



# Научный журнал

Восточно-Европейского института торфяного дела  
Тверского государственного технического университета



№9 (62) 2014

# ТРУДЫ ИНСТОРОФА



Министерство образования и науки РФ

**Восточно-Европейский институт торфяного дела**  
Тверского государственного технического университета

# **ТРУДЫ ИНСТОРФА**

**Научный журнал**

Издается с апреля 1922 года  
**Выходит два раза в год**

**№ 9 (62)**  
январь–июнь 2014 г.

Тверь 2014

УДК 622.331(05)  
ББК 26.343.4я5

Труды Инсторфа: научный журнал. № 9 (62)  
(январь–июнь 2014 г.). Тверь: ТвГТУ, 2013. 51 с.

*Учредитель и издатель:* Тверской государственный технический университет

*Главный редактор*  
проф., д. ф.-м. н. А.В. Твардовский

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

*Редакционный совет:*  
проф., д. т. н. А.Е. Афанасьев;  
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. Н.В. Кислов; проф., д. т. н. А.В. Кондратьев;  
проф., д. х. н. Ю.Ю. Косивцов;  
проф., д. т. н. В.И. Косов; проф., д. б. н. О.Л. Кузнецов;  
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; проф., д. т. н. В.Г. Селеннов;  
проф., д. т. н. В.Ф. Сеницин; д. б. н. А.А. Сиринов;  
проф., д. х. н. Э.М. 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.  
Федеральной службой Роскомнадзор

Редактор О.В. Чеховская  
Корректор Т.С. Самборская

Технический редактор А.Ю. Соколова

Подписано в печать 20.06.14  
Формат 60×84 1/8. Усл. печ. л. 6,4.  
ООО «Издательство «Триада»  
170034, г. Тверь, пр. Чайковского, д. 9, оф. 504  
ISSN 2224-1523

© Тверской государственный  
технический университет, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

***Инишева Л.И., Головченко А.В.,  
Сергеева М.А., Шайдак Л.***

Динамика газового режима  
в эвтрофном болоте..... 3

***Панов В.В.***

Связь степени разложения  
с относительной влажностью и  
плотностью торфяных отложений ..... 11

***Иванов Г.Н.***

Динамика загрязнения водных  
экосистем озера Селигер тяжелыми  
металлами ..... 16

***Зюзин Б.Ф., Юдин С.А.***

Обобщенный инвариант прочности  
торфяных структур..... 25

***Фомин К.В.***

Методика выбора оптимальных  
параметров и режимов работы  
торфяных фрезерующих агрегатов ..... 30

***Яблонев А.Л., Михайлов С.П.***

Сведение кустарников и мелколесья  
при освоении торфяных  
месторождений с применением  
рубильно-измельчительного  
оборудования ..... 37

***Торопчин М.А.***

Особенности расчета расстояний  
между принимающими элементами  
сети очистных сооружений на болотах..... 41

***Копенкина Л.В.***

Организатор торфяной  
промышленности И.И. Радченко  
(1874–1942) (к 140-летию со дня  
рождения) ..... 46

УДК 551.510+556

### **Инишева Л.И.**

Инишева Лидия Ивановна, чл.-корр. РАН, проф., зав. лабораторией агроэкологии. Томский государственный педагогический университет, Томск, ул. Киевская, 60. inisheva@mail.ru

### **Головченко А.В.**

Головченко Алла Владимировна, к. б. н., доцент, старший научный сотрудник МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, ул. Ленинские Горы, 1. golovchenko.alla@gmail

### **Сергеева М.А.**

Сергеева Маргарита Александровна, к. б. н., доцент, Томский государственный педагогический университет, Томск, ул. Киевская, 60. labtor@yandex.ru

### **Шайдак Л.**

Шайдак Лех, проф. НИИ экологии сельского и лесного хозяйства Польской АН, Познань, Польша. szajlech@man.poznan.pl

## **ДИНАМИКА ГАЗОВОГО РЕЖИМА В ЭВТРОФНОМ БОЛОТЕ**

*Аннотация.* В настоящее время большое внимание исследователи уделяют изучению цикла углерода в экосистемах биосферы. Биохимические процессы, протекающие в торфяных залежах, определяют формирование газового режима и высвобождение углерода в виде метана и диоксида углерода. Целью работы было исследование динамики газового состава и эмиссии газов в эвтрофном болоте. Получены многолетние данные по параметрам газового режима в торфяной залежи, проанализировано влияние биохимических процессов на эмиссию парниковых газов.

*Ключевые слова:* эвтрофное болото, торфяная залежь, Сибирь, углерод, динамика, газовый режим, парниковые газы, биохимические процессы, эмиссия.

### **Inisheva L.I.**

Inisheva Lidia I., Prof., Head of the Laboratory of Agroecology. Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Kievskaya st., 60. inisheva@mail.ru

### **Golovchenko A.V.**

Golovchenko Alla V., Ph.D., Associate Professor, Senior Researcher of the Moscow State University. ul. Lenin Hills, 1. golovchenko.alla@gmail.com

### **Sergeeva M.A.**

Sergeeva Margaret A., Ph.D., Associate Professor of the Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Kievskaya st., 60. labtor@yandex.ru

### **Szajdak L.**

Szajdak Lech, Prof. of the Institute of Ecology of Agriculture and Forestry of the Polish Academy of Sciences, Poznan, Poland. szajlech@man.poznan.pl

## **DYNAMICS OF GAS REGIME IN EUTROPHIC BOG**

*Abstract.* At present the considerable attention is focused on the study of the cycle of carbon in ecosystems. The biochemical processes running in peat deposits determine the gas regime and emission of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>. The purpose of the work was an investigation of dynamic of gas composition and greenhouse gas emissions in the fen Tagan. Long-term data on the parameters of the gas regime in peat deposit were obtained. The influence of the biochemical processes on greenhouse gas emission has been found.

*Keywords:* eutrophic bog, peat deposit, Siberia, carbon, dynamics, gas regime, greenhouse gas, biochemical processes, emission.

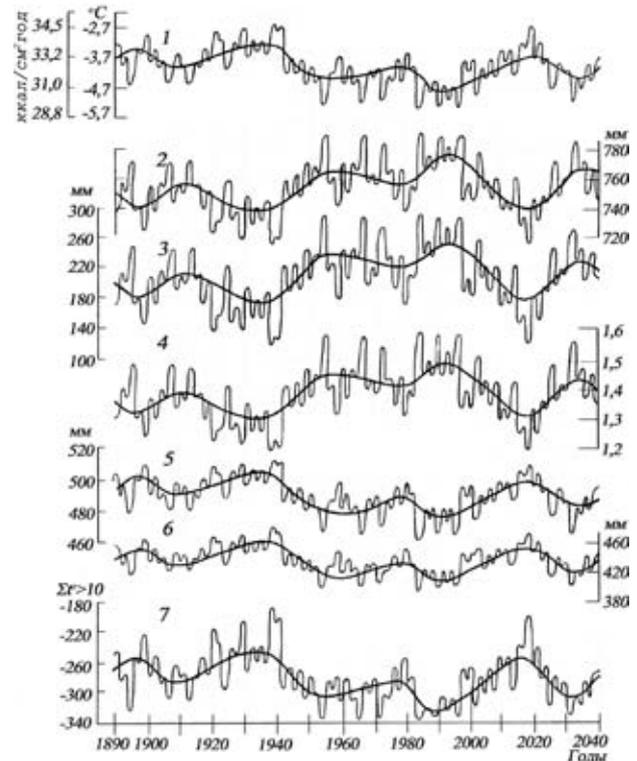
При проведении исследований стало весьма модным ссылаться на угрожающее потепление климата и вытекающие отсюда последствия для биосферы. Но так ли это? Как отмечается, например *В.Н. Башкиным* [1], палеоклиматические исследования, связанные с изучением климата прошлых геологических эпох, позволяют усомниться в обоснованности требований известного Киотского протокола (1997 г.), ограничивающего выбросы парниковых газов, особенно углекислого газа, за счет антропогенной деятельности, и допускающего торговлю квотами на их выбросы. Как отмечает автор, повышение уровня углекислого газа в атмосфере зачастую не предшествовало, а следовало за потеплением, так как при повышении температуры в атмосферу выходит углекислый газ, растворенный в Мировом океане (где его в 60 раз больше, чем в воздухе).

