	21,6
25.09.1960	7,8	>30	–	–	3,38	0,86	125°	24,4	41,3
26.11.1960	0	>30	–	–	3,32	0,84	95°	20,4	44,2
11.03.1962	0	>30	–	7,35	6,04	0,51	–	5,1	–
9.04.1962	0,3	>30	–	6,8	1,47	0,79	70°	12,6	–
22.04.1962	9,2	>30	–	7	1,35	0,72	92°	16,2	–
9.05.1962	10,8	>30	–	7,2	2,86	0,89	123°	23,1	–
28.08.1962	13,8	>30	–	6,95	4,1	0,7	88°	18,8	–
24.10.1962	4,3	15	–	6,6	3,55	0,78	100°	16,3	–
25.12.1962	0	10	–	6,55	6,27	1,23	40°	17,5	–
12.02.1963	0	>30	–	6,75	6,44	0,56	19°	4,2	10,3
14.07.1964	22,6	30	–	6,15	2,23	0,23	43°	5,2	11,3

натная и ХПК – бихроматная. Цветность определялась по Pt-Co шкале, прозрачность – по стандартному шрифту; °Ж = 1 мг·эquiv/л.

Результаты работы

Сначала дадим описание болотных вод Дубненского массива, которые разгружаются в р. Дубна и формируют ее речной сток (табл. 1). Низинные болота слагают пойму реки, ближе к ней расположены и оказывают наибольшее влияние на формирование химического состава воды самой реки.

Таким образом, анализируя данные таблиц можно сделать следующие выводы по экологическому состоянию р. Дубна в настоящее время:

1. Нитраты – нитриты: Содержание их в воде варьируется от 0,57 до 3,6 мг/л (нитраты)

и от 0,008 до 0,07 мг/л (нитриты) в годы добычи торфа, составляет 0,25 и 0,003 мг/л соответственно в 2002 г. и их содержание увеличивается в 2020 и 2022 гг., хотя значения ПДК не превышено.

2. Ионы калия: Увеличение содержания солей калия не наблюдается на всем отрезке наблюдений, хотя в настоящее время устойчиво содержание этих ионов доходит практически до 5 мг/л в отличие от их содержания в болотной воде (0,57 мг/л).
3. Фосфор: Ионы фосфора присутствуют в основном в виде фосфатов и наблюдается их увеличение до 0,421 мг/л в речной воде.
4. Сульфаты: содержание сульфат-ионов варьирует во время добычи торфа, находясь практически на одном уровне и не превышая ПДК для объектов водно-хозяйственно-

Таблица 3. Химический состав воды р. Дубна (у д. Нушполы) по годам 1950–1964

Table 3. Chemical composition of the water of the river. Dubna (near the village of Nushpola) by years 1950–1964

Дата отбора проб воды	Содержание ионов, мг/л									Фосфаты, мгР/л	Кремний, мгSi/л	Железо общ., мгFe/л
	Кальций	Магний	Натрий + калий	Гидрокарбонаты	Сульфаты	Хлориды	Нитраты	Нитриты	Сумма ионов			
22.11.1950	28,7	7,2	2,2	109	11,4	2,8	–	–	161,3	–	5,1	0,23
31.08.1951	59,7	18,2	0,5	235,8	24,2	5	–	–	343,4	–	5,2	0,55
13.08.1952	53,9	16,4	6,8	241,5	10,9	4,3	–	–	333,8	–	9,8	0,25
30.10.1953	27,5	8,5	2,2	122	2,1	4,3	–	–	166,7	–	6,6	0,5
30.11.1954	61,3	19,5	8	259,3	22,8	7,4	2,5	–	380,8	–	9,1	0,49
20.09.1955	78,2	28,1	3,8	341,6	24,9	6,3	3,6	–	486,5	–	6,8	0,22
6.03.1956	88,5	27,6	5,3	372,1	24,1	8,9	2,44	–	529,4	0,093	8,7	0,3
27.04.1956	19	6,1	3	62,2	17,3	4,6	3,5	–	115,7	0,11	5	0,37
3.05.1956	18	6,1	2	62,2	18,1	2,3	1,23	0,008	110	–	3,3	0,33
10.05.1956	22,5	6,8	2	74,4	19,4	4,9	–	–	130	–	2,5	0,28
15.09.1956	44,7	11,8	1,8	176,9	7,4	6,7	0,57	–	250,7	0,5	5,8	0,6
1.11.1956	51,7	16,2	2,8	213,5	12,8	7,8	1,95	0,07	306,8	0,41	11,2	1,17
18.02.1960	85	29,2	28,3	389,2	42,1	17,5	1,37	0,018	592,7	0,045	9,5	0,84
18.04.1960	11,7	4,8	1,5	34,2	20,2	1,7	0,94	0,043	75,1	0,035	3,5	0,43
3.05.1960	21,7	6,8	6	78,7	22,2	4,2	0,75	0,01	140,4	0,026	2,5	0,34
18.06.1960	71,1	20	12,2	300,7	23	9,2	0,62	0,106	436,9	0,079	6	0,38
25.09.1960	46,7	12,5	8,4	172,6	31,1	7,5	0,49	0,015	279,3	0,062	6,9	0,28
26.11.1960	44,5	13,2	9	170,2	28,6	9,4	0,73	0,025	275,7	0,088	5,6	0,3
11.03.1962	71,6	29,5	27,4	363,8	26,3	20,5	0,76	0,046	539,7	0,096	6,6	0,7
9.04.1962	17,8	6,5	0,5	60,4	18,1	1,9	1,17	0,064	106,4	0,065	4,1	0,86
22.04.1962	17,4	5,7	2,5	58	20,2	1,9	0,86	0,036	106,6	0,056	5,1	0,22
9.05.1962	40,2	10,1	1,8	139,1	22,4	5	0,99	0,034	219,6	0,047	5,4	0,56
28.08.1962	54,6	16	7,4	228,1	18,6	7	1,01	0,088	332,8	0,063	6,5	0,98
24.10.1962	49,7	12,2	6,7	189,1	19,1	8,5	0,99	0,015	286,3	0,058	5	1,16
25.12.1952	88,5	21,7	5,7	322,7	25,2	21,2	1	0,024	486	0,067	6,2	1,2
12.02.1963	90	23,1	30,7	383,1	32,1	23,2	1,02	0,078	583,3	0,017	6,4	0,92
14.07.1964	82,3	26	21,2	364,8	25,8	20	1,1	0,015	541,2	0,093	8,4	0,05

го назначения в настоящее время. Хотя их содержание повышено в сравнении с болотной водой.

5. Окисляемость: поскольку речь идет о болотной воде, то она, естественно, отличается повышенной окисляемостью, что превышает значение ПДК. Однако – значительно меньше, чем в воде исследуемой р. Дубна.

В целом вода р. Дубна гидрокарбонатная, мягкая, имеет повышенную цветность, от загрязнения воды реку спасают торфяные отложения, поскольку низинный торф – эффективный сорбент природного происхождения.

Часть работы по формированию и геоэкологической оценке качества поверхност-

ных и подземных вод выполнено по теме ИВП РАН № FMWZ-2022-0001 и часть работы по расширенному анализу торфа и речной воды на редкие и тяжелые металлы и интерпретации результатов – по теме ГЕОХИ РАН № FMUS-2019-0018.

Библиографический список

1. Ахметьева Н.П., Кричевец Г.Н., Михайлова А.В. Особенности гидрологического режима реки Дубна в связи с антропогенным воздействием на болота ее водосборной площади // Труды Инсторфа. – 2022. – № 25 (78). – С. 13–19.
2. Ахметьева Н.П., Михайлова А.В., Кричевец Г.Н., Беляев А.Ю. Торфяные болота

Таблица 4. Химический состав воды р. Дубна (наши данные)

Table 4. Chemical composition of the water of the river. Dubna (our data)

Номенклатура показателей, единицы измерения	Значение показателя				ПДК [10, 11]
	10 сентября 2020 г.		7 июля 2022 г.		
	У д. Нушполы	У д. Окаемово	У д. Нушполы	У д. Окаемово	
Железо общее, мг/дм ³	0,97	1,01	0,29	0,31	0,3
Кальций, мг/ дм ³	61	60	55	52	25–130 ^{II}
Магний, мг/дм ³	20	19,8	17,8	16,9	50 ^{II}
Натрий, мг/дм ³	16,2	17	23,4	21,9	200,0
Калий, мг/дм ³	3,8	4	4,8	4,7	20 ^{II}
Нитраты, мг/дм ³	1,81	1,28	1,83	2,9	45
Нитриты, мг/дм ³	0,16	0,113	0,191	0,275	3
Щелочность общая, ммоль-экв/дм ³	4,5	4,7	4,4	4,4	0,5–6,5 ^{II}
Гидрокарбонаты, мг/дм ³	275	287	268	268	30–400 ^{II}
Жесткость общая, °Ж	4,8	4,7	4,3	4,1	7
Водородный показатель (рН), ед. рН	7,86	7,88	7,68	7,71	6–9
Нефтепродукты (суммарно) , мг/дм ³	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,1
Мутность, ЕМФ	16,3	14,6	5,1	6,5	2,6
Цветность, градусы	82°	80°	32°	33°	20
Привкус, баллы	2	2	1	2	2
Запах, баллы	3	2	2	2	2
Перманганатная окисляемость, мгО/дм³	7,2	7,1	12	9,8	5
Аммоний-ион, мг/дм ³	0,31	0,35	0,06	<0,05	2,6
Сульфаты, мг/дм ³	22	21	22	23	500
Хлориды, мг/дм ³	19,6	20,7	27	30	350
Фториды, мг/дм ³	0,21	0,21	0,22	0,35	1,5
Общая минерализация (сухой остаток), мг/дм ³	440	433	375	370	1000
Сероводород, мг/дм ³	<0,002	<0,002	–	–	0,003

Таблица 5. Химический состав воды р. Бужа по годам 1962–1964

Table 5. Chemical composition of the water of the river. Buzha by years 1962–1964

Показатель	Год и дата взятия пробы										
	1962		1963		1964						
	5 марта	24 августа	9 марта	31 июля	9 марта	4 апреля	21 апреля	5 мая	13 июня	6 июля	12 ноября
Температура воды, °С	–	–	0	21	0	0	6,2	12	20,6	20,3	0
Прозрачность, см	18	14	11	8	10	8	16	>30	12	9	10
рН	6,25	<6	6,8	6,2	6,2	–	–	6,2	7,6	6,4	6,8
O ₂ , мг/л (% насыщения)	–	–	–	–	–	3,02 (21)	–	–	5,15 (56)	–	10,5 (72)
CO ₂ , мг/л	–	–	–	–	–	–	–	–	16,7	36,2	29,9
Содержание ионов, мг/л											
Ca ²⁺	12,5	9,9	15,5	5,8	14,8	13,2	5	4,2	6,6	8,2	12,2
Mg ²⁺	5,2	3,5	3,3	1,6	5,5	3,4	1,5	1,6	2	2,4	3,5
Na ⁺ +K ⁺	4,5	6,6	0,6	2,2	5,5	7,2	7,2	6	3,8	7,2	5
HCO ₃ ⁻	47,6	47	51,2	11,7	68,4	53,1	14,6	11,6	23,2	33,6	45,8
SO ₄ ⁻	10,8	3,9	4,4	4,3	8,5	9,7	13,8	14,8	6,9	5,3	9
Cl ⁻	7,9	6,8	5	3,1	3,9	5,5	3,9	3	3,9	7,8	5
NO ₃ ⁻	0,05	0,23	0,02	0,12	0,08	0,02	0,92	0,14	0,75	1,05	0,98
NO ₂ ⁻	0,002	0,033	0,005	0,003	0,002	0,002	0,002	0,006	0,003	–	0,018
Сумма ионов	88,6	78	8	28,8	106,7	92,1	46,9	41,3	47,2	65,6	81,5
Фосфаты, мг P/л	0,066	0,094	0,14	0,108	0,006	0,034	0,058	0,036	0,111	0,106	0,039
Кремний, мг Si/л	12	9	4,6	–	6,1	10	8	5	9	3,8	3,6
Железо общее, мг Fe/л	5,19	4,43	7,28	5,4	8,4	6,8	1,72	1	3,84	4	0,68
Жесткость общая, °Ж	1,33	1,02	1,4	0,7	0,6	0,5	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3
Жесткость постоянная, °Ж	0,85	0,61	0,9	–	0,3	0,2	–	–	–	–	–
Цветность, град. цветности	468°	299°	336°	520°	408°	512°	200°	154°	560°	288°	368°
ПО, мг O/л	46,2	60,9	69,7	64,9	53,1	54	24,7	23,9	57,9	38	15,6
ХПК, мг O/л	95,2	124,1	–	–	97,3	120,5	49,3	54,6	109,7	87,7	46,9

Таблица 6. Элементный состав воды болотных рек по данным (2020 г.) (наши данные)**Table 6.** Elemental composition of water in marsh rivers according to data (2020) (our data)

Элемент	Река			ПДК
	Бужа	Дубна		
		У д. Нушполы	У д. Окаево	
мг/дм ³				
Fe _{общ.}	6,8	0,97	1,01	0,3
Mn	0,21	0,14	0,141	0,1
Cd	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,001
Cu	<0,001	<0,001	<0,001	1
Pb	<0,001	<0,001	<0,001	0,03
Ni	<0,001	<0,001	<0,001	0,1
Mo	<0,001	0,005	0,008	0,25
As	<0,005	<0,005	<0,005	0,05
Hg	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0005
Al	0,141	0,08	0,08	0,5
Se	<0,002	<0,002	<0,002	0,01

Таблица 7. Физико-химические характеристики и содержание металлов в торфе болотного массива Дубненский (наши данные)**Table 7.** Physical and chemical characteristics and metal content in the peat of the swamp massif Dubnensky (our data)

Параметр/ Элемент	Дубненский массив – «Журавлиная Родина»				По Крештаповой, среднее значение (максимальное)	ПДК (ОДК) [13, 14]
	Разрез 1, 0,4 м	Разрез 1, 2,2 м	Разрез 2, 0,45 м	Разрез 2, 1,5 м		
Зольность, %	3,22	6,27	4,2	3,9	30,3	–
мг/кг						
Ванадий	41,34	29,22	33,39	78,17	16,6 (33,3)	80
Хром	1,51	19,82	8,03	н.о.	9 (20,6)	6
Марганец	82,4	367,2	71,58	121,9	910 (101)	1500
Кобальт	0,63	4,42	2,67	1,27	0,8 (1,7)	20
Никель	Не обнаружено	н.о.	н.о.	н.о.	45 (100,1)	40
Медь	8,91	31,96	13,4	19,8	11 (20,6)	66
Цинк	8,05	119,8	26,16	43,3	91 (100)	110
Цирконий	7,74	16,12	7,32	6,75	45 (100,1)	–
Свинец	52,7	4,44	32,95	116,7	14 (20,6)	65

центральных областей Европейской части России: их трансформация за последние 100 лет. – М.: ГЕОС, 2020. – 134 с. <https://www.iwpr.ru/upload/iblock/f6c/f6cef19cad5d5256c3fd33f40905296d.pdf>

3. Гринченко О.С., Дулин А.В., Цоклер К. и др. Эффективность реабилитации экосистем обводненных торфяников в пойме реки Дубна на основе анализа динамики гнездовой популяции серого журавля (Талдомский городской округ Московской области) // Экосистемы: экология и динамика. – 2021. – Т. 5. – № 2. – С. 86–101.

4. Саввин С.Б., Ахметьева Н.П., Михайлова А.В. и др. Редкоземельные элементы в торфах московской и тверской областей // Доклады Академии наук. – 2013. – Т. 448. – № 1. – С. 86.
5. Water Resources: Справочник водных ресурсов. <https://waterresources.ru/reki/dubna-pritok-volgi/>
6. Панин, А.В., Сорокин А.Н., Бричева С.С. и др. История формирования ландшафтов Заболотского торфяника в контексте инициального заселения Дубнинской низины (бассейн верхней Волги) // Вестник ар-

- хеологии, антропологии и этнографии. – 2022. – № 2 (57). – С. 85–100. http://ipdn.ru/_private/a57/85-100.pdf
7. *Кирпичев И.А., Савватеева О.А., Джама-лов Р.Г., Старостин Е.А.* Экологическое состояние поверхностных вод г. Дубны как один из факторов воздействия на здоровье среды и населения // *Успехи современного естествознания*. – 2020. – № 12. – С. 85–91. <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37542>
 8. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Издательство стандартов, 2012. – 35 с.
 9. *Гидрологические ежегодники (1951–1964 гг.)*. Т. 4. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии). Вып. 1–3. Река Волга и ее бассейн до Куйбышевского водохранилища. – Л.: Гидрометиздат.
 10. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы».
 11. *Нормативы физиологической полноценности питьевой воды – условное соответствие требованиям СанПиН 2.1.4.1116-02 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества».*
 12. *Крештапова В.Н.* Методические рекомендации по оценке содержания микроэлементов в торфяных месторождениях Европейской части РСФСР. – М.: Геолторфразведка, 1974. – 200 с.
 13. *Позняк С.С., Шиманская А.А.* Оценка содержания тяжелых металлов в низинных торфяных почвах Мозырского Полесья // *Вестник Мозырского государственного педагогического университета им. И.П. Шамякина (Веснік МДПУ імя І.П. Шамякіна)*. – 2012. – № 3 (36). – С. 37–44.
 14. *Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. От 23 января 2006 г. № 1.*

УДК 622.2 (075.8)

Столбикова Г.Е.

Столбикова Галина Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Горное дело, природообустройства и промышленной экологии», ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: gtp1938@mail.ru

Черткова Е.Ю.

Черткова Елена Юрьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Горное дело, природообустройства и промышленной экологии», ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: lastochka-w@mail.ru

Купорова А.В.

Купорова Александра Владимировна – старший преподаватель кафедры «Горное дело, природообустройства и промышленной экологии», ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: borale@inbox.ru

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЦИКЛОВЫХ СБОРОВ С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ОРГАНИЗАЦИИ ДОБЫЧИ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА

Аннотация. В статье приведен анализ методов расчета цикловых сборов фрезерного торфа. Предложен усовершенствованный метод расчета цикловых сборов в процессе проектирования технологических и производственных показателей добычи.

Ключевые слова: цикловой сбор, фрезерный торф, метод, влагосодержание, коэффициент.

Stolbikova G.E.

Stolbikova Galina Evgen'evna – candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of Mining, Environmental Engineering and Industrial Ecology, Tver State Technical University, Tver. E-mail: gtp1938@mail.ru

Chertkova E.Yu.

Chertkova Elena Yuryevna – candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of Mining, Environmental Engineering and Industrial Ecology, Tver State Technical University, Tver. E-mail: lastochka-w@mail.ru

Kuporova A.V.

Kuporova Aleksandra Vladimirovna, senior lecturer Department of Mining, Environmental Engineering and Industrial Ecology, Tver State Technical University, Tver. E-mail: borale@inbox.ru

METHODS FOR CALCULATION OF CYCLE HARVESTS TAKING INTO ACCOUNT TECHNOLOGICAL SCHEMES OF THE ORGANIZATION OF THE MINING OF MILLING PEAT

Abstract. The article provides an analysis of the methods for calculating cycle harvests of milling peat. An improved method for calculating cycle harvests was proposed in the process of designing technological and production indicators of production.

Keywords: cycle harvests, milling peat, method, moisture, coefficient.

В настоящее время в горнодобывающих отраслях большинства экономически развитых стран основное внимание уделяется таким подходам, которые уже на геотехнологическом этапе позволяют обеспечить качественные характеристики сырья, позволяющие значительно сокращать расходы на его дальнейшую переработку с получением конкурентоспособной продукции. В процессе проектирования технологических и производственных показателей добычи фрезерного торфа в условиях рыночных отношений, возникает необходимость усовершенствования методов расчета цикловых сборов фрезерного торфа. В применяемую на данный момент формулу расчета цикловых сборов фрезерного торфа предложено ввести поправочные коэффициенты, учитывающие потери готовой продукции от предыдущего цикла, влияние неравномерности слоя торфяной крошки на интенсивность сушки, а также различные потенциальные возможности естественной сушки регионов расположения торфяных производств.

Поправочные коэффициенты определяются на основе рекомендаций Всероссийского научно-исследовательского института торфяной промышленности (ВНИТП) по расчету цикловых сборов. Методы расчета цикловых сборов рекомендованы для двух технологических схем добычи фрезерного торфа – с применением бункерных уборочных машин с механическим принципом сбора, с применением пневматического принципа сбора.

На сегодняшний день проектными и научно-исследовательскими организациями разработано два метода расчетов цикловых сборов. Первый метод бывшего Московского торфяного института (МТИ). Второй метод Всероссийского научно-исследовательского института торфяной промышленности. По методике МТИ [1], которая была разработана еще в 30–40-х гг. XX века, цикловые сборы рассчитываются по формуле

$$q_{ц} = \frac{10h_{ф}\gamma_{3}(100-\omega_{3})}{100-\omega_{y}}\alpha_{c}, \quad (1)$$

где 10 – коэффициент перевода из кг/м² в т/га; $h_{ф}$ – средняя (нормативная) глубина фрезерования, м; γ_{3} – плотность неуплотненной торфяной залежи, кг/м³; ω_{3} – эксплуатационная влажность верхнего слоя торфяной залежи, %; α_{c} – коэффициент циклового сбора; ω_{y} – условная влажность готовой продукции, %.

Условная влажность установлена 40% при уборке фрезерного торфа на топливо и для производства брикетов, а также при поставке сырья с целью получения теплоизоляционного и подстилочного материала, и 55% при поставке торфа для дальнейшего производства различного вида удобрений.