Ранние работы также свидетельствуют, что изменения климата выражаются в статистически достоверных отклонениях параметров погоды от их многолетних значений за период от десятилетий до миллионов лет. Обратимся к расчетам, приведенным в статье *В.М. Жукова* [2]. Им были рассчитаны вероятные изменения климатических параметров в таежной зоне Западной Сибири на  $60^\circ$  с. ш. для периода с 1890-го до 2040 гг., из которых следует, что в этой зоне отмечается чередование периодов недостаточного увлажнения и переувлажнения (рис. 1), в котором 1 – ресурсы тепла, ккал/см<sup>2</sup> год и  $^\circ\text{C}$ ; 2 – осадки, мм; 3 – избытки осадков, мм; 4 – коэффициент увлажнения; 5 – суммарное испарение, мм; 6 – норма суммарного испарения, мм; 7 – расход тепла, идущего на нагревание воздуха, сверх геофизической нормы, суммы температур за период с температурами выше  $10^\circ$ .

Так, с 1990-го по 2010 год отмечалось изменение структуры теплового и водного балансов, достаточно идентичного наблюдавшемуся изменению в период с 1910 по 1950 годы. Была выявлена цикличность изменения в 44 года. Полученные результаты отмечены и в палеоклимате со своим интервалом цикличности.

Многовековая изменчивость климата как ритмического процесса прослеживается, со всей очевидностью, для периода голоцена и продолжается в настоящее время. Отмечаемое ныне потепление климата – это очередной природный процесс, а парниковый эффект не является основной причиной этого феномена. Как

констатирует *В.Н. Башкин* [1], влияние парниковых газов сильно завышено, так как при массе атмосферы Земли в 18 375 000 млрд т и выбросах порядка 9 млрд т концентрация парниковых газов составляет всего 0,00005%. При таких концентрациях вряд ли возможны какие-либо глобальные изменения, в том числе и потепление климата.



**Рис. 1.** Вероятные изменения количества тепла и влаги в гидроморфных зонах на  $60^\circ$  с. ш. за период с 1890-го по 2040 гг. [2]

**Fig 1.** Probable quantity distributions of warmth and moisture in hydromorphic zones in 1890–2040 [2]

Вместе с тем количественные аспекты динамики газового состава в торфяных залежах, как следствие протекающих в них биохимических процессов, остаются малоисследованными, несмотря на большое значение болот в проблеме круговорота углерода в биосфере. Поэтому целью данного исследования являлось изучение динамики газового режима и эмиссии парниковых газов в торфяных залежах эвтрофного болота Таган за 2011–2013 гг.

#### Объекты и методы исследований

Эвтрофное болото Таган с площадью 4068 га располагается в 11 км на ЮЗ от г. Томска в пределах Северо-Барабинского округа

подтаежных эвтрофных осоково-гипновых болот [3]. Растительность торфяного месторождения в настоящее время переживает в основном эвтрофную фазу развития и представлена древесно-осоковым, осоковым, осоково-сфагновым и травяно-кустарничковыми фитоценозами. На этой территории отмечается активный линейный прирост торфяных отложений со средней скоростью 1,1 мм/год, что обусловлено высокой биологической продуктивностью, характерной для болотных комплексов травяно-гипнового типа.

Болото расположено в древней ложбине стока р. Томи, подстилающими породами служат пески, супеси и суглинки. На болоте исследования проводились на пункте 1 с координатами 56°21' СШ, 84°47' ВД; растительность представлена березой, редкими угнетенными соснами; наземный покров – крапива, осока, папоротник. Торфяная залежь имеет мощность около 3 м и возраст – 3445±50 лет, сложена травяным и древесно-травяным торфом со степенью разложения от 25 (с поверхности) до 55% на глубине 3 м.

В период с мая по сентябрь проводились наблюдения за уровнем болотных вод (УБВ) и температурой стационарно заложенными в торфяную залежь датчиками. В этом же пункте были заложены штанги для определения газового режима «реерерс»-методом [4]. Эмиссию CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> измеряли камерно-статическим методом, анализ газового состава проводился на газовом хроматографе «Кристалл-5000.2». Датирование торфяных залежей выполнено на радиоуглеродной установке QUANTULUS-1220 в институте геологии СО РАН.

Методом посева проводилось определение численности аммонификаторов и амилолитиков. Статистическая обработка результатов анализа осуществлялась в пакете Microsoft Office Excel.

### Результаты исследований

Исследования газового режима проводились в течение вегетационных периодов 2011–2013 гг. Наиболее комплексным показателем погодных условий является гидротермический коэффициент (ГТК). По значениям ГТК наиболее близким к среднему многолетнему был вегетационный период 2011 года, более сухими – 2012-й и 2013 годы (табл. 1). Но и по отдельным месяцам соотношение

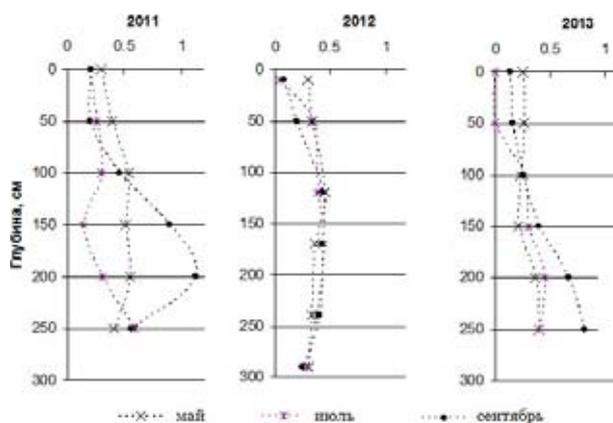
тепла и влаги распределялось неравномерно. Так, в 2011 году средний за вегетационный период показатель ГТК сформировался за счет очень влажного и холодного июля, остальные месяцы были достаточно сухими. И за все годы выделяется май контрастными погодными условиями по сравнению со среднемноголетними данными.

**Таблица 1.** Метеорологические условия 2011–2013 гг. по данным метеостанции г. Томска

**Table 1.** Meteorological conditions in 2011–2013, Tomsk

Годы	Месяцы					Май-сентябрь
	май	июнь	июль	август	сентябрь	
Температура воздуха, °С						
2011	10,6	18,4	15,4	13,8	9,7	13,6
2012	9,4	21,0	21,3	15,1	13,4	16,0
2013	6,5	14,4	19,2	16,6	8,5	13,4
Среднее многолетнее	8,8	15,4	18,3	15,1	9,3	13,4
Осадки, мм						
2011	25,5	45,5	170,1	50,5	11,4	303,0
2012	50,8	33,0	24,4	75,6	54,9	238,7
2013	89,1	63,9	13,0	75,1	59,8	300,9
Среднее многолетнее	51,7	66,7	76,9	75,5	48,7	319,2
ГТК по Селянинову						
2011	0,8	0,9	3,6	0,2	0,4	1,4
2012	0,1	0,5	0,4	1,5	1,9	0,9
2013	0,2	1,1	0,2	1,5	1,3	0,8
Среднее многолетнее	0,8	1,7	1,8	1,6	1,5	1,5

В рассматриваемых погодных условиях формировался газовый режим эвтрофного болота. Рассмотрим динамику распределения по профилю торфяной залежи диоксида углерода (рис. 2).



**Рис. 2.** Распределение диоксида углерода по профилю торфяной залежи, ммоль/л

**Fig. 2.** Distribution CO<sub>2</sub> on profile of peat deposit, mmol/l

Общие пределы изменения диоксида углерода в торфяном профиле составляют от 0 до 1,0 ммоль/л. В мае отмечаются высокие концентрации диоксида углерода до глубины 1 м, ниже по профилю происходит небольшое их снижение. Аналогичную динамику концентраций можно наблюдать в июле и августе.

В сентябре 2011 года концентрация диоксида углерода увеличивается на глубине 150–200 см. Следует отметить, что на этой глубине отмечается постоянство температуры, а водный режим поддерживается на уровне полной влагоемкости, т. е. внешние условия в торфяной залежи на таких глубинах обычно стабильны. Отличаются общетехнические параметры: ботанический состав представлен преобладающим древесно-травяным видом, степень разложения торфов в этом слое резко увеличивается на 10%, что указывает на увеличение активности микрофлоры. И далее вниз по профилю степень разложения достигает 50%. В этом направлении увеличивается и активность микрофлоры. Исключение составляет придонный слой (табл. 2).

Для бактерий была выявлена тенденция равномерного распределения или плавного уменьшения численности вниз по профилю. Плотность грибных спор и дрожжеподобных клеток мало менялась по профилю, но иногда была выше в более глубоких слоях торфяника (рис. 3).

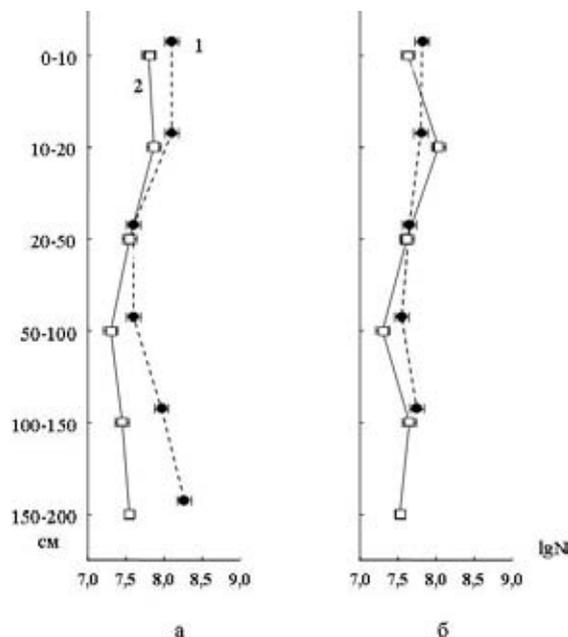
**Таблица 2.** Численность микроорганизмов в эвтрофном болоте,  $10^6$  кое/г с. т.

**Table 2.** Number of microorganisms in eutrophic mire,  $10^6$  cfu/g d. p.

Глубина, см	Месяц	Аммонификаторы			Амилолитики		
		2011	2012	2013	2011	2012	2013
0–25	май	121,7	87,7	66,3	8,9	23,2	18,6
	июль	110,4*	41,5	87,6	29,0*	36,2	28,3
	август	82,9*	25,6	35,8	47,6*	22,7	22,7
25–50	май	18,1	112,1	98,2	8,9	26,7	22,6
	июль	97,7*	66,2	91,5	15,8*	75,2	36,9
	август	171,8*	31,9	31,9	69,4*	36,9	25,2
175–200	май	306,6	162,0	126,8	187,5	92,0	67,1
	июль	308,9*	144,4	96,1	227,7*	111,3	86,5
	август	379,1*	350,2	75,5	199,3*	107,4	67,1
250–275	май	10,8	37,9	46,1	14,3	75,0	68,0
	июль	421,1*	76,7	34,4	221,8*	47,0	31,2
	август	171,6*	13,1	12,6	247,9*	43,4	43,8

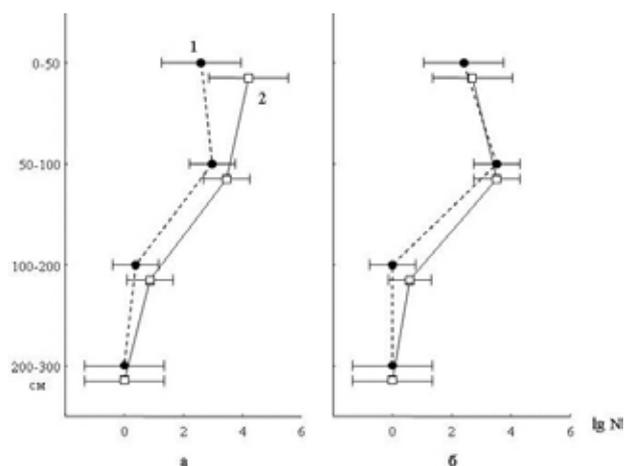
Примечание. \* –  $10^5$  кое/г с. т.; с. т. – сухой торф

Грибной мицелий обнаруживался преимущественно в верхней части залежи (рис. 4). Варьирование показателей микробного обилия в нижней части торфяной залежи свидетельствует о реальном размножении хотя бы части микробного комплекса на глубине.



**Рис. 3.** Распределение спор грибов по профилю торфяников (1, 2) в летний (а) и осенний (б) периоды (размерность  $N$  – спор/г)

**Fig. 3.** Distribution of fungi spores on peat profile (1, 2) in spring (a) and autumn (б) periods ( $N$  – spores/g)



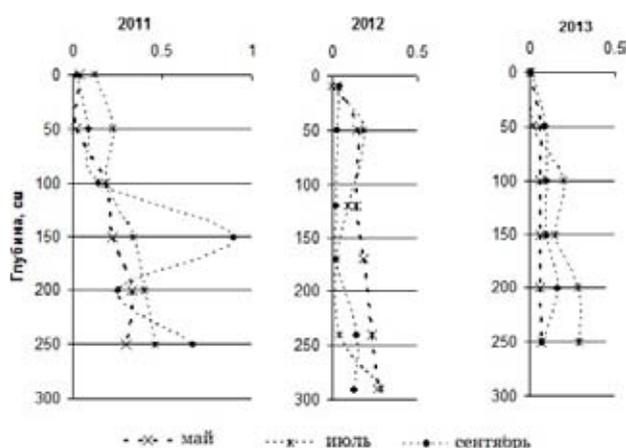
**Рис. 4.** Распределение грибного мицелия по профилю торфяников (1, 2) в весенний (а) и осенний (б) периоды (размерность  $N$  – м/г)

**Fig. 4.** Distribution of fungi mycelium on peat profile (1, 2) in spring (a) and autumn (б) periods ( $N$  – m/g)

В целом запасы микробной биомассы в эвтрофном торфянике достигают в метровом слое нескольких т/га, а в расчете на всю залежь – десятков т/га. Доля углерода микробной биомассы от общего углеродного пула в исследуемом торфянике не превышала 3% в верхней части торфяной залежи, 2% – в слое 50–100 см и 0,2% – в слое 100–300 см. Низкая доля углерода микробного происхождения обусловлена колоссальными запасами растительной мортмассы в торфяниках.

Многолетний мониторинг показателей микробного обилия в исследуемом торфянике показал, что микробная биомасса относительно равномерно распределена по всей мощности торфяной залежи. Это оказывает влияние и на формирование в торфяной залежи метанового профиля.