Достоинства формулы (1) заключается в несложности расчетов, однако она имеет и несколько существенных недостатков:

- нормативная глубина фрезерования торфяной залежи была принята при условии испарения влаги из слоя торфяной крошки в количестве 2,4 кг/м² за сутки, независимо от региона расположения торфяного производства. Однако дальнейшими исследованиями ВНИИТП было установлено, что по различным регионам потенциальные возможности дней для сушки торфа имеют существенное различие, достигающее $\pm 20\%$ [2];
- после фрезерования во втором и последующих циклах после осадков слой фрезерной крошки формируется из вновь зафрезерованной торфяной залежи и остатков высушенного торфа от предыдущего цикла, которые снижают начальную влажность и позволяют повысить цикловые сборы. Однако этот фактор при расчете цикловых сборов по формуле (1) не учтен;
- работами ВНИИ торфяной промышленности было установлено, что весь комплекс метеорологических факторов, влияющих на сушку торфа, целесообразно заменить одним показателем – величиной испаренной влаги с водонасыщенной поверхности почвенного испарителя системы Н.М. Топольницкого [3]. В формуле (1) при расчете глубины фрезерования основным показателем интенсивности сушки принята величина испарения влаги из слоя торфа. По данным авторов испарение влаги из слоя торфа зависит от среднесуточной температуры воздуха, относительной влажности воздуха в дневное время, облачности в 15 ч и количества осадков, что значительно усложняет расчеты;
- формула (1) справедлива при средней повортности ворошения в технологическом цикле в количестве 2,75;
- исследованиями ВНИИТП было установлено, что из-за неравномерности расстила фрезерной крошки интенсивность сушки снижается, однако этот фактор в формуле (1) не учтен.

По методике ВНИИТП [3, 4] цикловые сборы (т/га) рекомендовано рассчитывать по формулам:

$$q_{ц} = 10P_c(1 + W_y)\alpha_c; \quad (2)$$

$$P_c = \frac{i_3 \tau_{ц}^{0,75}}{Mk_h} (\gamma_{н.с.} d_{ср})^{0,25} \quad (3)$$

где 10 – коэффициент перевода из кг/м² в т/га; P_c – удельная загрузка торфяной крошки после фрезерования в пересчете на абсолютно сухое вещество, кг/м²; W_y – условное влагосодержание, кг/кг; α_c – коэффициент циклового сбора; i_3 – средняя многолетняя эффективная испаряемость с поверхности почвенного испарителя за сутки, кг/м²; $\tau_{ц}$ – плановая продолжительность цикла, сутки; M – коэффициент, учитывающий тип залежи и степень разложения торфа, равновесное, начальное и конечное влагосодержание, число ворошений и сроки их выполнения, а также увлажнение слоя торфяной крошки при ворошениях; k_h – коэффициент снижения интенсивности сушки торфа из-за неравномерности расстила фрезерной крошки; $\gamma_{н.с.}$ – насыпная плотность слоя фрезерного торфа в пересчете на абсолютно сухое вещество, кг/м³; $d_{ср}$ – средневзвешенный диаметр частиц фрезерного торфа, м.

Расчеты цикловых сборов по формулам (2 и 3) выполняются с учетом более полного влияния на сушку торфа метеорологических, технологических и организационных факторов. Однако эта методика не была внедрена в нормы технологического проектирования для расчета цикловых сборов фрезерного торфа по следующим основным причинам:

- из-за относительно трудоемкой методики расчета коэффициента M по отдельным периодам сушки между технологическими операциями;
- в формуле (3) коэффициент, учитывающий снижение интенсивности сушки из-за неравномерности расстила, рекомендован с очень широким диапазоном (от 1,10 до 1,25), что позволяет субъективно занижать расчетные цикловые сборы;
- расчеты по формулам (2 и 3) предусматривают переход от понятия влажности торфа на влагосодержание, что негативно воспринимается персоналом торфяных производств.

В основу расчета цикловых сборов с механическим принципом уборки заложена мето-

дика МТИ, но с введением в нее следующих изменений. Во-первых, следует учитывать снижение начальной влажности во втором и последующих циклах после осадков за счет потерь торфяной крошки от предыдущего цикла. Методикой ВНИИТП при расчете начального влагосодержания во втором и последующих циклах после осадков предусмотрено применение общего коэффициента циклового сбора, однако при расчетах необходимо исключить ту часть торфяной крошки, которая вдавливается в торфяную залежь движителями торфяных машин. Во-вторых, необходимо учитывать потенциальные возможности сушки торфа конкретного региона расположения торфяного производства. В-третьих, в расчеты вводится коэффициент снижения интенсивности сушки из-за неравномерности расстила нафрезерованной крошки.

В процессе проектирования разработки торфяного месторождения фрезерным способом с механическим принципом уборки цикловые сборы необходимо рассчитывать по усовершенствованной формуле

$$q_{ц,ср} = (a_1 q_{ц,з} + a_2 q_{ц,с}) K_i / K_h, \quad (4)$$

где $q_{ц,ср}$ – средневзвешенное значение циклового сбора, т/га; a_1, a_2 – доля циклов в сезоне после осадков и при выполнении второго и последующих циклов после осадков (по данным ВНИИТП $a_1 = 0,4$; $a_2 = 0,6$); $q_{ц,з}, q_{ц,с}$ – цикловые сборы фрезерного торфа, рассчитанные при эксплуатационной нормативной влажности верхнего слоя торфяной залежи и при начальной влажности с учетом остатков высушенного торфа от предыдущего цикла, т/га; K_i – коэффициент, учитывающий потенциальные возможности дней сушки конкретного региона в сравнении со средними погодными условиями, применительно к которым была обоснована нормативная глубина фрезерования; K_h – коэффициент, учитывающий снижение интенсивности сушки фрезерной крошки из-за неравномерности расстила.

Цикловые сборы фрезерного торфа в первом цикле после осадков рассчитываются по формуле (1), которая была заложена в основу норм технологического проектирования [5]. Однако коэффициент циклового сбора принимается по уточненным данным ВНИИТП. При выполнении второго и последующих циклов после осадков сборы торфа также рассчитываются по формуле (1), однако начальное вла-

госодержание определяется в соответствии с методикой ВНИИТП по формуле

$$W_{э.с} = (W_{э.з} - W_{уб}) \cdot (1 - \Sigma P_i / 100) + W_{ср}, \quad (5)$$

где $W_{э.с}$ – эксплуатационное (начальное) влагосодержание слоя торфяной крошки после фрезерования вместе с высушенными остатками торфа от предыдущего цикла, кг/кг; $W_{э.з}$ – эксплуатационное влагосодержание верхнего слоя торфяной залежи, кг/кг; $W_{уб}$ – влагосодержание убранного фрезерного торфа, кг/кг; ΣP_i – суммарные потери фрезерного торфа при валковании и уборке, %; $W_{ср}$ – среднее по всему слою влагосодержание фрезерного торфа при уборке, кг/кг.

Влагосодержание, т. е. отношение массы воды к массе сухого вещества в торфе, определяется по формуле

$$W = \frac{\omega}{100 - \omega},$$

где ω – относительная влажность торфа, %.

Для расчета относительной влажности торфа по влагосодержанию применяют формулу

$$\omega = \frac{100W}{1 + W}.$$

При уборке торфа на топливо, брикетирование и в качестве подстилочного материала (условная влажность 40%) расчетную влажность при уборке принимают 45%, а при условной влажности 55% уборочная влажность 60%.

Потери фрезерного торфа при валковании и уборке составляют примерно по 10–15% на каждую операцию. На действующем производстве эти потери рекомендуется определять экспериментально.

Среднее по всему слою влагосодержание при уборке с механическим принципом сбора принимают равным расчетному влагосодержанию убранного фрезерного торфа, т. е. $W_{ср} = W_{уб}$, кг/кг.

Коэффициент, учитывающий потенциальные возможности дней сушки по метеорологическим условиям, определяется по формуле

$$K_i = \left(\frac{i_{э.и}}{i_{э.ср}} \right)^{0,75}, \quad (6)$$

где $i_{э.и}$ – средняя многолетняя эффективная испаряемость за сутки в регионе, где планируется добыча фрезерного торфа, кг/м²; $i_{э.ср}$ – эффективная испаряемость с поверхности

почвенного испарителя за сутки, которая соответствует величине испарения влаги из слоя фрезерного торфа при определении нормативной глубины фрезерования, кг/м².

По методике МТИ испарение влаги из слоя фрезерного торфа при двухдневном цикле и средней категории дней сушки составляет 2,4 кг/м² за сутки [1], а по методике ВНИИТП [6] средняя величина эффективной испаряемости для дней с категорией сушки Д-2 составляет 4,3 кг/м².

Коэффициент, учитывающий снижение интенсивности сушки в результате неравномерности расстила после фрезерования (рыхления) определяется по формуле [7]

$$K_h = 1 + av_h^2, \quad (7)$$

где a – эмпирическое число; v_h – коэффициент вариации толщины слоя после фрезерования.

До начала разработки торфяного месторождения коэффициент вариации толщины слоя по данным ВНИИТП можно принять равным 0,30. В процессе же эксплуатации торфяного месторождения коэффициент v_h необходимо определять экспериментально.

Среднее значение эмпирического коэффициента в формуле (7) по данным ВНИИТП составляет $\alpha = 1,25$ (интервал от 1 до 1,5).

В технологических процессах добычи фрезерного торфа с применением пневматического метода уборки торфа цикловые сборы целесообразно рассчитывать по методике ВНИИТП в соответствии с формулами (2 и 3). Коэффициент снижения интенсивности сушки за счет неравномерности расстила фрезерного торфа определяется по формуле (7). Коэффициенты циклового сбора принимают в соответствии с проектной толщиной сушимого слоя в пределах от 0,3 до 1,0. При расчете начального влагосодержания во втором и последующих циклах после осадков по формуле (5) среднее по всему слою влагосодержание принимается в соответствии с табл. 1.

Коэффициент M в формуле (3) можно с достаточной точностью рассчитать по формуле

$$M = a_0 + a_1 W_n, \quad (8)$$

где a_0 и a_1 – эмпирические коэффициенты (табл. 2); W_n – начальное влагосодержание фрезерного торфа, кг/кг.

Начальное влагосодержание (кг/кг) верхнего эксплуатационного слоя торфяной залежи

Таблица 1. Среднее влагосодержание по всему слою при уборке фрезерного торфа пневматическими машинами

Table 1. Average moisture content throughout the layer when harvesting milling peat by pneumatic machines

Влагосодержание убираемого торфа, кг/кг	Среднее влагосодержание (кг/кг) при коэффициенте сбора				
	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0
1,2	1,88	1,68	1,48	1,38	1,20
1,0	1,70	1,50	1,30	1,20	1,00
0,8	1,47	1,29	1,09	0,99	0,80
0,67	1,29	1,14	0,95	0,84	0,67
0,5	1,05	0,91	0,78	0,64	0,50
0,4	0,88	0,75	0,60	0,52	0,40

Таблица 2. Эмпирические коэффициенты для расчета М применительно к пневматическому принципу уборки фрезерного торфа

Table 2. Empirical coefficients for M calculation in relation to pneumatic principle of milling peat harvesting

Тип залежи	Степень разложения, %	Эмпирические коэффициенты a_0/a_1 при числе ворошений за цикл		
		1	2	3
Верховой	10–45	-1,61/1,45	-1,08/1,18	-0,75/1,02
Низинный	20–50	-1,71/1,54	-1,10/1,21	-0,83/1,07
Низинный	<20	-1,21/1,39	-0,37/1,06	-0,07/0,94

для третьего и последующих лет эксплуатации определяется по формулам:

а) для низинного типа

$$W_{э,з} = \frac{82,9 - 0,195R}{100 - (82,9 - 0,195R)};$$

б) для верхового типа

$$W_{э,з} = \frac{83,0 - 0,135R}{100 - (83,0 - 0,135R)}, \quad (9)$$

где R – степень разложения торфа, %.

Для первого и второго года разработки торфяного месторождения начальное влагосодержание, рассчитанное по формуле (9), увеличивается на 0,55 кг/кг.

Начальное влагосодержание с учетом остатков торфа

$$W_{э,с} = (W_{э,з} - W_{вб})\alpha_c + W_{ср}. \quad (10)$$

Средневзвешенное значение циклового сбора определяется по формуле

$$q_{ц,ср} = 0,2q_{ц,з} + 0,8q_{ц,с} \quad (11)$$

где 0,2 и 0,8 – доля циклов в сезоне после осадков и при выполнении второго и последующих циклов после осадков; $q_{ц,з}$, $q_{ц,с}$ – цикловые сборы, рассчитанные при начальном влагосодержании

верхнего эксплуатационного слоя торфяной залежи и с учетом остатков торфа от предыдущего цикла, т/га.

Выполненные расчеты в соответствии с формулами (1–8) применительно к механическому принципу сбора позволяют констатировать, что можно заложить в проекты пониженные до 15% цикловые сборы в сравнении с теми значениями, которые определяются по рекомендации ранее действующих норм технического проектирования [5]. При расчете по формулам (8–11) для пневматического принципа сбора с однодневной длительностью цикла цикловые сборы составляют примерно 70–75% от нормативного циклового сбора при двухдневной продолжительности цикла.

Библиографический список

1. Справочник по торфу / Под ред. А.В. Лазарева и С.С. Корчунова. – М.: Недра, 1982. – 760 с.
2. Временная инструкция по определению технологических показателей добычи торфа. – Л.: изд-во ВНИИ торфяной промышленности, 1976. – 44 с.
3. Малков Л.М. Влияние метеорологических условий на технологические показатели добычи фрезерного торфа / Л.М. Малков. –

-
- Л.: Изд-во ВНИИ торфяной промышленности, 1969. – 33 с.
4. *Малков Л.М.* Влияние метеорологических условий сезона на основные технологические показатели добычи фрезерного торфа. Труды ВНИИТП, вып. 30 / Л.М. Малков. – М.: Недра, 1970. – С. 49–64.
 5. Нормы технологического проектирования предприятий по добыче торфа. ВНИИТП 19-86. – М.: Изд-во МТП РСФСР, 1986. – 117 с.
 6. Методика расчета количества циклов добычи фрезерного торфа и эффективной испаряемости. – Л.: Изд-во ВНИИ торфяной промышленности, 1981. – 44 с.
 7. *Малков Л.М.* Исследование процесса сушки фрезерного торфа в тонких слоях. Труды ВНИИ торфяной промышленности, вып. XXI. Л.М. Малков, А.И. Чураева. – Л.: Гостоптехиздат, 1963. – С. 96–178.

УДК 622.331.533

Столбикова Г.Е.

Столбикова Галина Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Горное дело, природообустройства и промышленной экологии», ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: gtp1938@mail.ru

Купорова А.В.

Купорова Александра Владимировна – старший преподаватель кафедры «Горное дело, природообустройства и промышленной экологии», ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: borale@inbox.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСУШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛОЩАДЕЙ ДОБЫЧИ ТОРФА

Аннотация. Представлены исследования влияния мелкого щелевого дренажа, заложенного перпендикулярно картовым каналам, на понижение уровня грунтовых вод, и как следствие – повышения несущей способности поверхности карт, снижения влажности верхнего слоя залежи на 2%, увеличения цикловых на 5–10% и сезонных сборов на 15–20% и повышения надежности добычи фрезерного торфа.

Ключевые слова: торфяная залежь, осушение, влажность, уровень грунтовых вод, дрена, каналы.

Stolbikova G.E.

Stolbikova Galina Evgen'evna – candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of Mining, Environmental Engineering and Industrial Ecology, Tver State Technical University, Tver. E-mail: gtp1938@mail.ru

Kuporova A.V.

Kuporova Aleksandra Vladimirovna, senior lecturer Department of Mining, Environmental Engineering and Industrial Ecology, Tver State Technical University, Tver. E-mail: borale@inbox.ru

STUDY OF THE EFFICIENCY OF DRAINAGE OF PRODUCTION AREAS OF PEAT EXTRACTION

Abstract. The article presents studies of the effect of shallow slit drainage laid perpendicular to map channels. This contributes to a decrease in the groundwater level, and as a result – an increase in the bearing capacity of the map surface, a decrease in the moisture content of the upper layer of the deposit by 2%, an increase in cyclic fees by 5–10% and seasonal fees by 15–20% and an increase in the reliability of milling peat production.

Keywords: peat deposit, drainage, humidity, groundwater level, drains, canals.

В настоящее время большой спрос получают фрезерный (крошкообразный) торф повышенной влажности, из которого можно получить разнообразные виды удобрений, компостов, субстратов, грунтов и т. д. Грунтовые воды торфяного месторождения в естественном состоянии находятся близко от поверхности и зачастую даже выходят на дневную поверхность. Торфяная залежь, насыщенная водой, обладает очень низкой несущей способностью, что делает невозможным передвижение по ней машин для добычи торфа. Кроме того, при сушке фрезерного торфа грунтовые воды поднимаются по капиллярам и увлажняют слой сушимого торфа. Поэтому осушение выполняет две основные задачи: создание благоприятных условий для сушки торфа и обеспечение надежной проходимости торфяных машин по поверхности залежи.

Фрезерный торф добывается поверхностно-послойным способом путем измельчения верхнего подготовленного слоя торфяной залежи, которая должна иметь определенную эксплуатационную влажность в пределах 75–82% в зависимости от типа залежи. Поэтому поверхность производственных полей должна быть хорошо осушена с помощью картовых каналов, которые прорываются обычно на расстоянии 20 м друг от друга на верховых и 40 м на низинных залежах. Фактические же значения эксплуатационной влажности отличаются от нормативных чаще всего в зависимости от метеорологических условий, состояния осушительной сети, состояния поверхности полей и др.

При сушке фрезерного торфа кроме испарения влаги из слоя происходит его увлажнение грунтовыми водами, которые поднимаются вверх по капиллярам. Величина этого увлажнения зависит от расстояния от дневной поверхности до уровня грунтовых вод. При достаточно сильном увлажнении, когда уровень грунтовых вод менее 30 см, высушить фрезерный торф до кондиционной влажности практически невозможно, так как количество поступившей влаги в сушимый слой близко или больше интенсивности испарения из растила [4].

Для улучшения эффективности производства фрезерного торфа, а также лучшего осушения производственных площадей, необходимо совместное применение открытых картовых каналов и дренажа различной конструкции, которые могут привести к возрастанию час-

тоты осушителей и к снижению влажности разрабатываемого слоя залежи. Созданием и изучением применения мелкого щелевого дренажа занимались ученые в 70–90 гг. [1, 2]. Для закладки мелкого щелевого дренажа было создано различное оборудование: ОМЗД-2А с рабочим органом шнек-фрезой, ТМТ-1 с дисковой фрезой и МДМ-2 с двумя дисковыми фрезами. Производительность данного оборудования составляет около 300 м/ч. Глубина закладки дрен ОМЗД-2 и ТМТ-1 составляет 1 м, а МДМ-2 – 0,6 м. Площадь сечения полости дрен составляет: ОМЗД-2 – 0,1082; МДМ-2 – 0,0205; ТМТ-1 – 0,1133 м². Закрытие верхней части дрен при закладке их оборудованием ОМЗД-2 осуществлялось на глубину 0,20 м. При дренировании машиной МДМ-2 закрытие дрен составило 0,10 м, а при закладке дрен, выполненных машиной ТМТ-1, закрытие их не предусмотрено.

Применение мелкого щелевого дренажа на залежах низинного типа позволило снизить влажность верхнего фрезеруемого слоя залежи на 1–2%, увеличить цикловые сборы на 5% и количество циклов на 1–2 за сезон. Проверка технологической схемы применения щелевого дренажа на залежах верхового типа была проведена различным, выше описанным оборудованием, на торфяном месторождении верхового типа, расположенным в Тверской области. На глубину закладки дрен залежь опытного участка представлена пушицево-сфагновым и магелланикум торфом степенью разложения 15–25%. Влажность залежи до нарезки дрен была 85–88%. Расстояние между дренами – 10 м, дренаи закладывались перпендикулярно картовым кагалам (открытым осушителям) после предварительного осушения и подготовки поверхности карт. Длина нарезки дрен составляла половине расстояния между картовыми каналами. Экскавируемый при отрыве полости дрен торф разравнивался по поверхности карт, что способствовало обогащению разрабатываемого торфа [3].

Эффективность щелевого дренажа в основном определяется устойчивостью свободной полости дрен. Под воздействием различных факторов (осадки залежи, гидродинамического давления грунтовых вод, давления машин и технологического оборудования в процессе добычи фрезерного торфа и др.) происходит деформация дрен. Эта деформация дрен заключается в уменьшении площади их поперечного сечения. Вследствие того, что причины,

вызывающие деформацию дрен, действуют постоянно, площадь поперечного сечения их также уменьшается, что приводит к снижению водопримной и пропускной способности дренажа.

В течение всего периода наблюдений проводились замеры площади поперечного сечения дрен через 2, 16, 27, 33, 37, 44, 57 циклов добычи торфа на расстоянии от бровки картового канала 0, 1, 3, 5, 7, и 9 м. По полученным данным определялся коэффициент закрытия дрен по формуле

$$K_3 = \frac{F_{np} - F_t}{F_{np}} \cdot 100, \%$$

где F_{np} , F_t – площадь поперечного сечения дрен, м², соответственно в момент прорытия и в момент замера.

Результаты расчетов данного коэффициента представлены на рис. 1 для дрен, заложенных оборудованием ОЗМД-2. Анализируя полученные зависимости, можно констатировать, что деформация полости дрен по их длине неравномерная. Наибольший эффект закрытия зафиксирован на участке дрен, расположенных на 3–7 метрах от бровки картового канала. Это объясняется тем, что на этом участке происходит наиболее интенсивное передвижение технологического оборудования. Вскрытие дрен показывает, что полностью деформировались дренажи через 1 и 2 года сезона добычи торфа. К этому времени на участке было проведено 44 технологических цикла (рис. 1, кривая 7).

Аналогичные зависимости изменения K_3 от расстояния от бровки картового канала до пункта замера получены и для дрен, заложенных оборудованием ТМТ-1 и МДМ-2. На площадке, где закладывался дренаж машиной ТМТ-1, совершенно иная картина деформации дрен. При работе данной машины полость дрен оставалась открытой, поэтому в процессе добычи фрезерного торфа в нее попадало много крошки, что вызывало уменьшение высоты дрен и снижение эффективности дренажа. Через месяц после прорытия дрен было произведено их вскрытие, которое показало, что за этот период основная деформация происходит за счет уменьшения их глубины (слой торфяной массы на дне дрен был 16–20 см), в то время, как на дренах, выполненных машиной ОЗМД-2 этот слой составлял всего 3–5 см. Установлено наблюдениями, что верх-

няя часть дрен, заложенная ТМТ-1, смыкается после проведения 4–5 циклов добычи торфа. Дрены полностью деформировались через год после их закладки, в то время, как на площадке, задренированной ОЗМД-2, максимальный коэффициент закрытия дрен за это же время составил 92,2%.