Динамика метана в профиле торфяной залежи эвтрофного болота характеризуется закономерностью, аналогичной распределению диоксида углерода (рис. 5). Также в сентябре 2011 г. происходит увеличение концентрации метана на глубине 150 и 200 см до их наибольших значений – 1 и 0,7 ммоль/л.



**Рис. 5.** Распределение метана по профилю торфяной залежи, ммоль/л

**Fig. 5.** Distribution the methane on profile of peat deposit, mmol/l

Динамика эмиссии метана за годы исследований изменялась в широком диапазоне от 0,01 до 14,2 мг С/м<sup>2</sup>/ч. Закономерность изменения эмиссии метана в июле и сентябре соответствует динамике диоксида углерода. Май можно считать исключением в отмечаемой закономерности.

Рассмотрим динамику эмиссии парниковых газов в годы исследований (табл. 3). Так,

в 2011-м и 2013 годах отмечалось увеличение концентрации диоксида углерода с глубиной практически во все месяцы.

**Таблица 3.** Эмиссия диоксида углерода и метана в эвтрофном болоте, мг С/м<sup>2</sup>/ч

**Table. 3.** Emission CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in eutrophic mire, mg C/m<sup>2</sup>/h

Год	Месяцы		
	май	июль	сентябрь
CO <sub>2</sub>			
2011	73,76 ± 0,12	102,02 ± 1,09	89,13 ± 1,10
2012	72,25 ± 7,30	14,46 ± 0,60	129,20 ± 17,60
2013	16,50 ± 1,50	11,50 ± 1,50	87,90 ± 17,60
CH <sub>4</sub>			
2011	5,14 ± 0,25	4,15 ± 0,22	1,56 ± 0,10
2012	11,36 ± 3,50	0,06 ± 0,01	0,93 ± 0,20
2013	8,50 ± 1,40	4,20 ± 2,60	1,20 ± 0,20

Однако по эмиссии не наблюдается такой закономерности: в мае 2013 года эмиссия самая низкая, в июле 2013 г. очень высокая, в то время как концентрация его по профилю характеризуется средними показателями. Рассчитанные матрицы корреляций эмиссии с газовым составом торфяной залежи за 3 года исследований показали, что связь эмиссии CO<sub>2</sub> проявляется только с метаном на глубине 50 см в профиле торфяной залежи ( $r = -0,51$ ) и непосредственно с эмиссией метана ( $r = -0,75$ ). Таким образом, четкой зависимости концентрации диоксида углерода в торфяной залежи и его эмиссии не наблюдается. Надо полагать, здесь оказывают влияние многие еще не учтенные факторы.

### Обсуждение результатов

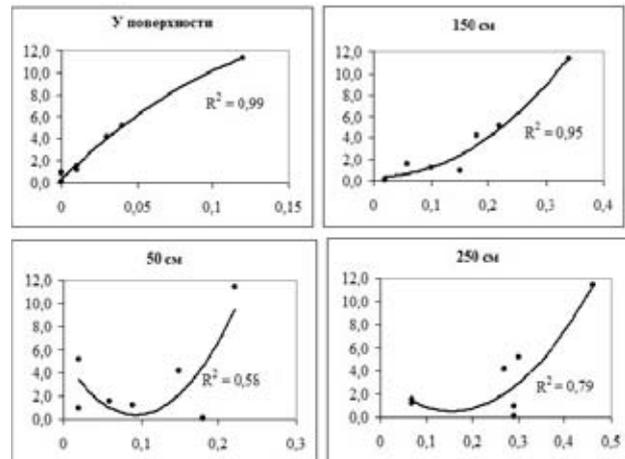
Известно, что оценка газовой функции может быть существенно занижена, поскольку часть газа аккумулируется в торфяной залежи, перераспределяясь в ней не только в газовой фазе, но и в адсорбированном состоянии. Это приводит к серьезным ошибкам в определении углеродного баланса на заболоченной территории, в особенности в условиях высокой степени заболоченности. Также довольно сложно составить прогноз эмиссии газов из торфяной залежи с высокой точностью. Из рассмотренных выше связей между газовым составом и эмиссией парниковых газов эвтрофного болота обращает на себя внимание тот факт, что газовый режим в торфяной залежи

довольно постоянен. В то время как эмиссия газов часто характеризуется индивидуальной динамикой, а полученные корреляционные связи показывают, что каждый слой торфяной залежи оказывает определенное влияние на эмиссию парниковых газов, но по-разному.

Этот факт подтверждает положение о доминирующей роли транспорта газа по растениям и конвекции газовой фазы по крупным каналам [5]. Кроме того, в условиях сезонного обводнения болота значительная доля продуцируемого внутри торфяной залежи  $\text{CO}_2$  поступает в болотные воды, а не в атмосферу в виде эмиссионного потока. Поскольку в торфяной залежи содержится в десятки и сотни раз больше  $\text{CO}_2$ , чем в атмосфере, а растворимость этого газа достаточно высока, в болотных водах будет накапливаться  $\text{CO}_2$  в больших количествах. Таким образом, двухфазная система «болотная вода–газ» требует учета закономерностей карбонатно-кальциевого равновесия и его обратимости в растворах. А это в свою очередь ставит перед исследователями ряд проблем количественного описания подобных явлений.

Есть мнение, что торфяные болота выделяют много метана. Объясняется этот факт неоднородностью и ненасыщенностью торфяной залежи в инертном горизонте на глубинах более 50 см, что способствует аккумуляции здесь значительных количеств углеродсодержащих парниковых газов. Однако на глубине 1,5–2 м происходит снижение концентрации углеродсодержащих газов, и динамика диоксида углерода и метана в торфяной залежи характеризуется формой с экстремумом в средней части, что и отмечается на рисунке 5. Но даже в одной торфяной залежи могут возникать различные условия, при которых метан будет выделяться или поглощаться. Это, например, может происходить за счет чередования аэробных и анаэробных условий (в приповерхностных слоях торфяной залежи). На глубине окислительно-восстановительные условия – облигатно-восстановительные, а с глубины 120–150 см отмечается и постоянство температуры. Но как выше было рассмотрено, микрофлора достаточно активна в этих условиях и способствует образованию парниковых газов, в том числе и метана, который имеет свойство скапливаться в образующихся пустых полостях торфяной залежи, время от времени перетекая по слоям ее профиля. Возможно, это и является причиной про-

являющихся зависимостей между концентрацией метана в профиле и его эмиссией (рис. 6). Например, благодаря действию метанотрофного фильтра от 30 до 80%  $\text{CH}_4$  может окисляться до  $\text{CO}_2$  по мере массопереноса из горизонтов метаногенеза к поверхности торфяной залежи [6]. Причем эти зависимости различаются в зависимости от слоя торфяной залежи.



**Рис. 6.** Зависимость эмиссии метана (ось X, мг С/м<sup>2</sup>/ч) от его концентрации (ось Y, ммоль/л) в торфяной залежи

**Fig.6.** Dependency of the methane emissions (OX, mg C\*m<sup>-2</sup>\*h<sup>-1</sup>) from its concentrations (OY, mmol/l) in peat deposit

Также генерируемые внутри залежи газы, не имея возможности выйти в атмосферу через обводненный активный горизонт, накапливаются в глубине в виде газовых резервуаров (до 30–60 г С- $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4/\text{м}^2$ ). Фаза разгрузки вновь сменяется аккумуляцией газов внутри почвы, и так до 6–10 раз за вегетационный сезон. При этом разгрузка запасов газов многократно превышает эмиссию с поверхности, определенную традиционными методами камер. Так, работами ученых [7] было показано, что потоки метана из болот низинного типа характеризовались коэффициентом вариации от 80 до 240%, параметры скорости эмиссии метана при этом изменялись от 20 до 2400 мг  $\text{CH}_4/(\text{м}^2 \text{сут})$ . В Смагин [5] приводит механизм образования метана: в болотах формируется глубинный анаэробный слой ( $Eh < -150\text{мВ}$ ) с активным образованием метана и поверхностный слой его окисления ( $Eh > 150\text{мВ}$ ), в котором развиваются метанотрофные бактерии. В результате значительная часть газа (от 30 до 80%, по данным Yagi [5, С. 97]) окисляется, не доходя до атмосферы.

Что мы наблюдаем в торфяных залежах естественных болот? Практически во все годы исследований вся торфяная залежь, за исключением поверхностных 10–30 см (в условиях снижения уровня болотных вод), характеризуется резко отрицательными значениями Eh (от –150 до –250 мВ за 2011–2013 гг.). Но динамика газового состава в торфяном профиле не подчиняется вышеобозначенному положению.

В заключение необходимо отметить, что, как отмечают многие авторы [8], «антипарниковая» функция болот выглядит весьма скромно – в мировом масштабе они компенсируют лишь 0,8–2,6% углерода техногенных источников и 1,8–5% глобального прироста CO<sub>2</sub> в атмосфере. Для России эти показатели составляют соответственно 0,3 и 0,6%. Поэтому значение болотных экосистем заключается не в интенсивности стока углерода, а в его запасах, которые накапливаются на протяжении веков в составе торфяной залежи [9–11]. Вот почему столь важно сохранить естественное функционирование торфяных экосистем, являющихся значительными резервуарами потенциально мобильного органического углерода на планете.

### Выводы

Динамика CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в торфяной залежи эвтрофного болота, изученная в течение 3 лет исследований, характеризуется пределами изменения концентраций от 0 до 1 ммоль/л. Концентрация парниковых газов с глубиной преобладающе увеличивается, что согласуется с изменением степени разложения торфов и увеличением активности биоты в торфяной залежи.

Динамика концентрации CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в торфяной залежи контролируется активностью микрофлоры. В структуре микробной биомассы торфяной залежи исследуемого торфяника преобладает грибная составляющая. В верхних слоях она представлена мицелием, в нижних – преимущественно спорами грибов и дрожжеподобными клетками. В нижних слоях становится высокой не только доля спор, но и доля бактериальных клеток.

Динамика газового режима и эмиссии парниковых газов в торфяной залежи эвтрофного болота определяются погодными условиями, а также биохимическими параметрами, формирующимися в торфяной залежи.

Эмиссия парниковых газов определяется динамикой газового режима каждого слоя торфяной залежи, что подтверждается корреляционными зависимостями.

Сложная система, которую представляет собой болото, предполагает более тщательные исследования ее органической и биологической составляющей для прогнозирования формирования газового состава, эмиссии и в целом бюджета углерода в болотах. В настоящее время мы пока имеем фрагментарные знания о групповом и фракционном составе органического вещества торфов, трансформации в них форм углерода и о биохимических процессах, происходящих в торфяной залежи на фоне окислительно-восстановительных условий, формирующихся непосредственно в торфяном профиле болота.

### Библиографический список

1. Башкин В.Н., Галиулин Р.В. Изменение климата и прогноз потребления природного газа // Газовая промышленность. – 2013. – № 1. – С. 58–60.
2. Жуков В.М. Климат и процесс болотообразования // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. – М.: Наука, 1977. – С. 13–30.
3. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / Лисс О.Л. [и др.]. – М.: Гриф и К, 2001. – 584 с.
4. Eilrich B. Formation and transport of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> in deep peatlands. Presentee a la Faculte des Sciences de l'Universite de Neuchatel (Suisse) pour l'obtention du grade de Docteur es Sciences, 2002. – 168 p.
5. Смагин А.В. Газовая функция почв. – М.: Изд-во МГУ им. Ломоносова, 2005. – 301 с.
6. Glagolev M.V., Smagin A.V., Lebedev V.S., Shnyrev N.A., Nozhevnikova A.N. Generation, mass-transfer and transformation of methane in peatland (on example of Bacharskoe wetland) // WSPCC 2001, International Field Symposium West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: past and present. – Noyabrsk, Russia. – P. 79–81.
7. Inoue G., Maksyutov S., Panikov N. Proceedings of the Third SJSPSJR in 1994, Sapporo, iWORD.– Sapporo, 1995. – P. 37–43.
8. Bridges E.M., Batjes N.H. Soil gaseous emissions and global climate change // Geography. – 1996. – V. 81 (2). – P. 155–169.

9. *Tolonen K., Vasander H., H. Damman A.W., Clymo R.S.* Preliminary estimates of long-term carbon accumulation and loss in the 25 boreal peatlands // *Suo.* – 1993. – V. 43.– № 4–5. – P. 277–280.
10. *Vitt D.H., Beilman D.V., Halsey L.A.* Spatial and temporal trends in carbon storage of peatlands of continental western Canada through the Holocene // *Canadian Journ. of Earth Science.* – 2000. – 37. – P. 283–287.
11. *Stephen J. Chapman.* Estimating carbon stocks in peatlands: the Scottish Experience // *Proceedings of the 13th International Peat Congress. «After Wise Use – The Future of Peatlands»* (8–13 June 2008, Tullamore, Ireland): Oral Presentations. – Tullamore, Ireland. – Volume 1. – P. 569–571.

УДК 622.331:504.062

### **Панов В.В.**

Панов Владимир Владимирович, д. г. н., доцент, зав. кафедрой геологии, переработки торфа и сапропеля ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Академическая, 12. vvpanov61@gmail.com

## **СВЯЗЬ СТЕПЕНИ РАЗЛОЖЕНИЯ С ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТЬЮ И ПЛОТНОСТЬЮ ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

*Аннотация.* Возобновляемые торфяные ресурсы являются приоритетом развития торфяной отрасли. При восстановлении выработанных торфяных болот большое значение имеют такие свойства торфа, как влагосодержание и плотность. Связь между степенью разложения торфа и его относительной влажностью имеет нелинейный характер. Оба параметра определяют плотность торфа и торфяной залежи. При восстановлении болот можно использовать показатель плотности торфяных отложений как управляющий параметр.

*Ключевые слова:* торф, свойства торфа, возобновление торфа, восстановление болот

### **Panov V.V.**

Panov Vladimir V., D.Sc., Associate Professor, Head of the Chair of Geology and Processing of Peat and Sapropel of the Tver State Technical University, Tver, Academicheskaya, 12. vvpanov61@gmail.com

## **RELATION BETWEEN DEGREE OF DECOMPOSITION AND MOISTURE CONTENT AND DENSITY OF PEAT DEPOSITS**

*Abstract.* Moisture content and peat density are of great importance when restoring cutaway peat fields. Relation between degree of decomposition and moisture content of peat is nonlinear. Both parameters determine the density of peat and peat deposits. When restoring mires the density of peat deposits can be used as a control parameter.

*Keywords:* peat; technical properties of peat, peat resources renewal, restoration of mires

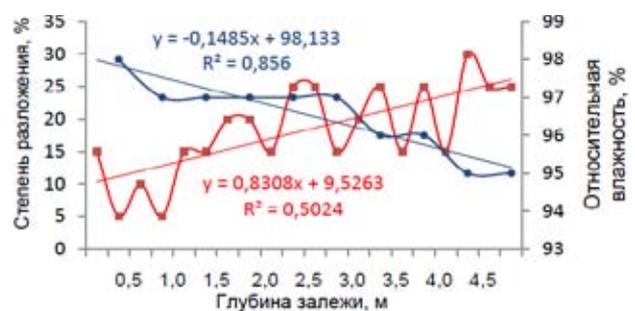
После добычи торфа торфяные месторождения должны быть рекультивированы [1]. Рекультивация выполнялась в целях лесоводства, сельскохозяйственного производства, рыборазведения и т. п. В настоящее время отдается предпочтение рекультивации торфоразработок путем вторичного обводнения с целью восстановления болотных экосистем [2]. В связи с этим приобрели особую актуальность работы, связанные с переоценкой влияния свойств торфа и его отложений на процессы торфонакопления. В первую очередь это относится к влагосодержанию и плотности торфа в залежи.