Было также установлено, что при нарезке дрен машиной ТМТ-1 большое количество торфяной массы забрасывается в картовые каналы, создавая перемычки и тем самым поднимая уровень воды в канале. Высота перемычки достигала 20–25 см, это вызывало необходимость в дополнительной прочистке каналов. Наблюдения за деформацией дрен, заложенных машиной МДМ-2, показали, что они полностью деформировались спустя 10 циклов добычи торфа, что составило меньше половины длительности одного сезона.

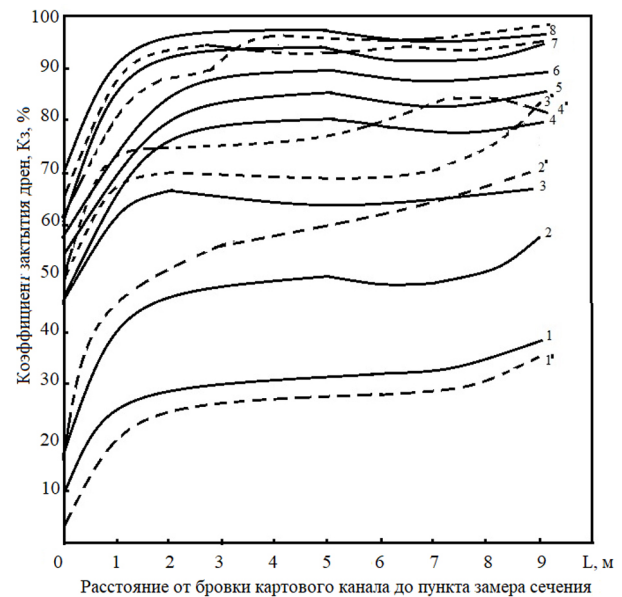


Рис. 1. Зависимость изменения коэффициента закрытия дрен от расстояния от бровки канала до пункта замера сечения дрен (м) и от количества циклов добычи торфа на день замера, n_c : 1 = 0; 2 = 2; 3 = 16; 4 = 27; 5 = 33; 6 = 37; 7 = 44; 8 = 57 (без штриха – ОЗМД-2; со штрихом – МДМ-2)

Fig. 1. The dependence of the change in the drainage closing factor on the distance from the channel edge to the drain section measurement point (m) and on the number of peat production cycles per day of measurement, n_c : 1 = 0; 2 = 2; 3 = 16; 4 = 27; 5 = 33; 6 = 37; 7 = 44; 8 = 57 (without barcode – OZMD-2; with a barcode – MDM-2)

Проводились наблюдения за уровнем грунтовых вод (рис. 2), из которых следует, что несмотря на частичную деформацию дрен уровни грунтовых вод на площадках, заложенных оборудованием ОЗМД-2 (кривая 1) на 50% и ТМТ-1 (кривая 2) на 30%, ниже от поверхности, чем на контрольных площадках (кривая 4). Снижение уровня грунтовых вод наблюдалось в июле месяце как в первый год (кривые 1, 3, 4) из-за выпавших осадков в этот месяц больше среднего (кривая 7), так и во второй год (кривые 5, 6 и 8) осадков выпало в 2 раза больше первого года (кривые 7, 8). Однако наблюдения показали отсутствие застойной воды на дренированных картах как в период весеннего паводка, так и после выпадения атмосферных осадков, хотя такое явление наблюдалось на недренированных картах.

Работа дренажа на полях добычи фрезерного торфа должна заключаться не только в равномерном понижении уровней грунтовых вод по всей площади карты, но и в быстром отводе выпавших атмосферных осадков.

На рис. 3 представлены измеренные значения модулей стока (кривая 1) и объемов торфяной воды (кривая 2) с 1 га торфяной залежи. Как видно из приведенных данных (рис. 3) модуль стока (кривая 1) на дренированных площадках (рис. 3, I и II) значительно больше, чем на площадях, осушаемых только картовыми каналами (III). Суммарное количество отводимой воды с 1 га осушаемой площади в 1,5–2 раза больше с дренированных карт, чем с недренированных. Сток воды из микродрен в форме изливающейся струи практически отсутствует. Капельное истечение воды после выпадения осадков более 10 мм наблюдалось при применении мелкого щелевого дренажа из отдельных дрен.

Снижение влажности залежи в зоне закладки дрен происходило вследствие интенсивного отвода воды их осушаемого слоя. В первый год после закладки дренажа влажность верхнего двухсантиметрового слоя залежи на площадках задренированных ОЗМД-2 и ТМТ-1, соответственно снизилась на 2,1 и 1,2% по сравнению с контрольной, а влажность десятисантиметрового разрабатываемого слоя была на 2,4% ниже, чем на контрольной. На второй год эксплуатации влажность верхнего двухсантиметрового слоя на этой же залежи уменьшилась соответственно всего на 1,2 и 0,6%, чем на контрольной. На площадке, на которой был заложен дренаж оборудованием

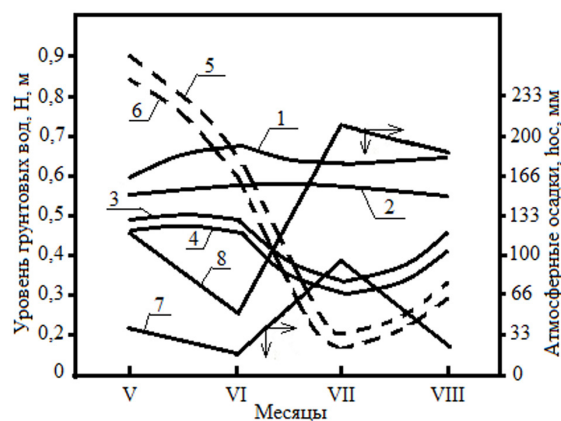


Рис. 2. Изменение среднемесячных уровней грунтовых вод на площадках, задренированных машинами; 1 – ОЗМД; 2 – ТМТ-1; 3 – МДМ-2; 4 – контроль (первый год работы); 5 – ОЗМД-2; 6 – контроль (второй год работы дрен); 7 – атмосферные осадки первого года; 8 – осадки второго года работы дрен

Fig. 2. Change in the average monthly groundwater levels at sites trained by machines; 1 – OZMD; 2 – TMT-1; 3 – MDM-2; 4 – control (first year of operation); 5 – OZMD-2; 6 – control (second year of drains operation); 7 – precipitation of the first year; 8 – precipitation of the second year of drains operation

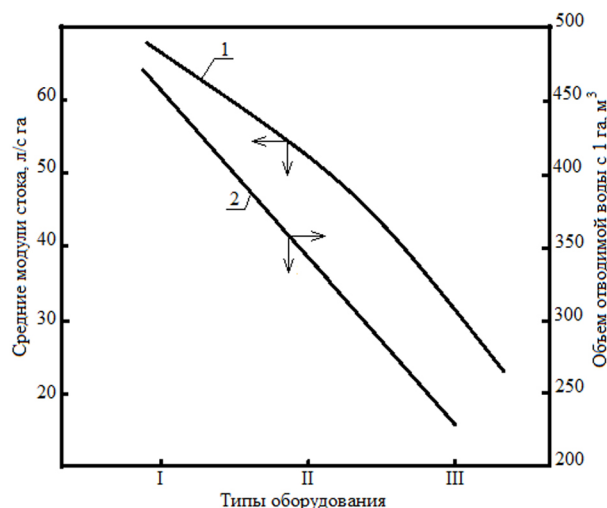


Рис. 3. Изменение модуля стока (1) с 1 га и объема отводимой воды (2) с 1 га осушаемой площади при закладке дренажа оборудованием: I – ОЗМД-2А; II – ТМТ-1; III – контрольная площадке без дрен

Fig. 3. Change of drain module (1) from 1 ha and volume of drained water (2) from 1 ha of drained area when laying drainage with equipment: I – OZMD-2A; II – TMT-1; III – control area without drains

МДМ-2, снижения влажности залежи по сравнению с контрольными практически не произошло.

Следовательно, проведенные исследования показали, что для увеличения эффективности осушения производственных площадей добычи фрезерного торфа, особенно на залежах верхового типа, наиболее целесообразным является применение мелкого щелевого дренажа, заложенного оборудованием ОЗМД – 2. Применение мелкого щелевого дренажа совместно с картовыми каналами дает возможность снизить уровни грунтовых вод на 0,15–0,20 м, в 1,5–2 раза увеличить объем отводимой воды с 1 га осушаемых полей и в среднем снизить на 2% влажность во фрезеруемом слое залежи по сравнению с осушением только сетью открытых каналов. Таким образом, применение комбинированной схемы осушения (картовые каналы и дрены) позволяет интенсифицировать процесс осушения производственных площадей, снижается влажность фрезеруемого слоя залежи на 1–2%, цикловые сборы повышаются на 5–10%, возрастает количество циклов за сезон за счет более быстрого ввода площадей в эксплуатацию после выпадения осадков, а также дает возможность повысить надежность добычи фрезерного торфа, увеличить несущую способность торфяной залежи для успешного

проведения технологических операций и проезда торфяной техники и оборудования.

Библиографический список

1. *Покаместов В.В.* Влияние способов глубокого дренирования и щелевого дренирования торфяных месторождений на понижение влажности залежи в разрабатываемом слое / В.В. Покаместов, А.П. Кузнецов, А.К. Кочедыков, Т.И. Степаничева // Торф. пром-сть. – 1973. – № 4. – С. 14–16.
2. *Краснов Ю.В.* Эффективность применения мелкого щелевого дренажа на полях добычи фрезерного торфа / Ю.В. Краснов, В.Г. Степаничев // Торф. пром-сть. – 1980. – № 7. – С. 8–10.
3. *Сергеев Ф.Г.* Подготовка торфяных месторождений к эксплуатации и ремонт производственных площадей / Ф.Г. Сергеев. – М.: Недра, 1985. – 256 с.
4. *Смирнов В.И.* Практическое руководство по организации добычи фрезерного торфа / В.И. Смирнов, А.Н. Васильев, А.Е. Афанасьев, А.Н. Болтушкин. – Тверь: ТГТУ, 2007. – 392 с.
5. *Афанасьев А.Е.* Технология и комплексная разработка торфяных месторождений / А.Е. Афанасьев, Л.М. Малков, В.И. Смирнов, Г.Е. Столбикова, О.В. Шамбер // Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1987. – 311 с.

УДК 629.113

Петров А.А.

Петров Александр Александрович, конструктор-изобретатель болотно-шагающих технологических машин, лауреат Всероссийского конкурса «Инженер года», внештатный научный сотрудник кафедры технологических машин и оборудования, Тверской государственной технической университет, e-mail: tverotk@mail.ru

Зюзин Б.Ф.

Зюзин Борис Федорович, д. т. н., профессор, лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, заведующий кафедрой технологических машин и оборудования, Тверской государственной технической университет, e-mail: zbfu@yandex.ru

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ШАГАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ БОЛОТОХОДНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. Приведены конструкции различных шагающих механизмов и машин и дан их критический анализ, отмечены индивидуальные недостатки и положительные качества, присущие той или иной конструкции шагающей машины применительно к возможности ее применения в болотоходной технике.

На основе приведенных теоретических и экспериментальных исследований по критериям плавности хода, проходимости, экологичности и энергоемкости обоснована рациональная конструкция шагающего механизма для его использования в болотоходных машинах в условиях труднопроходимых неосушенных торфяных болот.

Рациональная конструкция шагающего механизма первоначально была применена в конструкции физической модели и натурального экспериментального образца шагающего болотохода БШ-1, а в дальнейшем использована во всех последующих образцах болотоходной техники БТ-1, БТ-2 и др., включая серийные образцы БШМ, БШМ-1 и перспективные машины.

Ключевые слова: шагающий механизм, шагающая машина, плавность хода, проходимость, экологичность, энергоемкость, рациональная конструкция, шагающий болотоход, торфяное болото.

Petrov A.A.

Petrov Alexander A., designer and inventor of mire-walking technological machines, freelance researcher at the Chair of Technological Machines and Equipment of the Tver State Technical University. tverotk@mail.ru

Zyuzin B.F.

Zyuzin Boris F., Dr. Sc., Prof., Head of the Chair of Technological Machines and Equipment of the Tver State Technical University. zbfu@yandex.ru

JUSTIFICATION OF RATIONAL WALKING MECHANISM FOR SWAMP-WALKING EQUIPMENT

Abstract. The designs of various walking mechanisms and machines are given and their critical analysis is given, individual disadvantages and positive qualities inherent in a particular design of a walking machine are noted in relation to the possibility of its use in swamp-walking equipment. Based on the above theoretical and experimental studies on the criteria of smooth running, patency, environmental friendliness and energy intensity, a rational design of a walking mechanism is justified for its use in swamp-walking machines in conditions of impassable undried peat bogs. The rational design of the walking mechanism was initially used in the designs of a physical model and a natural experimental sample of a walking swamp walker BSH-1, and later used in all subsequent samples of swamp-walking equipment BT-1, BT-2, etc., including serial samples of BSHM, BSHM-1 and promising machines.

Keywords: walking mechanism, walking machine, smooth running, patency, environmental friendliness, energy consumption, rational design, walking swamp walker, peat bog.

Из патентно-технической литературы и предшествующего уровня техники известно несколько основных видов механизмов шагания или шагающих механизмов, основанных на преобразовании вращательного движения приводного вала двигателя в поступательное движение шагающих опор или ног.

К таким механизмам в первую очередь можно отнести «стопоходящую машину» П.Л. Чебышева, механизм шагания Джо Кланна, механизм Тео Янсена и различные их модификации.

Первый в мире шагающий механизм в виде «стопоходящей машины» или «стоподохода» изобрел и воплотил в жизнь в виде макета русский математик и механик П.Л. Чебышев, который во второй половине XIX века проводил исследования шарнирно-рычажных механизмов, служащих для приближенного преобразования кругового движения в прямолинейное [1, 2].

Основой «стоподохода» служит лямбда-механизм, получивший название из-за сходства с греческой буквой «лямбда» (рис. 1).

Лямбда-механизм состоит из четырех звеньев: неподвижного звена, на котором установлены шарниры O и D , и трех подвижных звеньев AO , AC и BD , которые имеют определенные и зависимые между собой длины.

Так, если длина ведущего звена AO лямбда-механизма равна l , то длина звена BD будет равна $2,5l$, а длина звена AC равна $5l$.

При этом длины отрезков AB и BC равны $2,5l$. Ведущее звено AO вращается по окружности относительно точки O (шарнира O), а ведомое звено AC своей верхней точкой C (шарниром C) описывает траекторию, нижняя часть

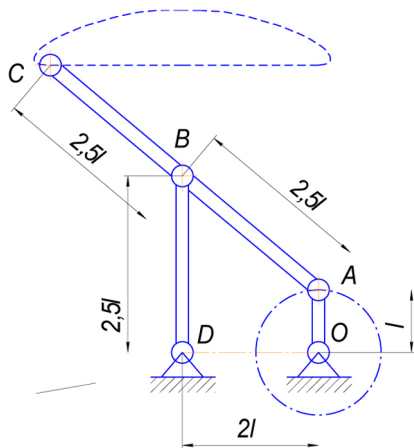


Рис. 1. «Лямбда» механизм П.Л. Чебышева

Fig. 1. «Lambda» mechanism of P.L. Chebyshev

которой мало отличается от прямолинейного движения, а верхняя часть похожа на движение копыта лошади.

К ведомому звену AC лямбда-механизма в его верхней точке прикрепляется нога, которая описывает ту же траекторию, что и шарнир C .

П.Л. Чебышев считал, что с точки зрения проходимости траектория движения, описываемая верхней точкой ведущего звена, может стать рациональной в техническом применении в шагающих машинах по сравнению с существующими колесными машинами.

«Стопоход» П.Л. Чебышева состоит из четырех лямбда-механизмов с прикрепленными к ним ногами.

При этом у стоподохода лямбда-механизмы объединены в две пары и смонтированы на одном общем основании (рис. 2).

Шагающий механизм П.Л. Чебышева пользовался большим успехом на Всемирной выставке в Париже в 1878 году.

Тем не менее «стопоходящей машине» с точки зрения ее применения в болотоходной технике присущи такие недостатки, как громоздкость конструкции и сложность устройства привода. А поворот «стоподохода» остается вообще нерешенной задачей.

Механизм шагания Джо Кланна аналогично механизму шагания П.Л. Чебышева представляет собой плоский шарнирно-рычажный механизм, имитирующий походку животных (рис. 3) [3].

На левом рисунке (рис. 3) кривошип показан в виде крайнего правого звена механизма и расположен под углом 0° .

Пропорции каждого из звеньев механизма определяются необходимостью приблизить к

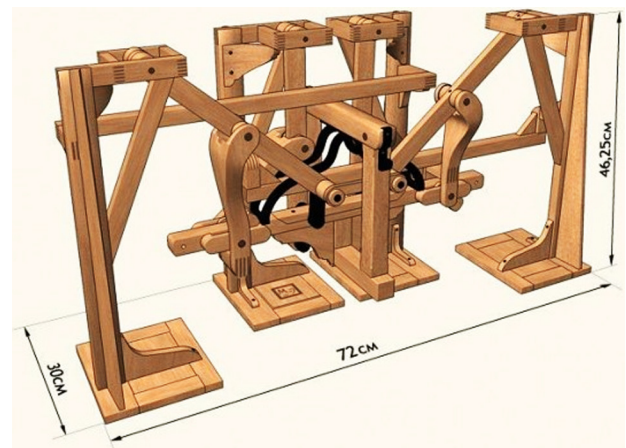


Рис. 2. Макет «стоподохода» П.Л. Чебышева

Fig. 2. Layout of P.L. Chebyshev's «stopover»

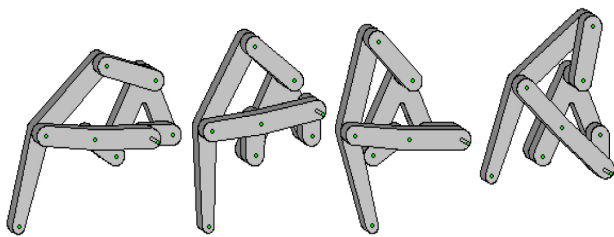


Рис. 3. Механизм шагания Джо Кланна в четыре положения шатуна (0° , 90° , 180° и 270°)

Fig. 3. Joe Klann's walking mechanism in four connecting rod positions (0° , 90° , 180° and 270°)

линейному характеру движения «ножки» (нижнего звена). За первые пол-оборота кривошипа «ножка» перемещается приблизительно линейно, а за оставшиеся пол-оборота она поднимается на заданную высоту, прежде чем вернуться в исходное положение, после чего цикл движений повторяется.

Два механизма шагания Джо Кланна, соединенные вместе через кривошипы и сдвинутые друг относительно друга по фазе на полцикла, представляют собой шагающую машину, корпус которой при шагании перемещается параллельно опорной поверхности. Такая машина выглядит как длинноногое шагающее животное (рис. 4).

Машина, оснащенная механизмами шагания Кланна, может взбираться по ступеням, перешагивать через некоторые препятствия, которые недоступны, например, колесным движителям.

Нидерландский ученый, художник и кинематический скульптор Тео Янсен, которого называют скульптором животных, разработал и построил ряд шагающих механизмов больших размеров, напоминающих скелеты животных, которые способны передвигаться под воздействием силы ветра по песчаным пляжам [4].

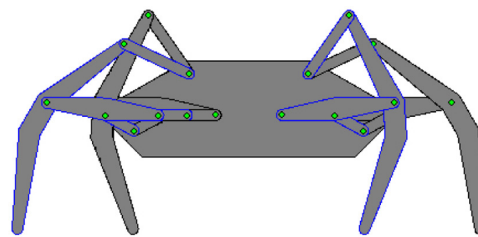


Рис. 4. Шагающая машина из двух механизмов шагания Джо Кланна

Fig. 4. A walking machine consisting of two Joe Klann walking mechanisms

Тео Янсен подбирал на компьютере размеры рычагов, чтобы получить нужную шагающую траекторию.

Траекторий получалось много, но все они далеки от траектории движения ног стопоходящей машины П.Л. Чебышева.

Эти траектории скорее всего ближе к траекториям движения ног насекомых.

Шагающие механизмы и машины П.Л. Чебышева, Джо Кланна и Тео Янсена в силу своих недостатков (сложность устройства привода, невозможность поворота и др.) до сих пор не нашли своего практического применения в болотоходной технике, но могут найти применение в робототехнике.

Так, на основе приведенных выше механизмов ведутся работы по разработке плоских шагающих роботов [5].

Для проверки возможности использования механизма П.Л. Чебышева в шагающей болотоходной технике на кафедре «Торфяные машины и комплексы» Калининского политехнического института (ныне Тверского государственного технического университета – ТвГТУ), была изготовлена и опробована в действии модель самоходного шагающего транспортного средства (рис. 5) [6].

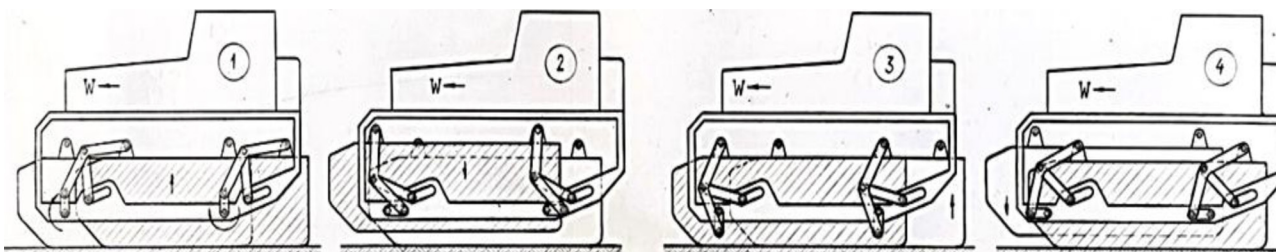


Рис. 5. Схема процесса передвижения самоходного шагающего транспортного средства с кривошипно-шатунным механизмом типа «прямилы Чебышева» [6]

Fig. 5. Diagram of the movement process of a self-propelled walking vehicle with a crank mechanism of the «Chebyshev straight» type [6]

Каждая шагающая опора такой машины была соединена сосвободными концами шатунов двух синхронно установленных приводных кривошипно-шатунных механизмов типа «прямилла Чебышева» [1].

Качалки этих механизмов были шарнирно установлены на ходовой раме.

Поворотливость самоходного транспортного средства обеспечивалась в процессе его передвижения за счет сокращения длины шага соответствующей опоры.

Положительным качеством рассмотренной выше шагающей машины явилась удовлетворительная плавность движения рамы (корпуса).

Однако испытания модели и анализ механизма шагания машины показали ее неперспективность из-за того, что в момент перехода опор с прямолинейного участка на шатунную траекторию звенья шарнирно-рычажных механизмов подходят к «мертвому» положению и в приводе возникают значительные усилия.

Изучением и разработкой шагающих механизмов и машин в нашей стране и за рубежом начали заниматься еще с середины 50-х, начала 60-х годов прошлого столетия.

А в конце 60-х годов В.П. Харлов разработал экспериментальный образец шагающей машины (болотохода) с механическим приводом механизма шагания, предназначенный для освоения неосушенных торфяных залежей Западной Сибири (рис. 6) [7].

Шагающая машина В.П. Харлова состоит из рамы, жестко соединенной с боковыми опорами, центральной опоры и механизмов подъема, перемещения и поворота опор.

Центральная опора соединена с боковыми опорами с помощью коленчатых валов, на концах каждого из которых установлены катки.

Катки помещены в направляющие опор с осевым зазором и возможностью перекачиваться в них. Горизонтальное движение машины происходит при помощи тяговой лебедки механизма перемещения. Механизм поворота выполнен с толкателями, приводимыми в движение гидроцилиндрами, закрепленными на раме. Для обеспечения плавучести машины ее опоры выполнены полыми и герметичными в виде понтонов.

В процессе испытаний машины В.П. Харлова выявлены существенные недостатки его шагающего движителя: низкая поворотливость, сложность управления и др. [8].

Дальнейшие работы по испытаниям и усовершенствованию экспериментального образ-

ца машины данной конструкции из-за указанных выше недостатков были прекращены.

В начале 70-х годов В.П. Харлов разработал еще один экспериментальный образец шагающей машины «Сибирь» с гидравлическим приводом механизма шагания [9].

Шагающая машина «Сибирь» имела два двигателя и две системы электроснабжения и запуска. Среднее давление на грунт такого движителя составляло 8,5 кПа, максимальная скорость передвижения 1 км/ч, наименьший радиус поворота 8 м, а масса 20 т.

Испытания экспериментального образца машины «Сибирь» были прекращены из-за ненадежной работы гидропривода, недостаточной величины клиренса и других недостатков движителя [9].

СибНИПИгазстрой спроектировал экспериментальный образец шагающего экскаватора с гидроприводом механизма шагания (рис. 7) [10].

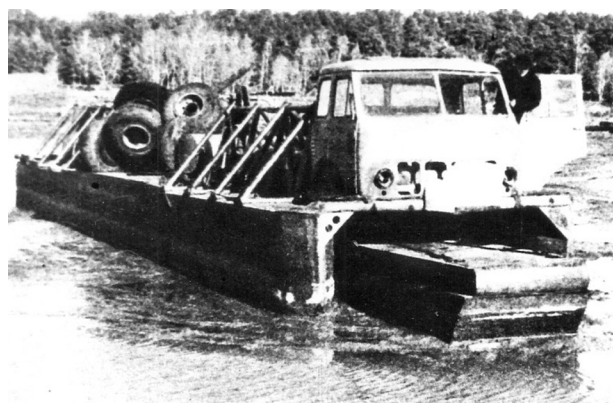


Рис. 6. Экспериментальный образец шагающей машины конструкции В.П. Харлова [7]

Fig. 6. Experimental sample of a walking machine designed by V.P. Kharlov [7]

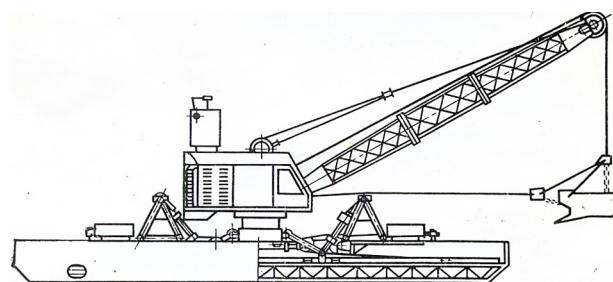


Рис. 7. Экспериментальный образец шагающего экскаватора конструкции СибНИПИгазстроя [10]

Fig. 7. Experimental sample of a walking excavator structure SibNIPIGazstroy [10]

Такая шагающая машина в болотном исполнении была предназначена для строительства трубопроводов на болотах в летнее время.

Масса экскаватора составляла 23 т, мощность двигателя насосной станции 79,4 кВт, давление на грунт 9–14 кПа, скорость передвижения 0,4–1,0 км/ч, наименьший радиус поворота 9 м, высота подъема опор 0,5 м.

При испытании экспериментального образца шагающего экскаватора выявились его существенные недостатки: сложность конструкции гидропривода механизма шагания, сложность управления и эксплуатации гидропривода, а также низкая надежность его работы [10].

Уралмашзаводом разработаны образцы шагающих экскаваторов с гидравлическим и механическим приводами механизма шагания (рис. 8, 9) [11–16].

Двигатели этих экскаваторов состоят из корпуса (центральной опоры), двух боковых опор и привода.

Платформа экскаватора вместе со стрелой имеет возможность свободно поворачиваться относительно корпуса при его опирании на грунт.

В момент шагания экскаватор опирается на боковые опоры и волочась по грунту

кромку корпуса, создавая третью подвижную точку опоры.

Боковые опоры экскаваторов Уралмашзавода ЭШ-10/75, ЭШ-14/75 и ЭШ-20/65 с гидравлическим приводом шарнирно подвешены по обеим сторонам корпуса с помощью двух подъемных и двух вспомогательных гидроцилиндров через траверсу [11, 12, 16].

Управление механизмом шагания движителей осуществляется посредством автоматически действующей гидросистемы.

Боковые опоры экскаваторов Уралмашзавода ЭШ-1 и ЭШ-4/40 с механическим приводом шарнирно подвешены на две эксцентриковые рамы [13–15].

В процессе шагания эксцентрики экскаватора, насаженные на ходовой вал, своими шипами переносят эксцентриковые рамы и боковые опоры вперед по направлению движения и опускают их на грунт, а затем, опираясь на них, наклоняют экскаватор в сторону стрелы, одновременно перемещая его.

К недостаткам экскаваторов с гидроприводом механизма шагания можно отнести низкую надежность его работы из-за значительного нагрева масла в гидросистеме при частых ее переключениях, сложность гидросистемы по обеспечению поочередности и синхроннос-

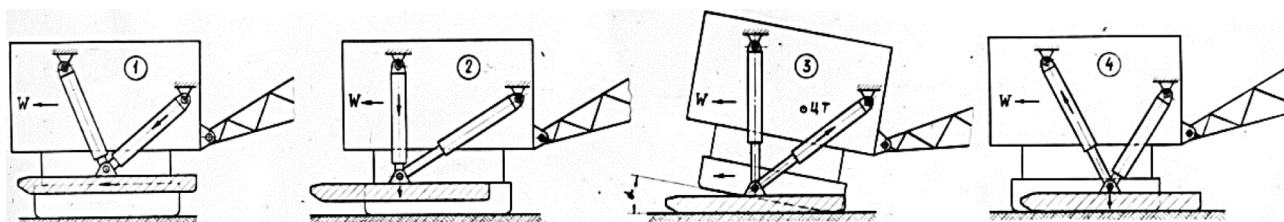


Рис. 8. Схема процесса передвижения шагающих экскаваторов Уралмашзавода ЭШ-10/75, ЭШ-14/75 и ЭШ-20/65 с гидроприводом механизма шагания [11, 12, 16]

Fig. 8. Diagram of the movement process of Uralmashzavod walking excavators ESH-10/75, ESH-14/75 and ESH-20/65 with hydraulic stepping mechanism [11, 12, 16]

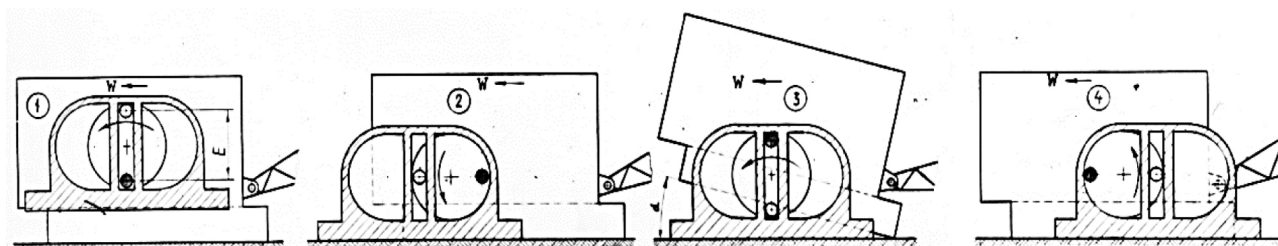


Рис. 9. Схема процесса передвижения шагающих экскаваторов Уралмашзавода ЭШ-1 и ЭШ-4/40 с механическим приводом механизма шагания [13, 15]

Fig. 9. Diagram of the movement process of Uralmashzavod walking excavators ESH-1 and ESH-4/40 with a mechanical drive of the walking mechanism [13, 15]

ти перемещения опор, высокую энергоемкость процесса шагания из-за волочения по грунту корпуса.

Одним из недостатков движителей экскаваторов ЭШ-1 и ЭШ-4/40 с механическим приводом механизма шагания, аналогично движителям экскаваторов с гидравлическим приводом, является высокая энергоемкость процесса шагания из-за волочения по грунту корпуса.

Типичным примером шагающего механизма, выполненного с применением синхронно установленных приводных коленчатых валов (кривошипов), является конструкция, предложенная И.Е. Киселевым (рис. 10) [17].

Близким аналогом такой конструкции является механизм шагания по патенту США № 3366192.

Недостатки конструкции шагающего механизма И.Е. Киселева, выполненного с использованием коленчатых валов, приведены ниже.

Анализ патентно-технической литературы позволил выявить две нетиповые конструк-

ции шагающих механизмов, которые разработаны А.М. Ивановым и Н.Н. Кокуевым [18, 19].

Шагающий механизм конструкции А.М. Иванова (рис. 11) состоит из двух боковых опор и центрального корпуса, по бортам которого установлен шарнирно-рычажный механизм в виде спаренных понтографов, ведущие точки которого шарнирно соединены с силовым приводом посредством установленного на корпусе эксцентрика, а ведомые – с боковыми опорами [18].

Невозможность поворота в процессе передвижения, большие габариты шарнирно-рычажного механизма в вертикальной плоскости и другие недостатки снижают эффективность применения шагающего механизма конструкции А.М. Иванова в болотоходной технике.

Шагающий механизм конструкции Н.Н. Кокуева (рис. 12) состоит из корпуса, поворотного установленного на центральной опоре, и двух боковых опор [19].

Они соединены с корпусом двухколенным ведущим валом.

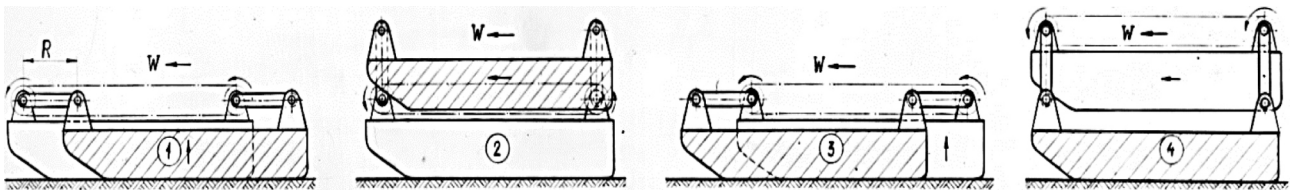


Рис. 10. Схема процесса передвижения шагающего механизма конструкции И.Е. Киселева [17]

Fig. 10. Diagram of the process of movement of the walking mechanism of I.E. Kiselev's design [17]

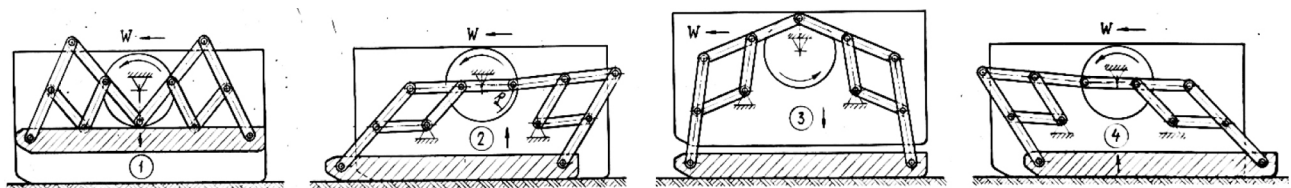


Рис. 11. Схема процесса передвижения шагающего механизма конструкции А.М. Иванова [18]

Fig. 11. Diagram of the movement process of the walking mechanism of A.M. Ivanov's design [18]

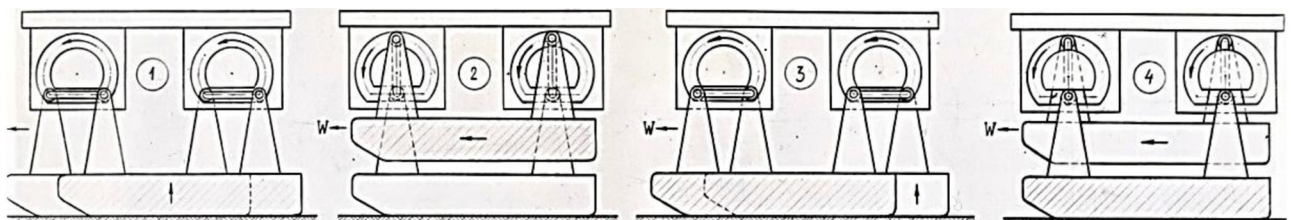


Рис. 12. Схемы процесса передвижения шагающего механизма Н.Н. Кокуева с передними и задними направляющими подковообразной формы [19]

Fig. 12. Diagrams of the process of movement of the walking mechanism of N.N. Kokuev with front and rear horseshoe-shaped guides [19]

Для снижения вертикальных колебаний корпус механизма снабжен четырьмя парами бесконечно замкнутых направляющих подковообразной формы, расположенных в вертикальных параллельных плоскостях.

Посредством этих направляющих корпус установлен на концы цапф дополнительных коленчатых валов.

Каждый коленчатый вал поворотом связан одной цапфой с корпусом, а другой – с боковой опорой.

Одним из основных недостатков механизма конструкции Н.Н. Кокуева является резкий переход его направляющих от прямолинейного участка к криволинейному.

При повороте коленвала в горизонтальное положение может происходить его заедание и заклинивание.

Подковообразная форма направляющих вызывает повышенные динамические нагрузки в приводе и способствует увеличению сопротивления передвижению движителя.

С середины 70-х годов в Калининском политехническом институте были начаты работы по созданию высокопроходимых болотоходных машин с шагающим движителем.

Работы выполнялись на кафедре «Торфяные машины и комплексы» по тематическому плану НИР по проблеме 0.55.13.Ц.03.06:03.11.

Было изготовлено несколько малогабаритных моделей шагающих машин различных конструкций и проведена проверка принципа их действия.

Разработана, изготовлена и опробована в действии модель шагающей машины с замкнутыми передними и задними направляющими овальной формы (точнее – овалообразной формы) (рис. 13).

Шагающая машина с овальной формой передних и задних направляющих состоит из рамы и трех параллельно установленных опор, центральной и двух боковых.

Привод на опоры осуществляется с помощью некруглых цепных передач и цевочных зацеплений.

Опоры в процессе шагания совершали плоско-параллельное передвижение относительно поверхности грунта.

Рама движителя перекачивалась на катках по передним и задним направляющим.

Испытания показали работоспособность движителя.

Некруглые цепные передачи несколько уменьшили величину вертикальных колебаний корпуса и увеличили плавность хода.

В то же время были выявлены следующие существенные недостатки такого движителя:

- невозможность одновременной работы передних и задних цевочных зацеплений (работало какое-либо одно из них);
- сложность регулирования смещения привода на 180° на среднюю опору по отношению к приводу на боковые опоры для обеспечения поочередного шагания опор (имело место рассогласование в работе привода);
- значительные усилия в приводе опор в момент их перестановки, обусловленные кинематикой движителя.

Позднее в конструкцию рассмотренного шагающего механизма с передними и задними овальными направляющими были внесены два усовершенствования, одно из которых было направлено на увеличение плавности хода [20], а второе на повышение надежности работы [21].

Однако сделанные усовершенствования не были направлены на изменение принципиального характера передвижения его опор и рамы.

Выше отмечены индивидуальные недостатки и положительные качества, присущие той или иной конструкции шагающей машины.

Общими недостатками шагающих машин с гидравлическим приводом механизма шагания являются сложность в управлении и в эксплуатации, а также низкая надежность работы.

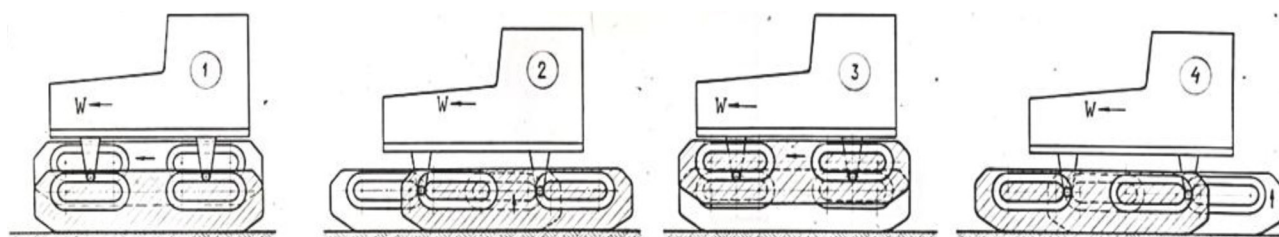


Рис. 13. Схема процесса передвижения шагающего механизма с передними и задними направляющими овальной формы

Fig. 13. Diagram of the process of movement of a walking mechanism with front and rear guides of oval shape

Так, в самом простом случае, в конструкцию гидравлического привода трехопорной болоходной шагающей машины должно входить как минимум 9 силовых гидроцилиндров: по 2 вертикальных на подъем каждой опоры и по одному на ее перемещение в горизонтальной плоскости.

Включение и выключение гидроцилиндров производится гидрозолотниками, входящими в состав элементов системы управления.

Для осуществления лишь одного шага опоры требуется совершить 8 переключений элементов гидропривода, а при выполнении целого цикла шагания при условии работы боковых опор синхронно – 16 переключений.

Большое количество переключений элементов гидропривода приводит к значительному нагреву рабочей жидкости в гидросистеме и быстрому износу ее элементов.

К общим недостаткам конструкций рассмотренных шагающих машин с механическим приводом механизма шагания можно отнести:

- нерациональный принцип передвижения корпуса из-за большой амплитуды его вертикальных колебаний, которая характеризует низкую плавность хода (величина амплитуды колебаний рамы равна высоте подъема опор);
- нерациональный принцип передвижения опор, обусловленный их подъемом, переносом и опусканием параллельно поверхности грунта, который характеризуется повышенными динамическими нагрузками в приводе и неполным использованием возможностей конструкции по проходимости из-за пассивности переносимых опор.

Требовалась разработка шагающего механизма более рациональной конструкции, лишённого отмеченных выше недостатков, имеющего более низкую амплитуду вертикальных колебаний и более высокую плавность хода и проходимость, с новым принципом взаимодействия его шагающих опор с грунтом.

Была предложена конструкция нового шагающего механизма, перемещение рамы которого производится на катках по передним овалообразным и задним прямолинейным направляющим, а передвижение опор осуществляется с преимущественным подъемом ее передней части аналогично движению ступни человека [22, 23].

Формы передних и задних направляющих рассмотренных выше известных механизмов шагания с механическим приводом механизма

шагания и предложенного механизма приведены ниже (рис. 14).

Для определения рациональной конструкции предложенного шагающего механизма по различным критериям необходимо было определить наилучшее положение задней прямолинейной направляющей по высоте и по углу ее наклона относительно положения передней овальной направляющей.

Данная задача имела два варианта для исследования по условиям установки задних направляющих.

С одной стороны, задние направляющие конструктивно могут быть установлены на раме, тогда взаимодействующие с ними задние катки – на опорах.

С другой стороны, наоборот, задние направляющие могут быть установлены на опорах, тогда взаимодействующие с ними задние катки – на раме.

Что касается передних направляющих, то они по конструктивным соображениям однозначно принадлежат опорам.

Поскольку передние катки связаны с приводом перемещения опор, который установлен

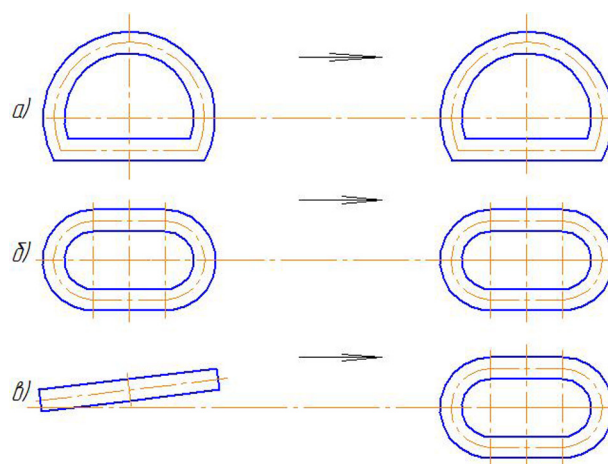


Рис. 14. Формы передних и задних направляющих механизмов шагания: а – передняя и задняя направляющие подковообразной формы [19]; б – передняя и задняя направляющие овальной формы [20, 21]; в – передняя овальная направляющая и задняя прямолинейная направляющая [22, 23], установленные на модели шагающей машины [24, 25]

Fig. 14. Shapes of the front and rear guide mechanisms of walking: a – front and rear horseshoe-shaped guides [19]; b – front and rear oval-shaped guides [20, 21]; c – front oval guide and rear rectilinear guide [22, 23], mounted on a walking machine model [24, 25]

на раме, то с конструктивной точки зрения они должны устанавливаться на раме, а взаимодействующие с ними передние направляющие – соответственно на опорах.