В первой половине XX века анализ связей общетехнических свойств торфяного сырья выполнялся без учета места отбора образца торфа. Зависимость между степенью разложения и относительной влажностью торфяного сырья носила обратный линейный характер [3]. При геологических исследованиях торфяных месторождений общетехнические свойства торфа увязывались с его видами и стратиграфией торфяной залежи, что позволяло выделять технологические (стратиграфические) участки месторождения для использования объемных способов добычи торфа – машиноформовочного и гидравлического.

С переходом в 60-х гг. XX века к крупномасштабной добыче торфа фрезерным (поверхностно-послойным) способом отказались от деления торфяного месторождения на технологические участки. При подготовке месторождения к эксплуатации (в основном при глубоком фрезеровании залежи) и добыче торфа происходило усреднение характеристик в результате смешивания при выполнении технологических операций фрезерования, ворошения, валкования, уборки и штабелирования. В связи с тем, что при выполнении этих операций происходило частичное сглаживание первичных значений свойств торфяного сырья, его оценка производилась по степени разложения и зольности торфа послойно по всей площади месторождения через 0,25 м на всю глубину залежи. В результате понятия видов торфа и торфяной залежи стали номинальными. Категории торфяного сырья для разных видов и направлений использования и комплексной переработки определялись по сопоставлению интервалов изменения степени разложения и зольности, а естественная влажность торфа не влияла на категорию торфяного сырья [4, 5].

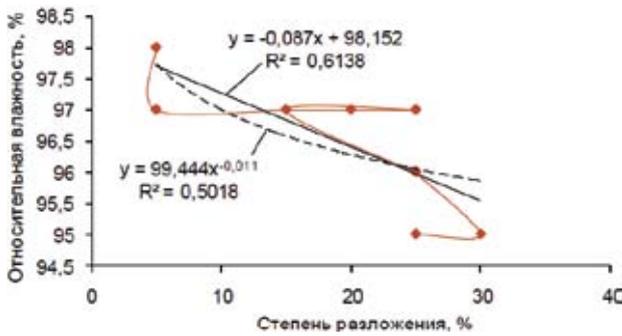
Плотность торфа в естественном залегании традиционно определяется по показателям степени разложения и влажности [6]. Вопрос о плотности торфяной залежи актуален в связи с выполнением мероприятий по восстановлению выработанных торфяных месторождений. Здесь, в отличие от подготовки к эксплуатации, необходимо решение обратной задачи – насыщение водой оставшегося после разработки слоя торфяной залежи. Таким образом, плотность торфяной залежи становится параметром, позволяющим контролировать и прогнозировать протекание процессов восстановления торфяного болота, обладающего в естественном состоянии гидростатическим равновесием и механической целостностью.

На рис. 1 представлен характер изменения показателей степени разложения и относительной влажности торфа от поверхности до границы торфяной залежи с минеральными отложениями. Известно [3], что статистическое представление этих параметров указывает на обратный характер их связи. Представление связи между изменением по глубине показателей разложения и влажности торфа отдельного пункта бурения залежи (рис. 2) позволяет предположить, что эта связь более сложная – существует некоторый нелинейный порядок изменения параметров по глубине залежи. Их участие в формировании плотности торфяной залежи носит «компенсационный» характер. В результате плотность торфяной залежи с глубиной стремится к некоторой постоянной величине.



**Рис. 1.** Графическая связь показателей степени разложения (красный) и относительной влажности (голубой) торфа с глубиной торфяной залежи

**Fig. 1.** Curves of relation between degree of decomposition (red), moisture content (blue) and depth of peat deposits



**Рис. 2.** Взаимное изменение показателей степени разложения и относительной влажности торфа с глубиной торфяной залежи (данные рис. 1)

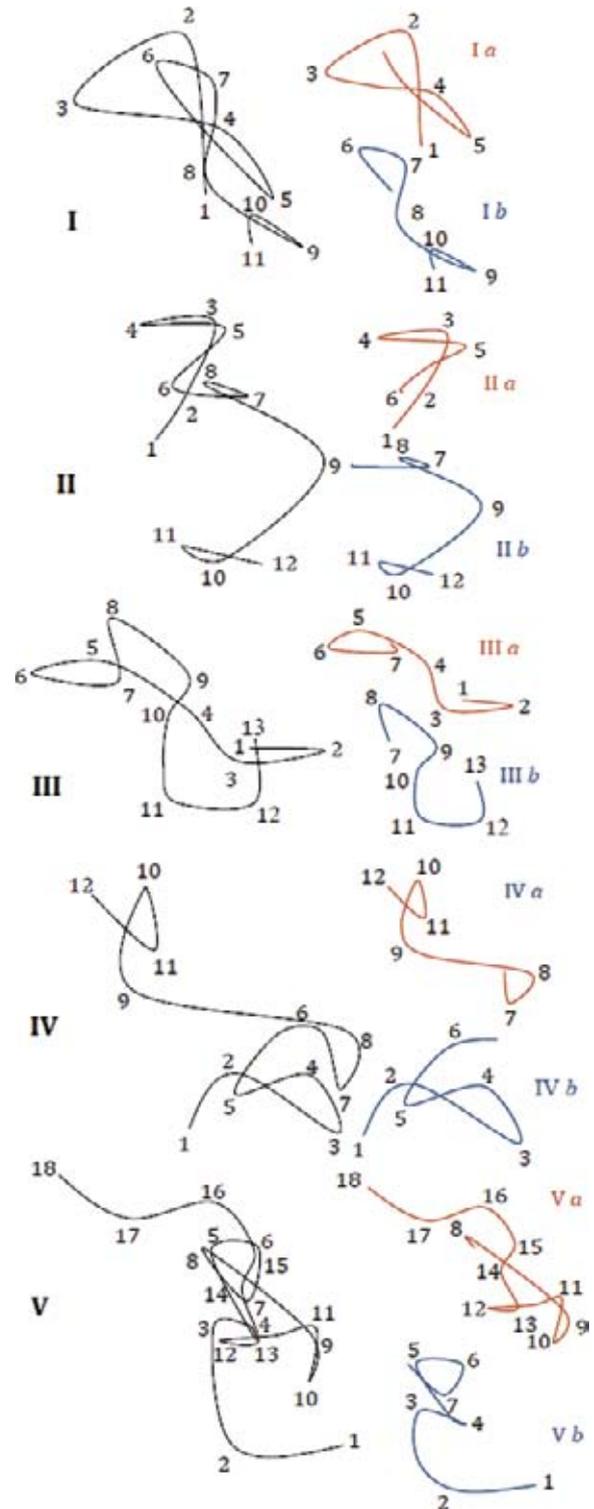
**Fig. 2.** Mutual variation of degree of decomposition and moisture content of peat and depth of peat deposits (data in Fig. 1)

На рис. 3 представлены произвольно выбранные графики связи влажности и степени разложения торфа конкретных фрагментов торфяных отложений. Независимо от типа и вида торфяной залежи в них отмечается общее свойство – цикличность.

Для удобства графического представления этого свойства разделим каждую кривую на две составляющие – S-образные фигуры (например, кривая I делится на кривые I a и I b). Последовательность чисел условно отражает области их резкого изменения.