Исследование траекторий движения рамы с целью определения амплитуды ее колебаний и оценки плавности хода проведено для двух вариантов конструкций шагающей машины.

По варианту № 1 задние направляющие установлены на раме машины, а задние катки – на опоре.

По варианту № 2 задние направляющие установлены на опоре, а задние катки – на раме (рис. 15).

Схема исследуемых положений задней направляющей по углу ее наклона γ и высоте установки h_n относительно продольной оси симметрии передней направляющей показана ниже (рис. 16).

Угол наклона задней направляющей (γ) в экспериментах изменялся через $2,5^\circ$ в диапазоне от «-» 10° до «+» 10° , а высота (h_n) изме-

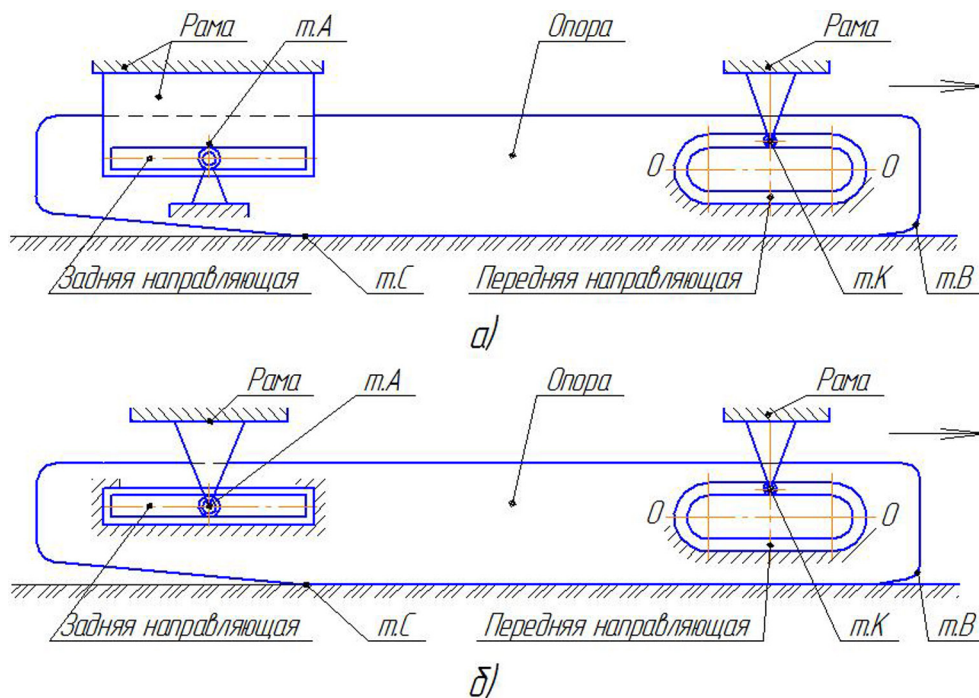


Рис. 15. Варианты установки задних направляющих на шагающей машине: а – задние направляющие установлены на раме (вариант № 1); б – задние направляющие установлены на опорах (вариант № 2); т. А и т.К – точки для исследования траекторий движения рамы; т. В и т. С – точки для исследования траекторий движения опоры; 0 – 0 – продольная ось симметрии передней направляющей

Fig. 15. Options for installing rear guides on a walking machine: a – rear guides are mounted on the frame (option No. 1); b – rear guides are mounted on supports (option No. 2); t. A and t.К – points for studying the trajectories of the frame; t. B and t. С – points for studying support movement trajectories; 0 – 0 – the longitudinal axis of symmetry of the front guide

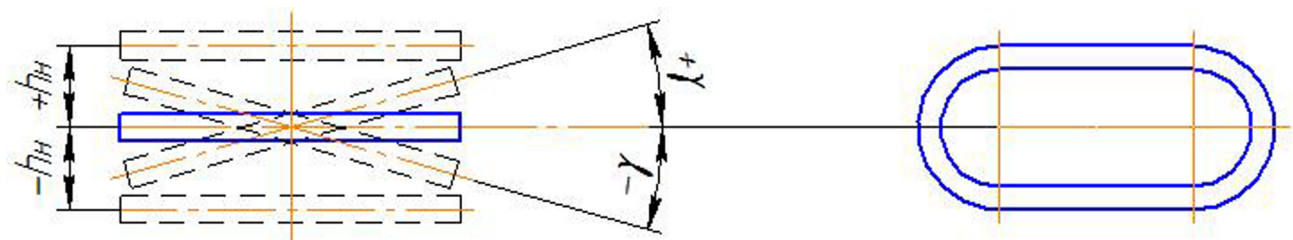


Рис. 16. Схема расположения задних прямолинейных направляющих относительно продольной оси симметрии передних овальных направляющих

Fig. 16. Layout of the rear rectilinear guides relative to the longitudinal axis of symmetry of the front oval guides

нялась через 100 мм в диапазоне от «-» 200 мм до «+» 200 мм.

Для определения рационального положения направляющих шагающей машины по критерию плавности хода были проведены экспериментальные исследования по определению амплитуды вертикальных колебаний задней части его рамы Z_3 в зависимости от угла наклона задних направляющих γ и высота их установки h_n относительно продольной оси симметрии передних направляющих в предположении, что вертикальные колебания передней части рамы отсутствуют, то есть точка «К» на раме в процессе движения не меняет своего положения по высоте.

Экспериментальные исследования выполнены графически и с использованием геометрически подобной модели шагающей машины.

Исследуемым параметром траектории движения рамы принята амплитуда ее вертикальных колебаний Z_3 в точке «А», расположенной для варианта № 1 на середине задней направляющей, а для варианта № 2 – в центре заднего катка (рис. 15).

В процессе экспериментальных исследований для точки А рамы получена серия траекторий движения, типовая из которых приведена ниже (рис. 17).

В результате обработки экспериментальных данных получены зависимости амплитуды вертикальных колебаний рамы Z_3 от угла наклона задней направляющей γ (рис. 18) и от высоты ее установки h_n (рис. 19) для указанных выше двух вариантов конструкций движителей.

Из приведенных выше зависимостей следует, что угол наклона задней направляющей γ и

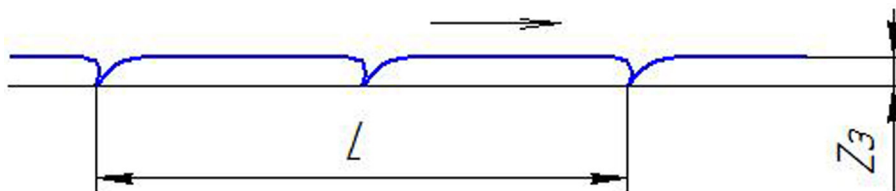


Рис. 17. Типовая траектория движения рамы шагающей машины в точке А: Z_3 – амплитуда вертикальных колебаний рамы в т. А; L – длина траектории, соответствующая длине шага опоры

Fig. 17. The typical trajectory of the frame of a walking machine at point A: Z_3 – the amplitude of the vertical vibrations of the frame in t. A; L – the length of the trajectory corresponding to the length of the support step

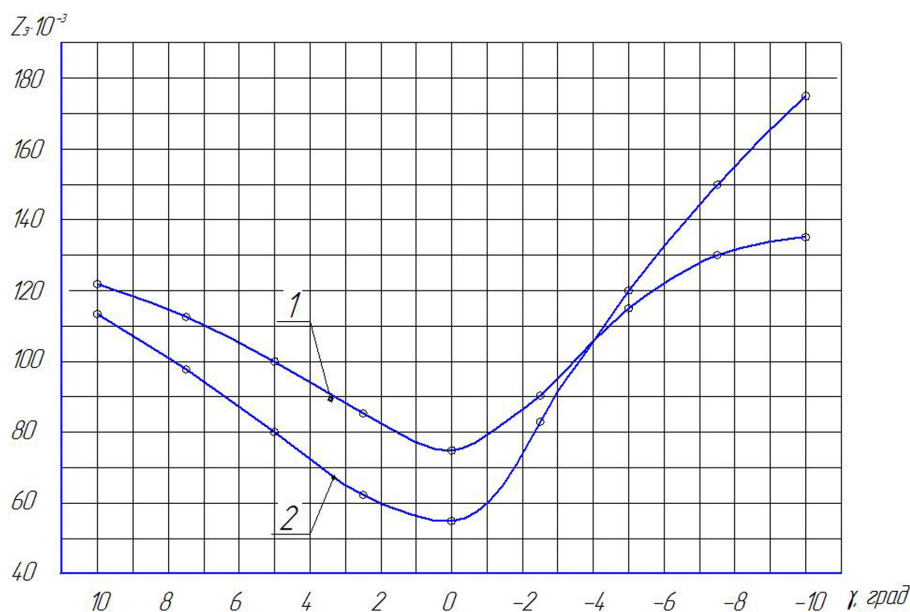


Рис. 18. Зависимость амплитуды вертикальных колебаний рамы шагающей машины Z_3 от угла наклона ее задней направляющей γ при ее установке: 1 – на раме (вариант № 1); 2 – на опоре (вариант № 2)

Fig. 18. The dependence of the amplitude of vertical vibrations of the frame of the walking machine Z_3 on the angle of inclination of its rear guide γ when it is installed: 1 – on the frame (option No. 1); 2 – on the support (option No. 2)

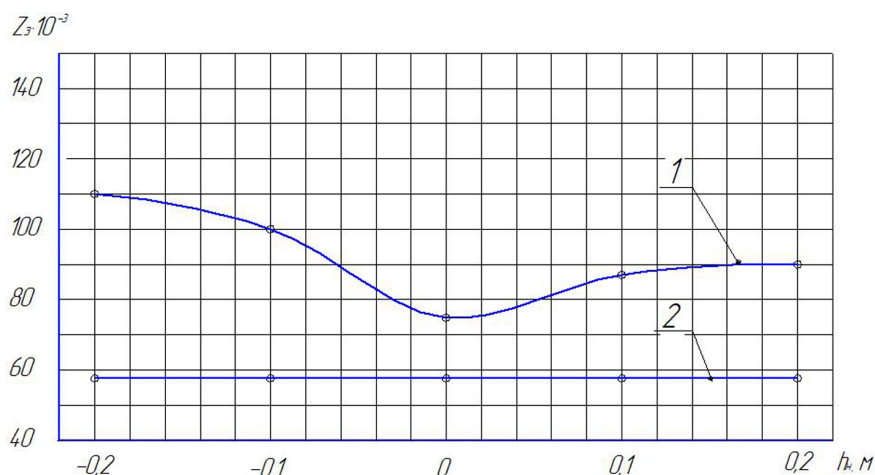


Рис. 19. Зависимость амплитуды вертикальных колебаний рамы шагающей машины

Fig. 19. Dependence of the amplitude of vertical vibrations of the frame of a walking machine

высота ее установки h_n оказывают существенное влияние на характер траекторий движения рамы, величину амплитуды ее вертикальных колебаний и плавность хода шагающего движителя.

Анализ полученных зависимостей $Z_z = \varphi(\gamma)$ и $Z_z = \varphi(h_n)$ позволяет сделать следующие выводы.

1. Минимальная величина амплитуды вертикальных колебаний рамы шагающей машины Z_z , а стало быть и наибольшая плавность ее хода в обоих вариантах будет иметь место при установке задней направляющей горизонтально ($\gamma = 0^\circ$) и на уровне продольной оси симметрии передней направляющей ($h_n = 0$); Z_z от высоты расположения задней направляющей h_n при ее горизонтальной установке: 1 – на раме (вариант № 1); 2 – на опоре (вариант № 2).

2. По варианту № 2 при $\gamma = 0^\circ$ и при $h_n = 0$ амплитуда вертикальных колебаний рамы Z_z в 1,35 раза меньше, чем по варианту № 1, поэтому более выгодным по критерию плавности хода является конструкция по варианту № 2, при котором задняя направляющая установлена на опоре.

3. Амплитуда вертикальных колебаний рамы шагающего движителя в варианте № 2 остается постоянной при изменении высоты установки задней направляющей при $\gamma = 0^\circ$, то есть $Z_z = \varphi(h_n) = \text{Const}$.

Таким образом, для снижения амплитуды вертикальных колебаний рамы шагающей машины и повышения ее плавности хода необходимо задние прямолинейные направляющие при конструировании по варианту № 1 устанавливать горизонтально и на уровне про-

дольной оси симметрии передних направляющих, а по варианту № 2 – горизонтально и на конструктивно удобной высоте.

При этом по критерию плавности хода шагающей машины вариант № 2 предпочтительнее.

Для обоснования рационального механизма шагания по критерию плавности хода для шагающей машины БШ-1 [22, 23] и для других известных конструкций шагающих машин [13, 17, 18] графически и с использованием геометрически подобной модели построен ряд траекторий движения рам (рис. 20).

На рис. 20а и 20б приведены амплитуды Z вертикальных колебаний рам в любой их точке, так как при перемещении рамы шагающих механизмов [13–15, 17, 18]; совершают плоскопараллельное движение; Z_p – амплитуда вертикальных колебаний передней части рамы без механизма стабилизации горизонтального положения; Z_z – амплитуда вертикальных колебаний задней части рамы; H_0 – максимальная высота подъема опор.

Сравнение траекторий движения рам различных шагающих машин, механизмы которых выполнены с использованием эксцентриков, коленчатых валов, рычагов и направляющих различной формы, показало их существенное отличие друг от друга по своему характеру.

Из анализа траекторий следует, что рамам присущи значительные вертикальные колебания Z .

Амплитуда колебаний этих рам для большинства известных шагающих машин равна максимальной высоте подъема их опор H_0 и по расчетам в несколько раз превышает допустимое значение. Амплитуда вертикальных колеба-

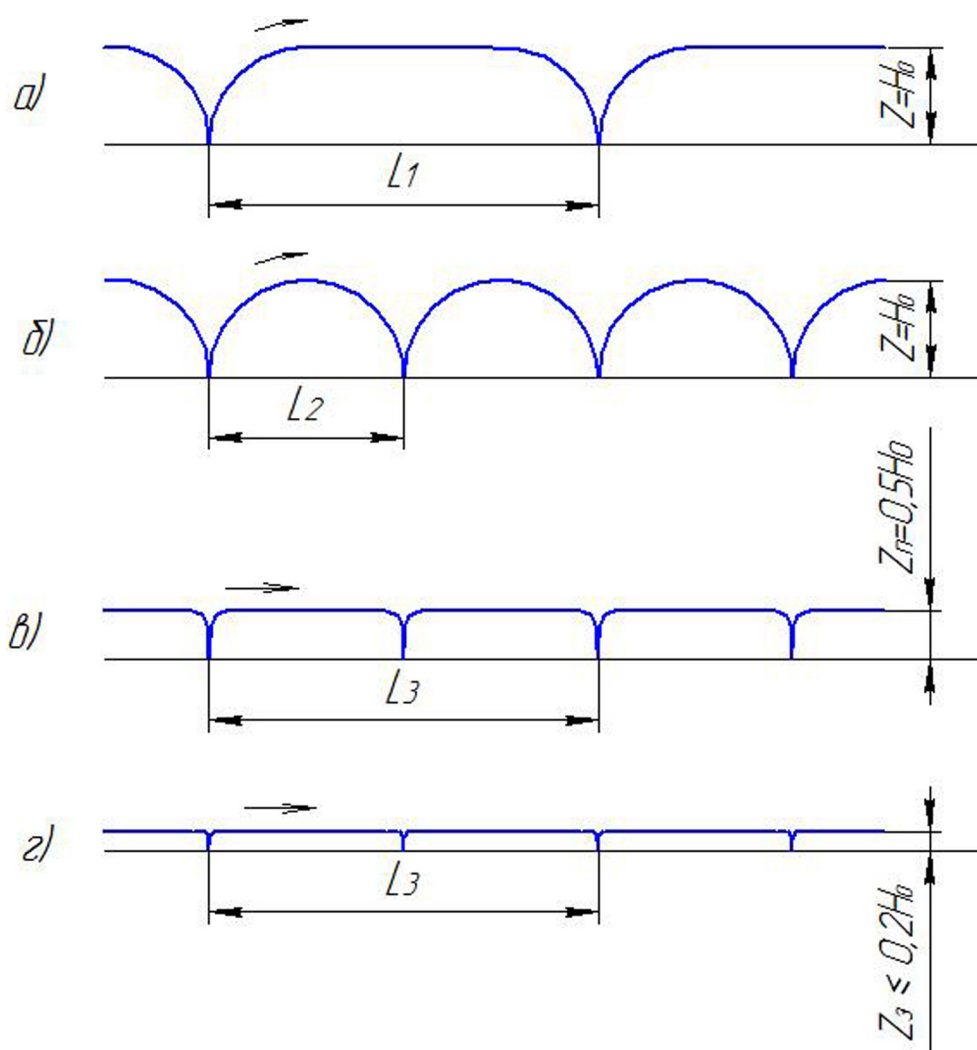


Рис. 20. Траектории движения рам шагающих машин и амплитуды их колебаний Z : а – экскаваторов ЭШ-1; ЭШ-4/40 [13–15]; б – машин конструкций И.Е. Кисилева [17], А.М. Иванова [18] и по патенту США № 3366192; в, г – болотоходов БШ и БШ-1 [22, 23]

Fig. 20. Trajectories of walking machine frames and their oscillation amplitudes Z : а – excavators ESH-1; ESH-4/40 [13–15]; б – machines designed by I.E. Kisilev [17], A.M. Ivanov [18] and according to US patent No. 3366192; в, г – swamp walkers BS and BS-1 [22, 23]

ний передней части рамы движителя шагохода Z_n в 2 раза меньше амплитуд Z вертикальных колебаний рам других известных шагающих движителей и в центре переднего катка составляет всего лишь $0,5H_0$. В задней части амплитуда Z_3 в 5 раз меньше и в центре заднего катка для варианта № 1 не превышает $0,2H_0$, а для варианта № 2 еще меньше. Исходя из полученных траекторий можно сделать вывод о значительном преимуществе механизма шагания машин с овальной передней и прямолинейной задней направляющими по критерию плавности хода по сравнению с приведенными выше механизмами других шагающих движителей.

Для полного устранения вертикальных колебаний Z_n передней части рамы шагающих машин

с овальной передней и прямолинейной задними направляющими в их конструкциях применены стабилизаторы горизонтального положения, описание устройства и принципа действия которых представляет собой отдельную тему и в данной статье не рассматривается.

Анализ известных конструкций шагающих машин [11, 13, 17, 18 и др.] показал, что все они имеют нерациональный принцип передвижения опор, который обусловлен их плоско-параллельным движением относительно грунта во всех фазах движения (при подъеме, передвижении и опускании на грунт).

При плоско-параллельном движении каждая опора в процессе ее переноса становится пассивной, так как не взаимодействует с грун-

том, что не дает дополнительных возможностей по проходимости, особенно на сильнодеформируемом грунте, каким является неосушенное торфяное болото.

Передвижение каждой опоры шагающей машины с овальной передней и прямолинейной задней направляющими в фазе подъема осуществляется с преимущественным подъемом ее передней (носовой) части, а в фазе переноса – наклонно к поверхности грунта аналогично движению ступни человека [22, 23].

Рассмотрим, как влияют на параметры траектории движения опоры шагающей машин угол наклона его задних прямолинейных направляющих γ и высота их установки h_n относительно положения передних овальных направляющих.

Экспериментальные исследования траекторий движения опоры аналогично исследованию траекторий движения рамы выполнены графически и с использованием геометрически подобной модели шагающей машины.

В качестве основных исследуемых параметров траекторий движения опоры приняты

длина шага опоры L , высота подъема опоры в конце фазы ее передвижения H_0 и углы наклона к поверхности грунта φ_n и φ_z траекторий движения передней и задней точек опоры (т. В и т. С), положение которых на опоре показано выше (рис. 15).

В процессе экспериментальных исследований получена серия траекторий движения шагающей опоры в ее передней и задней точках (т. В и т. С) в зависимости от положения задних направляющих относительно передних направляющих.

Типовые траектории движения опоры приведены ниже (рис. 21).

По полученным траекториям движения шагающей опоры построены зависимости изменения ее параметров (L , H_0 , φ_n и φ_z) от угла наклона задних направляющих γ и от высоты их расположения h_n относительно продольной оси симметрии передних направляющих для двух вариантов конструкций движителей (при установке задних направляющих на раме и на опорах) (рис. 22–25).

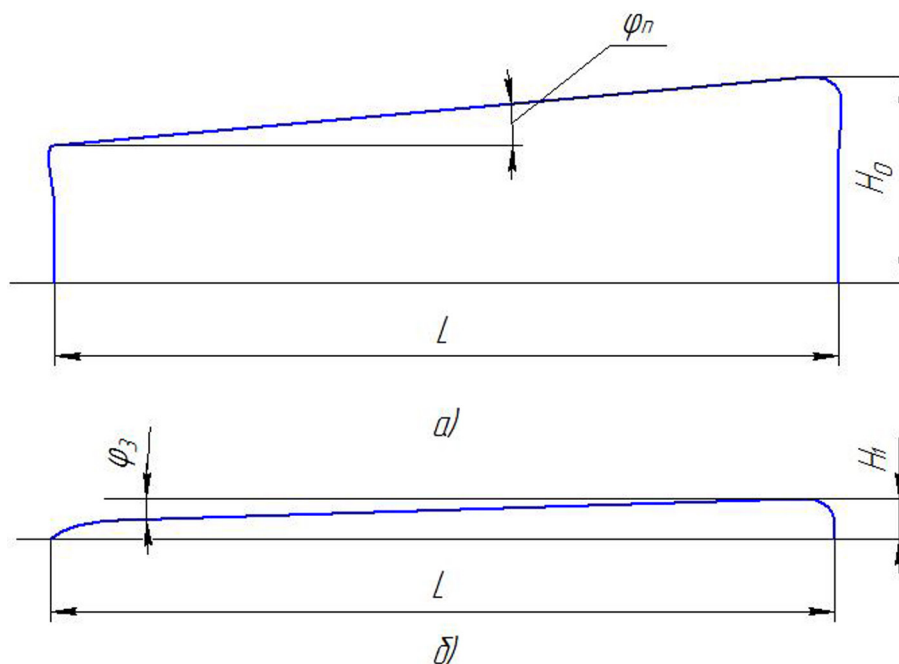


Рис. 21. Типовые траектории движения опоры и их основные параметры для шагающей машины с овальной передней и прямолинейной задней направляющими: а – траектория движения передней точки опоры (т. В); б – траектория движения задней точки опоры (т. С); L – длина шага; H_0 и H_1 – высоты подъема передней и задней точек опоры в конце фазы ее передвижения; φ_n и φ_z – углы наклона траекторий движения точек опоры в фазе передвижения

Fig. 21. Typical trajectories of the support movement and their main parameters for a walking machine with oval front and rectilinear rear guides: а – the trajectory of the front fulcrum (t. C); б – the trajectory of the rear fulcrum (t. C); L – the length of the step; H_0 and H_1 are the lifting heights of the front and rear support points at the end of its movement phase; φ_n and φ_z are the angles of inclination of the trajectories of the movement of the support points in the movement phase

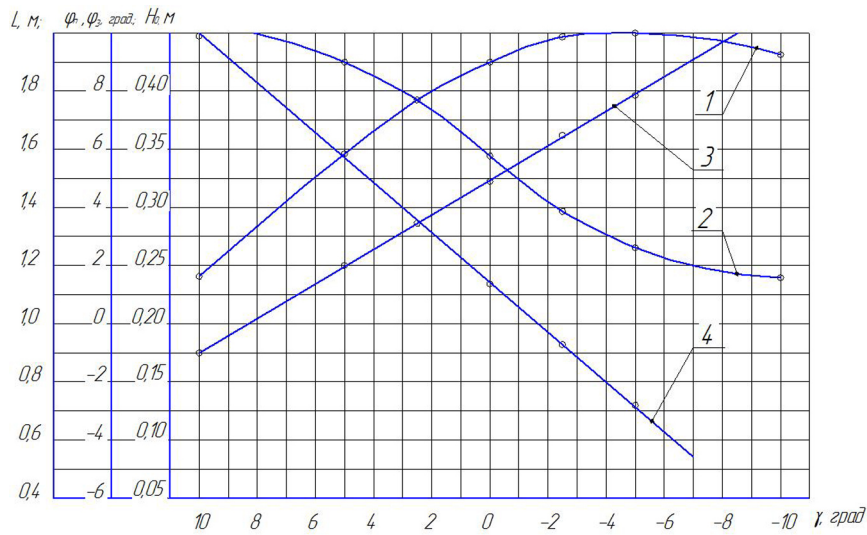


Рис. 22. Зависимость параметров траектории движения опоры шагающей машины с овальными передними и прямолинейными задними направляющими от угла наклона задних направляющих γ при их установке на раме: 1 – длина шага опоры L , м; 2 – высота подъема передней точки опоры в конце фазы ее переноса H_0 , м; 3 – угол наклона к поверхности грунта траектории движения передней точки опоры (т. В) φ_n , град; 4 – угол наклона к поверхности грунта траектории движения задней точки опоры (т. С) φ_z , град

Fig. 22. Dependence of the parameters of the trajectory of the support of a walking machine with oval front and rectilinear rear guides on the angle of inclination of the rear guides γ when they are installed on the frame: 1 – the length of the support step L , m; 2 – the lifting height of the front fulcrum at the end of its transfer phase H_0 , m; 3 – the angle of inclination to the ground surface of the trajectory of the front fulcrum (t. B) of the af, deg; 4 – the angle of inclination to the ground surface of the trajectory of the rear fulcrum (t. C) fz, deg

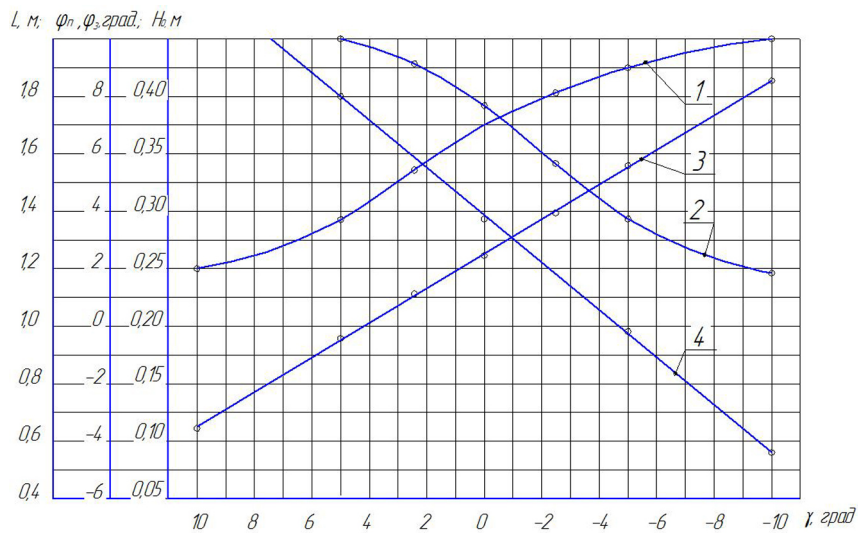


Рис. 23. Зависимость параметров траектории движения опоры шагающей машины с овальными передними и прямолинейными задними направляющими от угла наклона задних направляющих γ при их установке на опорах: 1 – длина шага опоры L , м; 2 – высота подъема передней точки опоры в конце фазы ее переноса H_0 , м; 3 – угол наклона к поверхности грунта траектории движения передней точки опоры φ_n , град; 4 – угол наклона к поверхности грунта траектории движения задней точки опоры φ_z , град.

Fig. 23. Dependence of the parameters of the trajectory of the support of a walking machine with oval front and rectilinear rear guides on the angle of inclination of the rear guides γ when they are installed on the supports: 1 – the length of the support step L , m; 2 – the lifting height of the front fulcrum at the end of its transfer phase H_0 , m; 3 – the angle of inclination to the ground surface of the trajectory of the front point of the support of the φ_n , deg; 4 – the angle of inclination to the ground surface of the trajectory of the rear fulcrum φ_z , deg.

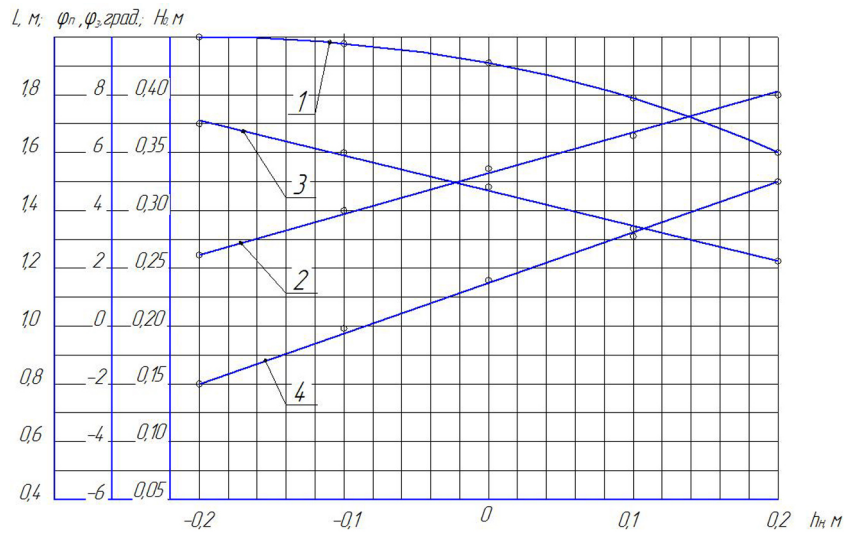


Рис. 24. Зависимость параметров траектории движения опоры шагающей машины с овальными передними и прямолинейными задними направляющими от их высоты расположения h_n при горизонтальной установке на раме: 1 – длина шага опоры L ; 2 – высота подъема опоры H_0 ; 3 – угол наклона к поверхности грунта траектории движения передней точки опоры φ_n , град; 4 – угол наклона к поверхности грунта траектории движения задней точки опоры φ_z , град.

Fig. 24. Dependence of the parameters of the trajectory of the support of a walking machine with oval front and rectilinear rear guides on their height of the h_n position when installed horizontally on the frame: 1 – the length of the support step L ; 2 – the lifting height of the support H_0 ; 3 – the angle of inclination to the ground surface of the trajectory of the front fulcrum φ_n , deg; 4 – the angle of inclination to the ground surface of the trajectory of the rear fulcrum φ_z , deg.

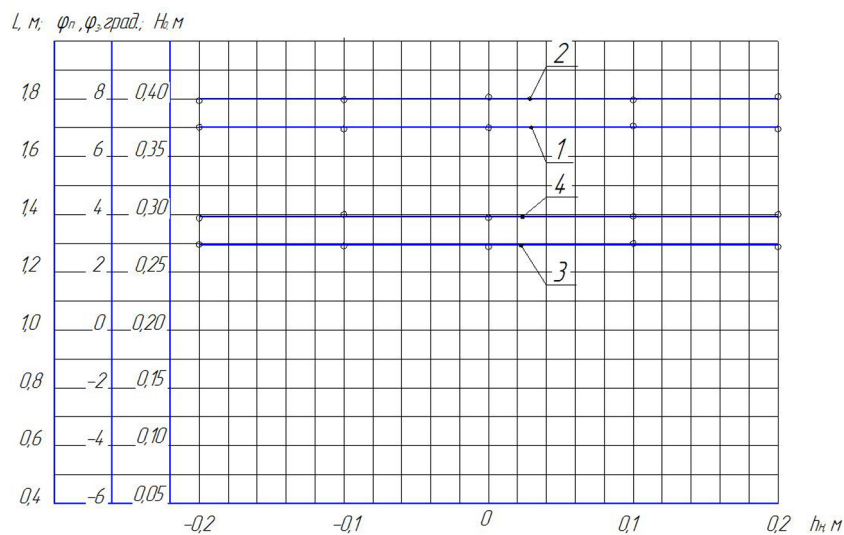


Рис. 25. Зависимость параметров траектории движения опоры шагающей машины с овальными передними и прямолинейными задними направляющими от высоты их расположения h_n при их горизонтальной установке на опорах: 1 – длина шага опоры L ; 2 – высота подъема опоры H_0 ; 3 – угол наклона к поверхности грунта траектории движения передней точки опоры φ_n ; 4 – угол наклона к поверхности грунта траектории движения задней точки опоры φ_z .

Fig. 25. Dependence of the parameters of the trajectory of the support of a walking machine with oval front and rectilinear rear guides on the height of their location h_n when they are installed horizontally on the supports: 1 – the length of the support step L ; 2 – the lifting height of the support H_0 ; 3 – the angle of inclination to the ground surface of the trajectory of the front fulcrum φ_n ; 4 – the angle of inclination to the ground surface of the trajectory of the rear fulcrum φ_z .

Зависимость параметров траектории движения опоры от угла наклона задних направляющих γ при их установке на раме и на опорах близки по характеру и по своим значениям.

Разница в значениях параметров состоит в том, что при установке задних направляющих на опорах их длина шага на 0,2 м меньше, высота подъема на 0,03–0,05 м больше, угол φ_n на 2,5 градуса меньше, а угол φ_3 на 2 градуса больше, чем при установке задних направляющих на раме.

Как следует из графиков, угол наклона задних направляющих γ и высота их установки h_n оказывают существенное влияние на характер траектории движения опоры и, как следствие, на экологичность, энергоемкость и проходимость шагающей машины.

По полученным зависимостям проведен анализ каждого из параметров траектории движения опоры с учетом их значимости и определено рациональное положение задних направляющих (табл.).

Рациональный диапазон углов наклона задних направляющих и высоты их установки определялся по параметру L , исходя из допустимого отклонения этой величины от L_{\max} до $0,85 \cdot L_{\max}$, по параметрам H_0 и φ_n – исходя из допустимого значения $H_0 = 0,35 \div 0,45$ м, по параметру φ_3 – исходя из допустимой величины подъема задней кромки подошвы опоры H_1 в конце фазы ее передвижения $0,16 \div 0,22$ м которой соответствует угол $\varphi_3 = 4 \div 6^\circ$.

Из графиков (рис. 22–25) и таблицы следует, что наиболее рациональной для шагающей машины является такая траектория, которая образована при установке задних направляющих горизонтально ($\gamma = 0^\circ$) и на уровне продольной оси симметрии передних направляющих ($h_n = 0$) независимо от принадлежности задних направляющих раме или опорам.

Также установлено, что при горизонтальном расположении задних направляющих на опорах изменение положения направляющих по высоте в исследуемом диапазоне от $(-0,2$ м) до $(+0,2$ м) не влияет на величины параметров траектории движения опоры.

При различной высоте расположения задних направляющих все параметры рассматриваемой траектории движения опоры остаются постоянными.

В таком случае установка задних горизонтальных направляющих на опорах по высоте относительно продольной оси симметрии передних направляющих может производиться по конструктивным соображениям.

На экспериментальных и опытно-промышленных образцах шагающих машин БШ-1 и БШ-2 задние направляющие были установлены горизонтально и на уровне продольной оси симметрии передних направляющих по варианту № 1 (задние направляющие принадлежат раме).

На шагающих машинах БТ-1 и БТ-2 и на всех последующих образцах, задние направляющие были установлены горизонтально по варианту № 2 (задние направляющие принадлежат опорам).

Высота установки задних направляющих относительно передних направляющих на болотоходах БТ-1 и БТ-2, а также на всех последующих образцах шагающих машин определялась из конструктивных соображений.

Изучение траекторий движения шагающих опор представляет интерес не только с точки зрения кинематики, но и с точки зрения экологии.

Для оценки экологичности шагающей болотоходной машины были исследованы траектории движения опор натурального экспериментального образца шагающего болотохода БШ-1.

Таблица. К определению рационального положения задних направляющих по основным параметрам траектории движения опоры

Table. To determine the rational position of the rear guides according to the main parameters of the trajectory of the support

Параметр	Значимость параметра, %	Задние направляющие установлены			
		на раме		на опорах	
		Рациональное положение		Рациональное положение	
		угла наклона γ , град.	высоты установки h_n , м	угла наклона γ , град.	высоты установки h_n , м
L	35	$3 \div (-10)$	$(-0,2) \div 0,16$	$0 \div (-10)$	Параметры не зависят от высоты (h_n) при $\gamma = 0^\circ$
H_0	30	$3 \div (-2)$	$(-0,1) \div 0,2$	$0 \div (-4)$	
φ_3	20	$5 \div 3$	$0,13 \div 0,2$	$0 \div 3$	
φ_n	15	$(-1,5) \div (-8)$	$(-0,2) \div (-0,1)$	$(-6) \div (-10)$	

При исследовании применен метод кино-съемки.

Исследование проводилось на торфяном массиве «Галицкий Мох» в Тверской области.

Полученные траектории движения позволили с достаточной степенью точности определить на различных грунтах длину шага опоры (рис. 26), а также высоту ее подъема относительно грунта.

Сравнение между собой траекторий движения опоры на минеральном грунте и на неосушенной торфяной залежи показывает их близкое сходство как в количественном, так и в качественном отношении.

Так, на неосушенной торфяной залежи величина шага опоры болотохода при его движении без нагрузки на крюке составила 1,84 м, а на слабдеформируемом основании – 1,89 м.

Незначительное отличие траекторий по длине шага, высоте подъема опор и углу наклона к поверхности грунта объясняется деформацией последнего в вертикальном и горизонтальном направлениях в процессе передвижения по нему болотохода.

Высота подъема опоры в ее носовой части, характеризующая высоту преодолеваемого

машиной препятствия, на обеих траекториях практически совпала и составила 0,41–0,42 м.

Траектории движения опоры натурального образца болотохода БШ-1 по своему характеру также близко сходятся с ранее полученными траекториями на геометрически подобной модели. Для обоснования рациональной траектории движения опоры шагающей машины по критериям экологичности, энергоемкости и проходимости графически и с использованием геометрически подобной модели построен ряд траекторий движения опор различных шагающих движителей (рис. 27).

При этом высота подъема опоры H_0 у всех сравниваемых движителей принята одинаковой.

В экологическом аспекте представляют интерес траектории движения опор на участках их подъема и опускания на грунт. С целью объективного сравнения различных шагающих движителей по критерию экологичности, для них по траекториям движения построены зависимости объема грунта V , деформируемого в горизонтальном направлении на каждом шаге передней частью одной опоры, от ее осадки h (рис. 28).

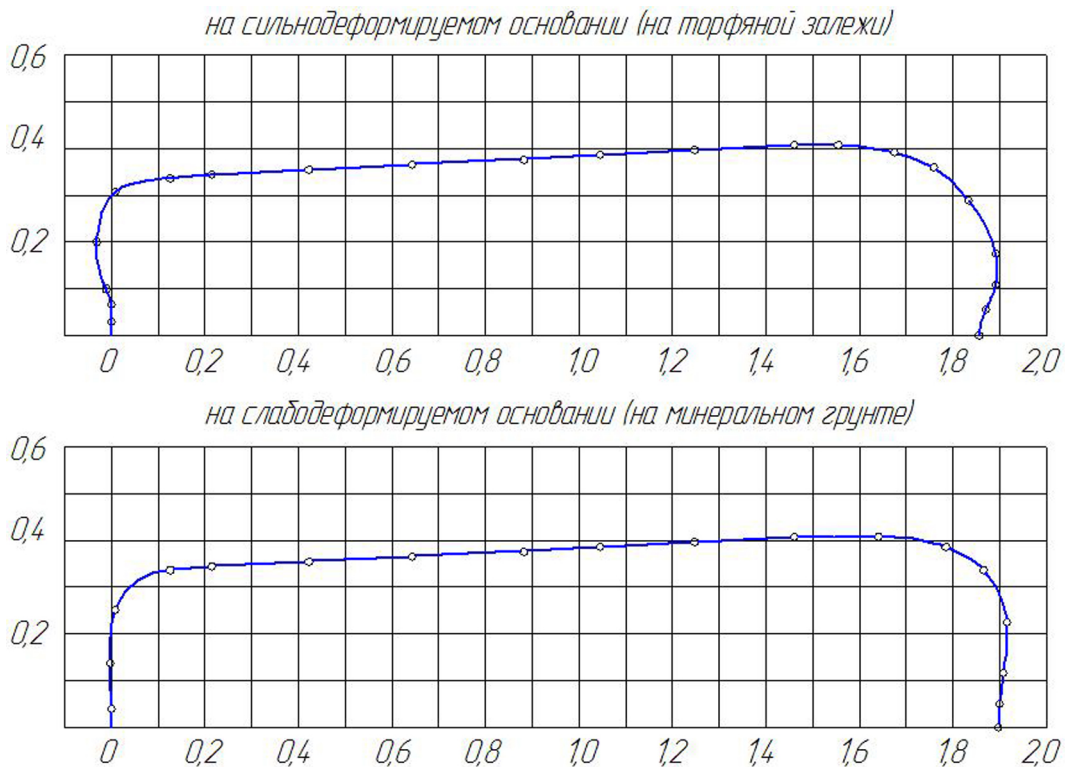


Рис. 26. Характерные траектории движения носовой части шагающей опоры натурального образца шагающего болотохода БШ-1

Fig. 26. Characteristic trajectories of the bow of the walking support of the full-scale sample of the walking swamp walker BSH-1

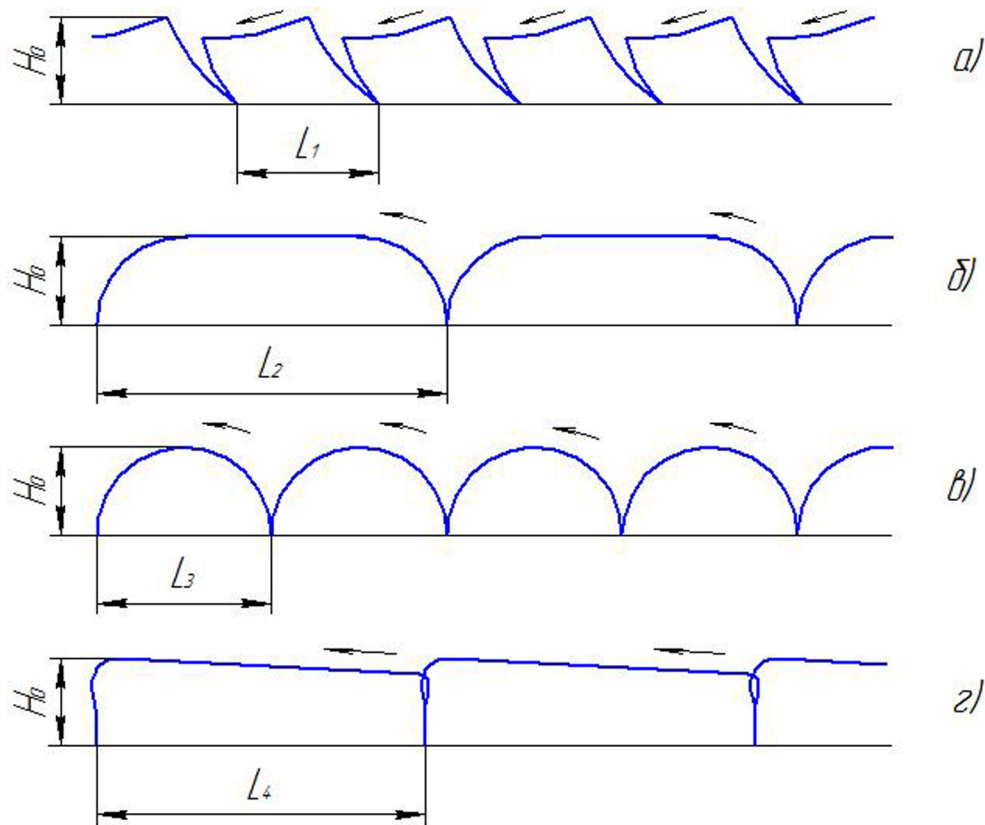


Рис. 27. Траектории движения опор шагающих машин: а – экскаваторов ЭШ-10/75, ЭШ-14/75, ЭШ-20/75 [16]; б – экскаваторов ЭШ-1, ЭШ-4/40 [13–15]; в – конструкции Кисилева И.Е. [17], Иванова А.М. [18] и по патенту США3366192; г – болотохода БШ-1 [22, 23] (показана траектория носовой части опоры)

Fig. 27. Trajectories of movement of supports of walking machines: а – excavators ESH-10/75, ESH-14/75, ESH-20/75 [16]; б – excavators ESH-1, ESH-4/40 [13–15]; в – designs Kisileva I.E. [17], Ivanov A.M. [18] and by US patent 3366192; г – swamp rover BSH-1 [22, 23] (the trajectory of the nose of the support is shown)

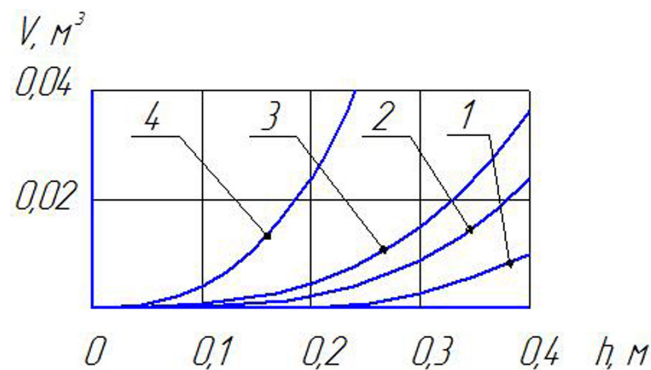


Рис. 28. Зависимости объема грунта V , деформируемого в горизонтальном направлении одной опорой от ее осадки h : 1 – для шагающего болотохода БШ-1 [22, 23] (теоретическая зависимость); 2 – для шагающего болотохода БШ-1 зависимость, полученная на торфяной залежи; 3 – для шагающих экскаваторов ЭШ-1, ЭШ-4/40 [13–15], шагающих машин конструкции Кисилева И.Е. [17], Иванова А.М. [18] и по патенту США №3366192 (теоретическая зависимость); 4 – для самоходного транспортного средства [6] (теоретическая зависимость)

Fig. 28. Dependences of the volume of soil V deformed horizontally by one support on its precipitation h : 1 – for a walking swamp walker BS-1 [22, 23] (theoretical dependence); 2 – for a walking swamp walker BS-1, the dependence obtained on a peat deposit; 3 – for walking excavators ESH-1, ESH-4/40 [13–15], walking machines designed by Kisileva I.E. [17], Ivanov A.M. [18] and under US Patent No. 3366192 (theoretical dependence); 4 – for a self-propelled vehicle [6] (theoretical dependence)

При этом ширина опоры для всех движителей условно принята равной 1 м, а высота ее подъема $H_0 = 0,4$ м.