Петлеобразный характер эволюционной связи указывает на то, что при изменении одного из показателей, другой всегда «задерживается» с изменением своего значения. Такое чередование «ускорения» их изменений может объясняться тем, что торфяная залежь в процессе торфонакопления регулирует свою плотность, влияя на формирование свойств торфа в верхнем торфогенном слое залежи. Это регулирование выражается в изменении плотности торфяной залежи и ее способности к плаванию, а соответственно к изменению увлажнения на поверхности торфяного болота. Всплывание залежи вызывает дренирование ее поверхности и облесение, а погружение – образование топи (рис. 4).

Взаимные колебания обоих параметров указывают на наличие в их связи управляющего элемента, регулирующего их динамику, а именно на плотность торфяной залежи. На рис. 5 показано распределение плотности в торфяной залежи (плотность определялась по таблицам Сидякина [6]).



**Рис. 3.** Циклическая связь относительной влажности торфа и степени разложения: I, V, VI – магелланикум-залежь, II – комплексная верховая, III – низинная многослойная топяно-лесная, IV – низинная топяно-лесная

**Fig. 3.** Cyclic dependence of moisture content and degree of decomposition of peat: I, V, VI – magellanicum peat deposit, II – complex oligotrophic deposit, III – stratified eutrophic woody and moss deposit, IV – simple eutrophic woody and moss deposit



**Рис. 4.** Топяной участок болота (вверху) и облесенный (внизу)

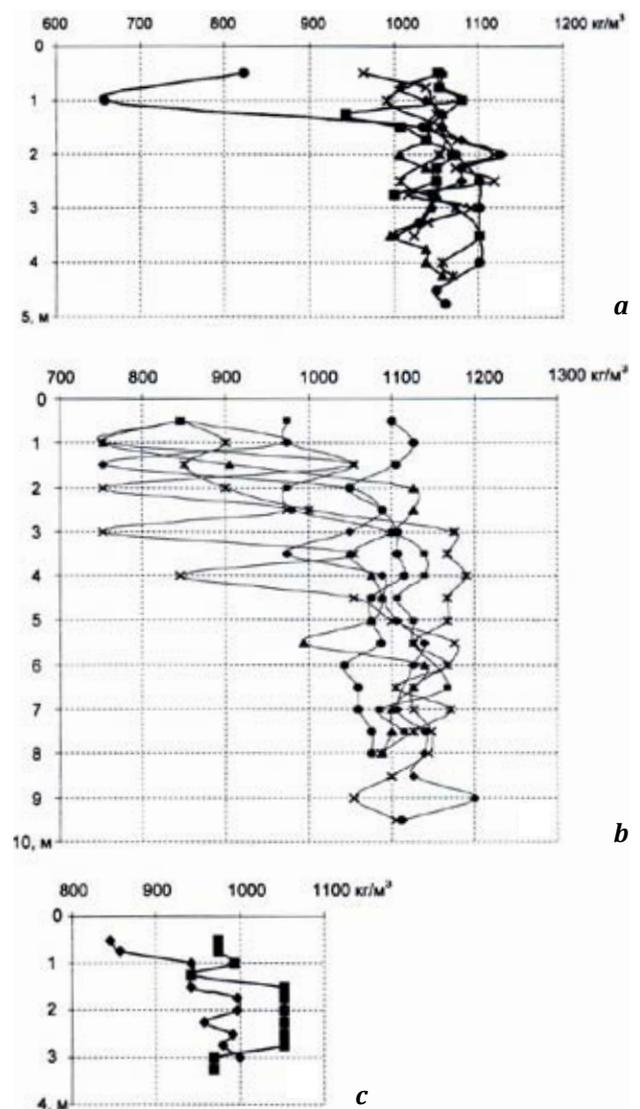
**Fig. 4.** Treeless (up) and forested (down) area of mire

С учетом существующей классификации видов торфяной залежи Московского торфяного института [7] и их свойств по приведенным графикам можно построить предварительные принципиальные модели графиков распределения плотности в залежи (рис. 6).

По вертикали выделяются три зоны. Зона I по характеру изменения плотности – общая для всех видов залежей. Вторая зона II показывает по мере торфонакопления резкую дифференциацию залежей по плотности. Третья зона (III) показывает завершение принципиальных изменений – графики показывают относительно устойчивую тенденцию дальнейшего развития торфяника.

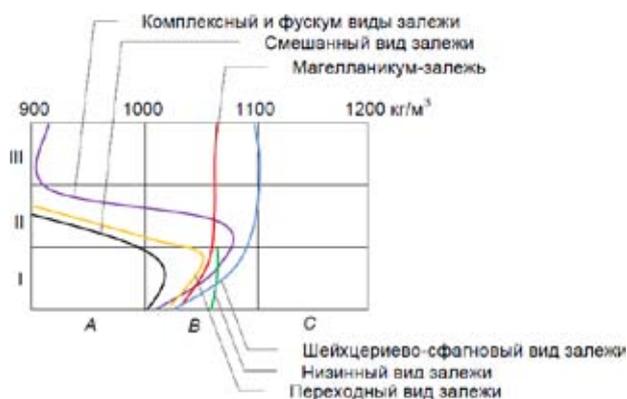
По величине плотности можно предварительно в соответствии с имеющимися материалами выделить тоже три зоны – A, B, C. Зона B показывает интервал плотности от 1000 до 1100 кг/м<sup>3</sup>, который характерен для большинства торфяных залежей при среднем значении плотности около 1050 кг/м<sup>3</sup>. Предпо-

ложительно эта величина является принципиальной, относительно которой происходят изменения или формируется спектр остальных моделей плотности залежи. Зона A показывает резкое снижение плотности залежи. В основном это залежи слаборазложившегося торфа с хорошо сохранившейся структурой, что, вероятно, позволяет им формировать контур всплывания [8]. Зона C характеризуется отклонением значений плотности вправо. На рис. 6 эта зона условно пустая, но по рис. 5 видно, что многие графики будут иметь в этой зоне свои данные, а данные по шейхцериево-сфагнуовой залежи почти полностью расположены в зоне C.



**Рис. 5.** Изменение плотности торфяной залежи по глубине: а – низинные, б – верховые, с – смешанные

**Fig. 5.** Changing the density of the peat deposits in depth: a – eutrophic, b – oligotrophic, c – mixed



**Рис. 6.** Принципиальные модели изменения плотности в торфяной залежи по их видам

**Fig. 6.** Schematic model of changes in the density of the peat deposits by type

В большинстве случаев торфяное месторождение формируется из нескольких видов торфяной залежи, часто имеющих симметричное или закономерное положение в его объеме. Эта симметрия объясняется гидростатическим уравниванием частей торфяного месторождения и дифференциацией процесса торфонакопления в верхнем торфогенном слое. Изменение плотности торфяной залежи по глубине на завершающей стадии ведет к «облегчению» залежи (отклонение графика влево от  $1050 \text{ кг/м}^3$ ) и ее всплыванию, отклонение графика вправо указывает на «утяжеление» залежи и ее погружение, или залежь сохраняет свое положение (плотность, близкая к  $1050 \text{ кг/м}^3$ ).

Таким образом, появляется возможность управления вторичным обводнением торфя-

ного месторождения как процессом деконсолидации или разуплотнения торфяной залежи, параметры которой могут быть заданными.