Также сделано допущение об отсутствии буксования опор.

С точки зрения экологии представляют интерес участки траектории движения опор шагающих машин в момент их подъема и отрыва от грунта, а также в момент опускания на грунт.

Анализ траекторий показывает, что шагающая опора болотохода БШ-1 приподнимается на высоту до 0,3 м без какого-либо перемещения вперед в горизонтальном направлении.

Следовательно, при осадке опоры 0,3 м ее подъем происходит практически без горизонтальной деформации грунта, чем обеспечивается возможность сохранения верхнего растительного покрова.

Траектория движения опоры при опускании на грунт на расстоянии 0,2 м от опорной поверхности близка к вертикальной линии, что свидетельствует о незначительной горизонтальной деформации грунта.

На каждом шаге опор при их опускании на грунт растительный покров приминается лишь в вертикальном направлении.

При этом не происходит нарушения корневой системы растительного покрова болотной почвы.

В экологическом аспекте анализ зависимостей (рис. 28) показывает значительное преимущество машины, механизм шагания которой включает в себя переднюю овальную и заднюю прямолинейную направляющие, по сравнению с другими известными шагающими движителями.

Опора болотохода БШ-1 при одинаковой осадке деформирует в горизонтальном направлении (сдвигает) наименьший объем грунта.

Поэтому можно считать, что движитель болотохода БШ-1 оказывает минимальный вред растительному покрову.

Оценку экологичности болотоходу БШ-1 можно дать не только по траекториям движения его опор, но и по результатам наблюдений за процессом их взаимодействия с грунтом.

Шагающий движитель болотохода БШ-1 практически не оказывает пагубного влияния на процессы биологического развития растений в растительном покрове. Об этом свидетельствуют многолетние наблюдения за растительным покровом на участках испытаний.

В процессе испытаний натурального образца шагающего болотохода БШ-1 на неосушенной торфяной залежи проводились наблюдения за отпечатками или следами, оставленными шагающими опорами на поверхности болотной почвы методом фотосъемки при однократном, пятикратном и десятикратном проезде по одному и тому же месту как по прямой, так и на повороте. Наблюдения позволили подтвердить предположение о том, что шагающие опоры практически не повреждают растительный слой неосушенной торфяной залежи.

По критерию минимального разрушения верхнего растительного слоя грунта шагающая машина, механизм шагания которой включает в себя овальную переднюю и прямолинейную заднюю направляющие, показал себя экологически безвредным и его можно рекомендовать для использования в условиях, где необходимо максимальное сохранение растительного покрова.

Благодаря особой кинематике опор, шагающая машина БШ-1 и другие подобные ей машины, имеющие идентичный механизм шагания, обеспечивают многократный проезд по болоту по одному и тому же месту.

Это дает возможность разделения и повторения технологических операций при работе на болоте, например, на работах по подготовке поверхности неосушенной торфяной залежи к эксплуатации или при рекультивации замазученных болотных почв.

Для сравнения проходимости болотоходных машин применяются такие их показатели, как среднее давление на грунт p_0 и плавучесть.

Сравним величины средних давлений на грунт p_0 различных шагающих болотоходов и высокопроходимых плавающих колесных машин на арочных шинах в зависимости от их осадки h (рис. 29).

При построении графика зависимостей p_0 от h для шагающих машин их веса, геометрические размеры опор и высоты их подъема приняты одинаковыми, как у натурального образца шагающего болотохода БШ-1.

Из приведенных зависимостей следует, что величина p_0 у движителя болотохода БШ-1 при осадке около 0,2 м примерно в 1,5 раза меньше, а при осадке 0,4 м – почти в 1,9 раза меньше по сравнению с другими шагающими машинами. Поэтому болотоход БШ-1 имеет большую проходимость по сравнению с другими конструкциями шагающих машин.

Колесные торфяные машины МТП-37 и КПО-0 на арочных шинах модели И-185 имеют значительно большее среднее давление на грунт, а следовательно и более низкую проходимость даже по сравнению с известными шагающими движителями с плоско-параллельным переносом опор.

Для сравнения плавучести болотоходных машин построены графики зависимости выталкивающей силы P_v , действующей на их опоры и колеса, от осадки h (рис. 30).

Из графиков зависимости P_v от h следует, что при одинаковых геометрических парамет-

рах шагающих опор при осадках 0,3 м и 0,4 м движитель болотохода БШ-1 по сравнению с другими шагающими движителями имеет соответственно в 1,45 и 1,6 раза большую выталкивающую силу и водоизмещение. Это объясняется тем, что у болотохода БШ-1 уже при осадке около 0,2 м вступают во взаимодействие с водой все три опоры.

Что касается выталкивающих сил, которые действуют на движители колесных машин МТП-37 с арочными шинами и с комбинированными колесами, то они значительно ниже, чем у шагающих машин, что характеризует их

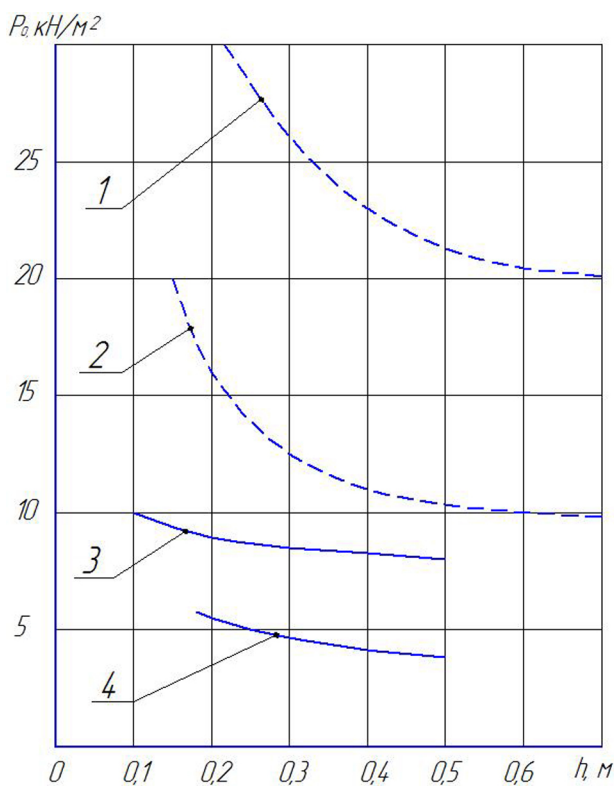


Рис. 29. Зависимость среднего давления на грунт p_0 от осадки h для болотоходных машин: 1 – колесной машины КПО-0 [14] (при нагрузке на колесо 24,525 кН); 2 – колесной машины МТП-37 [11] (при нагрузке на колесо 11,772 кН); 3 – шагающих машин с параллельным переносом опор относительно поверхности грунта [13–15, 17, 18]; 4 – шагающего болотохода БШ-1 [22, 23]

Fig. 29. Dependence of average ground pressure p_0 on precipitation h for swamp-walking machines: 1 – wheeled KPO-0 machine [14] (with a wheel load of 24.525 kN); 2 – wheeled machine MTP-37 [11] (with a wheel load of 11.772 kN); 3 – walking machines with parallel transfer of supports relative to the ground surface [13–15, 17, 18]; 4 – walking swamp walker BSH-1 [22, 23]

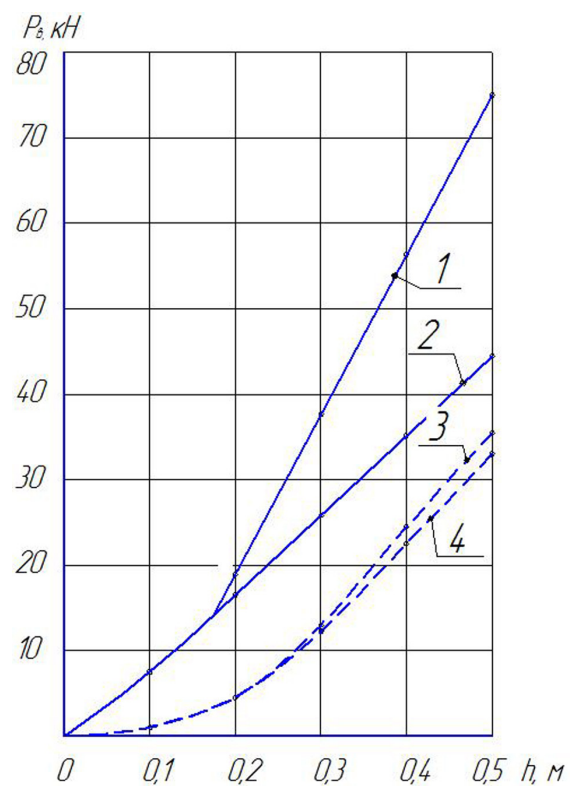


Рис. 30. Зависимость выталкивающей силы P_v от осадки h для болотоходных машин: 1 – шагающего болотохода БШ-1 [22, 23]; 2 – шагающих машин с параллельным переносом опор относительно поверхности грунта [13–15, 17, 18]; 3 – колесной машины МТП-37 с комбинированными колесами; 4 – колесной машины МТП-37 на арочных шинах

Fig. 30. Dependence of the buoyant force P_v on the precipitation h for swamp-walking machines: 1 – walking swamp walker BS-1 [22, 23]; 2 – walking machines with parallel transfer of supports relative to the ground surface [13–15, 17, 18]; 3 – wheeled vehicle MTP-37 with combined wheels; MTP-37 4-wheeler with arched tires

меньшую плавучесть, и как следствие, более низкую проходимость.

Проведем сравнительный анализ шагающих машин с различными механизмами шагания по критерию энергоемкости. В процессе шагания энергия двигателя расходуется на передвижение опоры и рамы.

При передвижении опоры энергия затрачивается на ее подъем и перемещение, а также на деформацию грунта.

По сравнению с шагающими машинами с параллельным переносом опор у движителя шагающего болотохода БШ-1 на подъем опоры без учета деформации грунта расходуется почти в 2 раза меньше энергии.

Это объясняется тем, что опора у него поднимается приводом только за переднюю часть, а ее задняя часть свободно поворачивается относительно заднего катка.

Затраты энергии на деформацию грунта носовой частью опоры в момент ее подъема и опускания у движителя шагающего болотохода БШ-1 по сравнению с другими шагающими движителями меньше на величину, пропорциональную деформируемому объему.

Рассмотрим зависимость между длиной шага опоры L и высотой ее подъема H . Для движителя шагающего экскаватора с гидроприводом механизма шагания [11, 12, 16] параметры L и H определяются длиной хода силовых цилиндров. Для других шагающих машин [13–18] имеют место строгие зависимости между рассматриваемыми параметрами ($H = 0,25L$; $H = 0,5L$).

Преимущество движителя болотохода БШ-1 [22, 23] заключается в отсутствии какой-либо зависимости между длиной шага опоры L и высотой ее подъема H .

Это преимущество дает возможность при разработке болотоходных шагающих машин в широких пределах варьировать указанными параметрами, величины которых оказывают влияние на проходимость.

Сопоставительный анализ шагающей техники позволяют сделать вывод о том, что по критериям плавности хода, экологичности, проходимости и энергоемкости наиболее рациональным среди прочих применительно к болотоходной технике является механизм шагания, которой включает в себя переднюю овальную и заднюю прямолинейные направляющие, обеспечивающие перемещение опор от фазы подъема до фазы опускания наклонно к поверхности грунта, а в фазе опускания

на грунт – путем поворота относительно оси задних катков.

Такое перемещение опор по траектории похоже на движение ступни человека.

Приведенная выше рациональная конструкция шагающего механизма первоначально была применена в конструкциях физической модели и натурального экспериментального образца шагающего болотохода БШ-1 [24–26, 28], а в дальнейшем использована во всех последующих образцах болотоходной техники, включая серийные образцы БШМ-1 и перспективные машины [29–31].

Библиографический список

1. *Артоболевский И.И.* Механизмы в современной технике : Пособие для инженеров, конструкторов и изобретателей: [В 5 т.]. – М.: Наука, 1970. Т. 1: Рычажные механизмы. 1970. – 608 с.
2. *Артоболевский И.И.* Роль и значение П.Л. Чебышева в истории развития теории механизмов // Известия Академии Наук СССР. Отделение технических наук. – 1945. – № 4/5. – С. 396–412.
3. U.S. Provisional Application Ser. No. 60/074,425, was filed on Feb. 11, 1998.
4. <http://dreamworlds.ru/intersnosti/38732-theo-yansen-animar.html>.
5. *Борисов И.И., Колюбин С.А.* Имитационное моделирование мехатронных систем. Учебно-методическое пособие. Университет ИТМО. – СПб., 2020. – 103 с.
6. А.с. 564205 СССР, МПК В 62 D 57 / 02. Самоходное транспортное средство / Коровицын Л.Ф. (СССР). № 2149081; заявл. 23.06.75; опубл. 05.07.77, Бюл. № 25.
7. А.с. 201960 СССР, МПК Е 02 F 9/04. Механизм шагания / Харлов В.П. (СССР). № 831983/29-14; заявл. 19.04.63; опубл. 17.10.69, Бюл. № 32.
8. *Архитектор Э.* Болотоход теперь поворотливый / Э. Архитектор // Изобретатель и рационализатор. – 1977. – № 11. – С. 22–23.
9. *Егоров Ю.* Болотоход В.П. Харлова / Ю. Егоров // Изобретатель и рационализатор. – 1977. – № 1. – С. 20–21.
10. *Осипов В.Н.* Возможности строительства трубопроводов на болотах в летнее время / В.Н. Осипов // Строительство трубопроводов. – 1975. – № 6. – С. 9–10.
11. Шагающие экскаваторы Уралмашзавода / Х.А. Винокурский, Т.Е. Исаев, В.В. Рудоиска-

- тель и др. – Свердловск: Машгиз. [Урало-Сиб. отд-ние], 1958. – 331 с.
12. *Воронцов-Вельяминов Н.П.* Мощные шагающие экскаваторы / Н.П. Воронцов-Вельяминов, М.И. Крайцберг. – М.: Углетехиздат, 1954. – 372 с.
 13. Шагающий экскаватор ЭШ-1 / А.Г. Ефанов, Н.А. Лаповенко, А.Ф. Рац, И.И. Сталовеков. – М.: Углетехиздат, 1950. – 160 с.
 14. Шагающий экскаватор ЭШ-4/40 / Ю.И. Попов, П.И. Слизкий, И.М. Елинсон и др. – Киев: Машгиз, 1955. – 156 с.
 15. *Рейш А.К.* Шагающий экскаватор ЭШ-1 / А.К. Рейш, В.А. Касьянов. – Харьков: Углетехиздат, 1951. – 21 с.
 16. Шагающий экскаватор ЭШ-14/75 / Б.И. Сатовский, Х.А. Винокурский, В.Р. Кубачек и др. – Свердловск: Машгиз. [Урало-Сиб. отд-ние], 1953. – 212 с.
 17. А.с. 415187 СССР, МПК В 62 D 57/02, В 62 D 57/032. Шагающий движитель / Киселев И.Е., Конопляник Д.И., Матвеев П.Н., Мирошниченко А.В., Мишкинюк В.К. (СССР). № 1728035/27-11; заявл.22.12.71; опубл. 15.02.74, Бюл. № 6. С. 184.
 18. *Четкарев В.* Две ноги и ходит! / В. Четкарев // Изобретатель и рационализатор. – 1981. – № 6. – С. 20–21.
 19. А.с. 474456 СССР, МПК Е 02 F 9/04. Шагающее шасси / Кокуев Н.Н. (СССР). № 1611558; заявл. 12.01.71; опубл. 25.06.75, Бюл. № 23. С. 35.
 20. А.с. 1173654 СССР, МПК В 62 D 57/02. Ходовая часть шагающего транспортного средства / Коровицын Л.Ф., Петров А.А., Васильев Н.П., Ткачев В.Г. (СССР). № 3663827/11; заявл. 14.11.83; опубл. 28.07.20, Бюл. № 22.
 21. А.с. 1243292 СССР, МПК В62Д 57/02. Движитель шагохода / Коровицын Л.Ф., Петров А.А., Третьяков И.В., Коровочкин А.Ю. (СССР). № 3823673/11; заявл. 14.12.84; опубл. 28.07.20, Бюл. 22.
 22. А.с. 965870 СССР, МПК В65D 57/02. Вездеходное шасси / Коровицын Л.Ф., Петров А.А., Васильев Н.П., Ткачев В.Г. (СССР). № 3305986/11; заявл. 06.04.81; опубл. 28.07.20, Бюл. № 22.
 23. А.с. 1044542 СССР, МПК В62D 57/02. Внедорожное транспортное средство / Коровицын Л.Ф., Петров А.А., Васильев Н.П., Ткачев В.Г. (СССР). № 2940115; заявл. 13.06.80; опубл. 30.09.83, Бюл. № 36.
 24. *Коровицын Л.Ф.* Высокопроходимый движитель для торфяных машин / Л.Ф. Коровицын, А.А. Петров // Технология и комплексная механизация торфяного производства. – Калинин: Калинин. госуд. ун-т, 1982. – С. 25–28.
 25. Исследовать и создать высокопроходимое средство для передвижения и работы на неосушенных торфяных месторождениях: отчет о НИР (промежуточ.) / Калининский политехн. ин-т; рук. Л.Ф. Коровицын; ответств. исполн. А.А. Петров. – Калинин, 1980. – 110 с. № ГР 80046421. Инв. № Б 908880.
 26. *Коровицын Л.Ф.* Шагающий болотоход / Л.Ф. Коровицын, А.А. Петров, И.В. Третьяков // Торфяная промышленность. – 1983. – № 4. – С. 26–27.
 27. Провести полевые исследования экспериментального образца шагающего болотохода : отчет о НИР (заключит.) / Калинин. политехн. ин-т; рук. Л.Ф. Коровицын; ответств. исполн. А.А. Петров. – Калинин, 1982. – 51 с. № ГР 80046421. Инв. № 02830023705.
 28. Машины и оборудование торфяных производств: учебное пособие для вузов / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, П.А. Яконовский, Т.Б. Яконовская. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2015. – С. 26–28.
 29. Патент 123389 Российская Федерация, МПК В62D 57/02. Шагающий манипулятор для рекультивации болот / Сафронов М.Н., Фонарюков В.А., Петров А.А., Швеиц Н.Ф.; заявитель и патентообладатель ЗАО «Тверской экспериментально-механический завод». № 2012116759/11; заявл. 24.04.12; опубл. 27.12.12, Бюл. № 36.
 30. Патент на изобретение 2779001 Российская Федерация, МПК В62D 57/02. Шагающий болотный тягач / Петров А.А., Зюзин Б.Ф., Замула А.И. и др.; заявитель Тверской государственный технический университет; опубл. 30.08.22 г. Бюл. № 25.
 31. Заявка на изобретение 2022107891 Российская Федерация, МПК В62D 57/02. Шагающий болотоход / Петров А.А., Зюзин Б.Ф., Замула А.И. и др.; заявитель Тверской государственный университет; приоритет 24.03.2022.

УДК 622.331.(09)

Копенкина Л.В.

Копенкина Любовь Владимировна, к. т. н., доцент кафедры технологических машин и оборудования Тверского государственного технического университета, Тверь, Академическая, 12, lvkopenkina@mail.ru

ПРОФЕССОР В.Д. КОПЕНКИН (к 90-летию со дня рождения)

Аннотация. В статье отмечается вклад профессора Копенкина В.Д. в развитие торфяного образования, подготовку научных кадров и науки в области физико-механических свойств торфа, технологии торфяного производства, математических методов в торфяном производстве.

Ключевые слова: история торфяного дела, торфяное образование, научные кадры, дисперсность, фракция, торфяные частицы, Копенкин В.Д.

Kopenkina L.V.

Kopenkina Lubov V., Dr., Associate Professor of the Chair of Technological Machinery and Equipment of the Tver State Technical University, Tver, Akademicheskaya, 12

PROFESSOR V.D. KOPENKIN (on the 90th anniversary of his birth)

Abstract. The article notes the contribution of Professor Kopenkin V.D. to the development of peat education and science in the field of physical and mechanical properties of peat, peat production technology, mathematical methods in peat production.

Keywords: history of peat industry, peat education, scientific personnel, dispersion, fraction, peat particles, Kopenkin V.D.

Владимир Дмитриевич Копенкин (рис. 1) – профессор, ученый в области физико-механических свойств торфа, технологии торфяного производства, математических методов в торфяном производстве.

Родился в поселке Сонково Тверской области 1 ноября 1932 года.

Учился в Московском торфяном институте на механико-технологическом факультете по специальности «Разработка торфяных месторождений», был старостой группы. На первом курсе лекции по торфяным месторождениям читал профессор Сергей Николаевич Тюрменов.

Деканом механико-технологического факультета был профессор Михаил Абрамович Веллер.

Окончил МТИ с отличием в 1955 году, получив квалификацию инженер-механик (рис. 2).



Рис. 1. В.Д. Копенкин

Fig. 1. V.D. Kopenkin



Рис. 2. Выпуск инженеров-гидромеханизаторов МТИ (1950–1955)

Fig. 2. Graduation of MPI hydraulic engineers (1950–1955)

Работал в отделе научно-исследовательских работ Московского торфяного института на должности инженера-конструктора и старшего инженера, ассистентом, старшим преподавателем на кафедре «Основы технологии промышленного и сельскохозяйственного торфодобыывания».

Участвовал в работе по темам:

- «Разработка и проверка мероприятий, обеспечивающих возможность выстилки стилочными машинами торфомассы пониженной влажности» (1958, соавтор – Н.Д. Беззубов);
- «Технологическая оценка торфов Васюганского и Баксинского торфомассивов Новосибирской области как сырья для проектируемого энергогазохимического комбината» (1960, соавторы – В.Я. Антонов, И.Д. Беловидов, С.А. Сидякин);
- «Комплексная технологическая оценка торфов как сырья для энерготехнологического использования» (1962, соавтор – В.Я. Антонов).

Окончил аспирантуру Московского торфяного института в 1961 году. Его научными руководителями были выдающиеся ученые в области торфяного дела член-корреспондент АН БССР, доктор технических наук, профессор Виктор Георгиевич Горячкин (1894–1962), доктор технических наук, профессор Николай Владимирович Чураев (1920–2000).

Защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование закономерностей в дисперсионном составе торфа и связи его физико-механических свойств с показателями дисперсности» в 1964 году, получив ученую степень кандидата технических наук. Официальным оппонентом по диссертации выступил профессор Михаил Петрович Воларович (1900–1987).

Дисперсность торфа является одним из важных разделов физики торфа, представляющих большой интерес для технологии торфяного производства и торфяной механики. Хотя было выполнено несколько работ, посвященных связи степени дисперсности торфа с качеством готовой продукции, данных в этой области торфа было недостаточно.

Цель диссертации Копенкина В.Д. состояла в накоплении нового экспериментального материала, систематизации и обобщении данных по дисперсности естественных и переработанных торфов, а также в попытке использования показателей дисперсности для прогнозов физико-механических свойств мелкокускового

торфа. В итоге его работа представляла новый определенный этап в этом направлении [1–3].

В дисперсионный анализ им был внесен ряд усовершенствований. Была разработана более совершенная конструкция весового седиментометра по Н.В. Чураеву, в которой применена конструкция чашечки с укороченным стержнем (подвешена на нити), позволяющая избавиться от поправок на испарение дисперсионной среды в ходе опыта.

Копенкиным В.Д. впервые выделены и изучены отдельные фракции торфов в диапазоне размеров от 1 до 250 микрон (рис. 3).

Также им была предложена весьма простая модель плотной частицы торфа, представляющая собой шаровую оболочку с постоянной толщиной стенки, полость которой заполнена водой. Рассчитанная для такой модели истинная плотность торфяных частиц хорошо согласовывалась с экспериментальными данными Н.В. Чураева и В.Д. Тропина.

Интересны данные, характеризующие микроструктуру частиц торфа и их свойства. Во фракциях от 5 до 250 микрон отмечалась



Рис. 3. В.Д. Копенкин производит микрофотографирование фракций торфа в лаборатории (1963)

Fig. 3. V.D. Kopenkin makes microphotography of peat fractions in the laboratory (1963)

преимущественно вытянутая форма частиц с коэффициентом удлинения почти постоянным (1,59–1,74). Коэффициент вариации размеров частиц торфа в каждой фракции почти постоянен (28–34).

Изучена коагуляция частиц при действии на суспензию торфа с той или иной фракцией растворов соляной кислоты. Примененная методика позволила выявить слабые взаимодействия у частиц размером до 50 микрон. С другой стороны, коагуляция весьма отчетливо выражена у частиц размером до 20 микрон.

Изучено также пептизирующее действие едкого натра. Так как в поле зрения микроскопа при таком действии не наблюдалось более мелких частиц, сделано заключение о том, что частицы отдельных фракций являются естественно-элементарными.

Наибольший интерес представляют данные о связи между отдельными фракциями в торфах. Анализ кривых охвата торфа процессом диспергирования при помощи представлений о накоплении частиц в соседних областях позволил получить простые дифференциальные уравнения, решения которых приводит к выражениям связи между суммарными фракциями. Экспериментальная проверка, выполненная на основе корреляционного анализа, показала, что получены достаточно надежные данные.

В результате было предложено свести дисперсионный анализ к одному лишь ситовому анализу и механизировать этот процесс. В этом состояло практическое значение полученных выражений для связи между фракциями в торфах.

Плодотворным оказалось применение этого метода при рассмотрении связи между суммарными фракциями в минеральных почвах. Интересно предложение о применении установленных статистических зависимостей к вопросам генезиса природных дисперсных систем.

Данные по усадке, объемному весу, газосодержанию, прочности и водопоглощаемости образцов мелкокускового торфа и результаты исследования корреляционной связи между физико-механическими свойствами торфяных кусков и параметрами дисперсности существенно дополняли представления о данной связи С.Г. Солопова, Н.В. Чураева, Г.И. Кужмана и др.

Учитывая связь между важнейшими свойствами готового торфа и характеристиками его дисперсности, В.Д. Копенкин предложил клас-

сификацию переработанного торфа по степени его дисперсности, которая вследствие конкретизаций категорий дисперсности представляло шаг вперед в попытках систематизировать переработанный торф по параметрам дисперсности.

Установленные им зависимости в дисперсности торфов используются в кандидатских и докторских диссертациях по торфяному профилю.

С 1966 года доцент кафедры сельскохозяйственного использования торфяных месторождений, с 1968 года доцент кафедры технологии и комплексной механизации разработки торфяных месторождений.

В 1966 году написал седьмую главу «Методы исследований при сельскохозяйственном использовании торфа» и выполнил около 20 рисунков в неоконченную рукопись «Технический анализ торфа» из-за смерти ее автора, профессора Семенского Евгения Петровича. Книга вышла в издательстве «Недра».

В 1965–1968 гг. Копенкин В.Д. работал заместителем декана горного факультета КПИ.

В 1968 году по линии общества «Знание» Копенкин В.Д. участвовал в туристической поездке в Канаду. В составе группы были доценты и профессора вузов Москвы, Ленинграда, Калинин, Риги, Гомеля, Львова, Ташкента, украинский поэт Павел Матвеевич Усенко (1902–1975), с которым он потом переписывался. Во время поездки группа посетила два университета – университет Лавала в Квебеке и университет Мак Гилла в Монреале, две фермы, парламент, Ниагарский водопад (рис. 4).



Рис. 4. В.Д. Копенкин на фоне Ниагарского водопада (1968)

Fig. 4. V.D. Kopenkin on the background of Niagara Falls (1968)

В 1966–1973 гг. был заместителем руководителя проблемной научно-исследовательской лаборатории по исследованию свойств, переработке и комплексному использованию торфа в народном хозяйстве, руководил темой, стажировкой финского специалиста Раймо Сопо, будущего генерального секретаря Международного общества по торфу.

В 1960-х годах участвовал в научных исследованиях, связанных с исследованием физико-механических и физико-химических свойств торфяного сырья Северо-Западной, Центральной и Уральской торфяно-болотных зон, отобранного на месторождениях институтом «Гипроторфразведка» (1965, научные руководители – М.П. Воларович, Н.В. Чураев [4]); разработкой единой классификацией торфа (1969, научный руководитель И.И. Лиштван); разработкой способов и оборудования для обогащения верховой торфяной залежи низкой степени разложения с одновременным ее дренированием на глубину 2,5 м (1969–1971, научный руководитель С.Г. Солопов [6]).

В 1969–1979 гг. был научным руководителем тем:

- «Разработка ускоренных методов анализа дисперсности и влажности торфа и исследования по проблеме совершенствования технологии производства торфяного топлива» (1971, совместно с профессором В.С. Варенцовым);
- Дисперсность гидролизного лигнина (1970–1971, совместно с Ахминой Е.И., лаборатория пиролиза лигнина ВНИИгидролиз);
- «Исследование напряжений в высыхающем торфе, структурно-механических и водных свойств отдельных фракций, выделенных седиментацией» (1971–1973);
- «Разработка направлений оптимизации технологии производства фрезерного топливного торфа с целью повышения качественных показателей, цикловых и сезонных сборов и надежности технологических показателей» (1972, совместно с профессором В.С. Варенцовым);
- «Создание машины для обогащения торфяных залежей» (1972–1976, совместно с профессором С.Г. Солоповым, рис. 5);
- «Разработка единой терминологии торфяной промышленности» (1972, совместно с Власовым В.П., Сергеевым Ф.Г., Малковым Л.М., Алешиным А.П.);
- «Исследование напряжений в высыхающем торфе, структурно-механических и водных

свойств отдельных фракций, выделенных седиментацией» (1973);

- «Разработка оптимальных вариантов организации технологического процесса производства топливного фрезерного торфа с применением уборочных машин УМПФ» (1973–1975, совместно с профессором В.Я. Антоновым);
- «Разработка направлений оптимизации технологии производства фрезерного топливного торфа с целью повышения качественных показателей, цикловых и сезонных сборов и надежности технологического процесса» (1974–1980), совместно с Малковым Л.М.);
- «Программа и методика полевых исследований влияния параметров расстила и уборочной влажности на эффективность операций сушки в производственных условиях торфопредприятия «Емельяновское» (1979);
- «Разработка методов оптимизации технологического процесса сушки торфа при его добыче на топливо, удобрение, подстилку и другие направления использования. Разработка программы экономико-математического анализа схем оптимизации уборочной влажности» (1979–1980, совместно с Д.А. Зиновьевым).

По результатам работ, выполненных в проблемной лаборатории в 1969–1971 гг. в 1974 году был издан сборник «Ускоренные



Рис. 5. Копенкин В.Д. на испытаниях машины по обогащению торфяной залежи. Торфопредприятие Гусевское ПО Владимирторф, 1976

Fig. 5. Kopenkin V.D. on the tests of a peat deposit enrichment machine. Peat enterprise Gusevskoye PA Vladimirtorf, 1976

методы анализа торфа и исследования по проблеме комплексного использования торфа в народном хозяйстве», посвященный памяти руководителя проблемной лаборатории профессора В.С. Варенцова. В нем пять статей о методах определения влажности, дисперсности, напряжений, влагоемкости, реологических свойств выполнено с участием В.Д. Копенкина.

Один из авторов изобретения «Способ подготовки разрыхленной площади для добычи фрезерного торфа на верховых залежах» (№ 1016518, 7.05.83, заявлено 26.05.80, соавторы), включающий разбивку площади на карты, проведение картовых каналов, изолирование верхнего слоя торфяной залежи низкой степени разложения в заранее пройденной траншее и планировку вынутаго из траншей торфа высокой степени разложения на поверхностях карт, отличающийся тем, что, с целью сокращения времени ввода производственных площадей в эксплуатацию и повышения качества готовой продукции после естественного промораживания торфа производят оттаивание разрыхленного слоя на глубину не менее 0,15–0,20 м от поверхности залегания, затем равномерно уплотняют этот слой в поперечном сечении карты с перекрытием разрыхленной площади на проходе.

Много работал в системе аттестации научных кадров по торфяным специальностям. С 1976 года более 25 лет работал ученым секретарем диссертационного совета по торфяным специальностям (рис. 6, 7), оказывал консультационную помощь соискателям кандидатских и докторских степеней по торфяным и другим специальностям (всего 175 диссертаций).

Инициатор вовлечения диссертационных работ в области торфяного дела в процесс подготовки научных кадров для торфяной отрасли. Подготовленные им специальные выпуски «Квалификационные научные работы в области торфяного дела» охватывают более 700 кандидатских и докторских диссертаций по торфу и используются в работе с магистрантами, аспирантами и докторантами по торфяным специальностям.

Работал в комиссии «Разработка торфяных месторождений» секции горной промышленности НТС Минвуза СССР.

На кафедре читал лекции по дисциплинам «Физика торфа», «Технология, механизация и автоматизация процессов производства фрезерного торфа», «Разработка торфяных

месторождений», «Технология торфяного производства», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Математические методы в торфяном производстве», «Планирование и проведение НИР», «Современные проблемы горной науки», «История и методология горной науки» и другим, вел практические и лабораторные занятия, руководил курсовыми работами, подготовкой кандидатских и магистерских диссертаций.

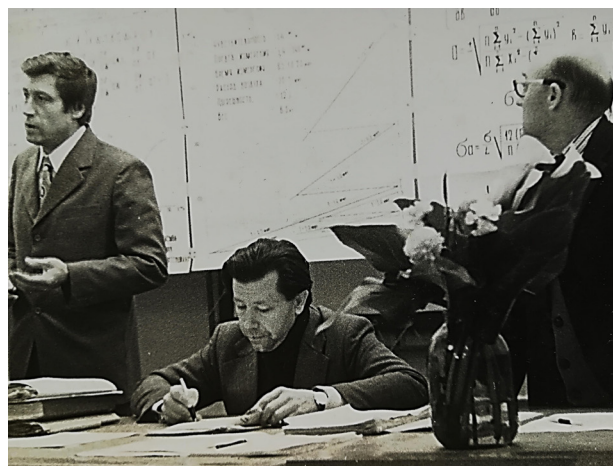


Рис. 6. Заседание диссертационного совета по торфяным специальностям, 1978.

Председатель – профессор И.Ф. Ларгин, ученый секретарь – В.Д. Копенкин

Fig. 6. Meeting of the Dissertation Council on peat specialties, 1978. The chairman is Professor I.F. Largin, the scientific secretary is V.D. Kopenkin



Рис. 7. Заседание диссертационного совета по торфяным специальностям, 1992.

Председатель – профессор В.А. Миронов, ученый секретарь – В.Д. Копенкин

Fig. 7. Meeting of the Dissertation Council on peat specialties, 1992. The chairman is Professor V.A. Mironov, the scientific secretary is V.D. Kopenkin

Автор более 200 научных публикаций и учебно-методических разработок, трех учебных пособий с грифом Минвуза СССР.

Совместно с профессором В.Я. Антоновым подготовил учебное пособие «Технология и комплексная механизация торфяного производства» объемом более 20 п.л., которое вышло двумя изданиями с грифом Минвуза СССР в издательстве «Недра» в 1972 и 1983 годах.

Копенкину В.Д. принадлежит ведущая роль в написании учебных пособий «Лабораторный практикум по основам технологии процессов торфяного производства и физике торфа» (1968), «Теория вероятностей и математическая статистика в торфяном производстве» (соавтор Зюзин В.А., 1977), «Статистика связей и процессов в торфяном производстве» (соавторы Зюзин В.А., Васильев А.Н., 1977), «Практи-

кум по математическим методам в торфяном производстве» (соавтор Васильев А.Н., 1988, 2009), «Специальный исследовательский практикум по физическим процессам торфяного производства» (соавтор Афанасьев А.Е., 1990), «Основы технологии и экономики горного производства» (соавтор Борисова Г.М., 1994).

Автор серии статей для 5-томной «Горной энциклопедии» (Изд. 1984–1991 гг.), «Российской угольной энциклопедии» (2006).

В 1987 году окончил факультет прикладной математики Калининского государственного университета.

Учебное пособие «Математические методы в торфяном производстве» (соавтор – профессор Б.А. Богатов) с грифом Гособразования СССР было выпущено издательством «Недра» в 1991 году.



Рис. 8. Совещание-семинар заведующих кафедрами технологии и комплексной механизации разработки торфяных месторождений, 17–24 сентября 1979 года. г. Минск. Слева направо: Богатов Б.А. (зав. каф. БПИ), Рухля И.Е. (декан горно-механического факультета БПИ), Александров Б.М. (зав. каф. Свердловского горного института), Копенкин В.Д. (и.о. зав. каф. ТКМ РТМ КПИ), Костюк Н.П. (декан Украинского института инженеров водного хозяйства), Кислов Н.В. (зав. каф. ТМК БПИ), Наумович В.М. (зав. каф. МППТ КПИ)

Fig. 8. Meeting-seminar of heads of Departments of technology and complex mechanization of peat deposits development, September 17–24, 1979. Minsk. From left to right: Bogatov V.A. (Head of the Department of BPI), Rukhly I.E. (Dean of the Faculty of Mining and Mechanics of BPI), Alexandrov V.M. (Head of the Department of the Sverdlovsk Mining Institute), Kopenkin V.D. (acting Head of the Department TCM DPD of KPI), Kostyuk N.P. (Dean of the Ukrainian Institute of Water Engineers), Kislov N.V. (Head of the TМК BPI Department), Naumovich V.M. (Head of the Department MPTP KPI)

Один из авторов капитального труда «Технический анализ торфа» (Изд. «Недра», 1992. 431 с.). Подразделы «Ботанический состав торфа», «Определение степени разложения торфа», «Определение дисперсности торфа», «Определение фракционного состава фрезерного торфа», «Определение содержания мелочи и засоренности торфа», «Определение угла естественного откоса» выполнены В.Д. Копенкиным. Подразделы «Определение оптимального числа проб и статистическая обработка результатов анализа», «Определение влажности (влаги) торфа», «Определение зольности торфа», «Определение перерабатывающей способности механизмов торфяных машин» – совместно с профессором Е.Т. Базиным.

Выступил инициатором подготовки и издания «Биографического справочника ученых и преподавателей Тверского государственного технического университета» (вышли 2 тома – 1997 и 1998 гг., к 80-летию юбилею ТГТУ был подготовлен к выпуску 3-й том).

В 2000-е годы были изданы учебные пособия «История науки и техники. Торфяное дело» (Изд. ТГТУ, 2000. Соавтор – доцент Л.В. Копенкина), «Планирование и проведение НИР» (Изд. ТГТУ, 2004. Соавтор – доцент Л.В. Копенкина).

Развивал использование математических методов, наукометрии в анализе научных направлений в области торфяного дела, в учебном процессе на старших курсах и при работе с магистрантами.

Под его руководством было подготовлено более 200 дипломированных специалистов, которые участвуют в экономическом возрождении промышленности нашего региона, защищены 6 кандидатских, 16 магистерских диссертаций.

Ученое звание профессора присвоено в 1993 г.

Работал председателем методического совета факультета природопользования и инженерной экологии ТГТУ, членом президиума методического совета университета с 1988 года более 10 лет.

Входил в состав учредителей Тверского отделения Петровской академии наук и искусств и в состав президиума Тверского отделения. Член-корреспондент Петровской Академии наук и искусств с 2002 года.

Награжден медалью «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина» (1970, от имени Президиума Верховного Совета СССР); нагрудным значком «За отличные успехи в работе» (Минвуз СССР); медалью «Ветеран труда» (1988, от имени Президиума Верховного Совета СССР). Лауреат премии Минвуза СССР «За научную работу» (1986), Почетными грамотами Минвуза РСФСР и вуза.

Заслуженный профессор ТГТУ (Решением Ученого совета ТГТУ от 26.11.1997 г.). Почетный работник высшей школы (2002).

Библиографический список

1. Копенкин В.Д. Корреляция некоторых физико-механических свойств торфа с показателями его дисперсности // Известия вузов. Горный журнал. – 1963. – №7. – С. 40–45.
2. Копенкин В.Д. Некоторые закономерности в дисперсионном составе переработанного торфа // Труды КТИ. – 1963. – Вып. XIII. – С. 162–170.
3. Копенкин В.Д. Новые данные в исследовании дисперсности торфа // Коллоидный журнал АН СССР. – 1964. – Т. 26. – Вып. 4. – С. 465–469.
4. Копенкин В.Д. Электронномикроскопическое исследование высокодисперсной фракции торфа // Заводская лаборатория. – 1966. – Т. 32. – №2. – С. 211–212. (соавторы – Волярович М.П., Лиштван И.И., Терентьев А.А.).
5. Копенкин В.Д. Использование показателей дисперсности при оценке торфяного сырья // Сборник трудов АН СССР «Природа болот и методы их исследований». – 1967. – С. 259–263.
6. Копенкин В.Д. Технологические основы обогащения верховых торфяных залежей способом дренирования // Торфяная промышленность. – 1971. – №10. – С. 8–10. (соавторы – Солопов С.Г., Журавлев В.Е.).