### Библиографический список

1. Крупнов Р.А., Базин Е.Т., Попов М.В. Использование торфа и торфяных месторождений в народном хозяйстве. – М.: Недра, 1992. – С. 239
2. Закон РФ «Об охране окружающей природной среды» [Электронный ресурс] // Консультант Плюс. – Высшая школа. – Вып. 8. – 1 электрон. опт. диск.
3. Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения. – М., Л.: ГОСТОПТЕХИЗДАТ, 1940. – 372 с.
4. Король Н.Т. Наиболее распространенные виды торфа европейской части РСФСР, их техническая характеристика и возможные направления использования // Труды института «Гипроторфразведка». – М., 1969. – Вып. 1. – С. 3–98.
5. Промышленная классификация торфяного сырья и возможность использования ее как основы для построения единой классификации торфа. – М., 1969. – 130 с.
6. Справочник по торфу. – М.: Недра, 1982. – 760 с.
7. Классификации видов торфа и торфяных залежей. – М.: Главторффонд, 1951. – 68 с.
8. Молкин Г.С. Основные вопросы теории всплывания торфа // Природа болот и методы их исследований. – Л.: Наука, 1967. – С. 223–227.

УДК 627.157: 002.637 (282.247.41)

### **Иванов Г.Н.**

Иванов Григорий Николаевич, к. г-м. н., доцент кафедры природообустройства и экологии Тверского государственного технического университета, Тверь, Академическая, 12. oio\_fpie@inbox.ru

## **ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ОЗЕРА СЕЛИГЕР ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

*Аннотация.* Проведенные работы впервые позволили охарактеризовать загрязненность донных отложений озера Селигер с современных позиций изучения песчано-глинистых дисперсных систем. Исследования загрязненности озера Селигер в 2000-м и 2004 гг. показали, что донные отложения являются наиболее приемлемым индикатором оценки загрязнения водных экосистем. Допустимо нивелировать различия в гранулометрическом составе донных отложений путем выделения «сорбирующей» фракции ( $d < 0,02$  мм).

*Ключевые слова:* загрязнение, озерная экосистема, тяжелые металлы

### **Ivanov G.N.**

Ivanov Grigory N., Ph.D., Associate Professor of the Chair of Nature Management and Ecology of the Tver State Technical University, Tver, Academicheskaya, 12. oio\_fpie@inbox.ru

## **DYNAMICS OF HEAVY METAL POLLUTION ON LAKE SELIGER**

*Abstract.* Contamination of bottom sediments of the Lake Seliger has been first characterized from the modern ways of studying sand and clay disperse systems. Investigation of the Lake Seliger pollution in 2000-04 showed that the sediments are a convenient indicator of pollution assessment of aquatic ecosystems. It is possible to neutralize the differences in particle size distribution of sediments by allocating «absorbing» fraction  $<0,02$  mm.

*Keywords:* pollution, lake ecosystems, heavy metals

**И**зучение состава донных отложений (ДО) в последние годы стало важным звеном в оценке экологического состояния водных объектов, поскольку они несут информацию об их загрязнении вследствие хозяйственной деятельности на водосборной территории и наиболее адекватно отражают современное состояние водного объекта.

Озера – это аккумулирующие природные системы с замедленным водообменом, что отличает их от рек и других водотоков, поэтому их ДО, как правило, характеризуются высоким содержанием органического вещества. Геоэкологический подход к исследованию озерных бассейнов предполагает изучение закономерностей распределения и миграционной способности осадкообразующих веществ. Характерная черта озерной седиментации (осадконакопления) – резко выраженная зональная географическая изменчивость и стадийность развития, проявляющаяся в химическом составе воды и ДО и в трофических характеристиках озера (олиготрофное, мезотрофное, евтрофное и дистрофное). Олиготрофный, евтрофный и дистрофный типы озер характеризуют отдельные возрастные стадии их естественной эволюции [1].

ДО формируются в результате сложного взаимодействия совокупности климатических, гидрологических, механических, физических, химических, биологических и других процессов, протекающих во времени как на водосборной площади, так и в самом озере. В поверхностном слое ДО – наиболее активной их составляющей, представленной глинистыми минералами, оксидами железа и марганца, органическим веществом, – вследствие процессов сорбции, ионного обмена и коагуляции фиксируется техногенное загрязнение окружающей среды. То есть ДО озер хранят геохимическую информацию о былых условиях, существовавших в окружающем водоеме географическом комплексе [1]. По мнению германских специалистов, верхние горизонты ДО в зависимости от гидрологических условий свидетельствуют о техногенном загрязнении окружающей среды за последние 3–12 месяцев [5].

В качестве объекта наших исследований было выбрано озеро Селигер, являющееся естественным регулятором стока Верхней Волги.

Озеро Селигер расположено в Тверской области на Валдайской возвышенности и занимает центральную часть водосборной территории, оно служит естественным регулятором

стока реки Волга на участке от истока до Ивановского водохранилища. Ложе озера (ледниково-карстового происхождения) образовалось после последнего Валдайского оледенения. находится на высоте 205 м над уровнем моря. Площадь его бассейна – 2275 км<sup>2</sup>. В озеро впадает 110 ручьев и речек и весь приток вытекает из него через реку Селижаровка, впадающую в Волгу. Площадь озера – около 260 км<sup>2</sup>, из них почти 38 км<sup>2</sup> занимают острова (их на озере более 160). Глубина озера достигает 24 м. Его возраст составляет примерно 12 тыс. лет и история его развития относится к периоду голоцена. Озеро имеет сложную лопастную конфигурацию, расчленено на многочисленные плесы, соединенные между собой протоками разной длины и ширины. Самые крупные из них – Осташковский (Городской или Слободской), Полновский, Кравотынский, Селижаровский и Березовский. Каждый плес характеризуется своими гидрохимическими условиями и гидрологическим режимом, что находит отражение в разнообразии ДО [4]. Это позволяет в рамках одного природного объекта изучить практически весь спектр озерных отложений данной природно-климатической зоны.

Лимническая система озера такова, что плесы и заливы в разной степени подвержены техногенной нагрузке. В 2000-м и 2004 гг. в рамках международного проекта «Волга – Рейн» были проведены комплексные экспедиции на озеро по отбору проб ДО [2, 3].

Чтобы получить данные о содержании тяжелых металлов (ТМ) в ДО плесов и заливов, были отобраны пробы верхнего (разжиженного) слоя осадков в 2000 г. в 26 пунктах, в 2004 г. – в 35 пунктах отбора проб. Для отбора образцов использовался пробоотборник грейферного типа. Отобранные образцы упаковывались в пластиковые пакеты.

Озеро Селигер находится в области достаточно влажного климата, чем объясняется наличие заболоченных участков в понижениях рельефа водосборной территории. За год здесь выпадает до 700...750 мм осадков. Большая часть из них приходится на теплый период (70...75% годовой суммы) – с апреля по октябрь. Условия питания озера характерны для большинства водных систем Восточно-Европейской равнины: талые снеговые воды – 45...55%; грунтовое питание – 25...40%; дождевое питание – 15...20%.

По химическому составу воды озера относятся к гидрокарбонатным кальциевым, мине-

рализация в течение года колеблется от 70 мг/л в период снеготаяния до 500 мг/л, а иногда и выше в летнюю межень. В последнее время состав озерной воды несколько изменился в связи с антропогенными нагрузками.

Принято считать, что деградация озерных экосистем и ухудшение качества воды связаны с техногенным евтрофированием и химическим загрязнением. Под первым понимают увеличение содержания в водном объекте фосфора, азота и других биогенных элементов, обуславливающих интенсификацию первичного продуцирования органического вещества, что стимулирует рост водорослей и высших водных растений. Под техногенным химическим загрязнением понимают накопление в воде и ДО химических соединений с формированием в последних литогеохимических аномалий. Техногенное химическое загрязнение ДО водных объектов, в нашем понимании, является одним из видов техногенного воздействия на водные экосистемы.

Наши исследования показали, что стандартные методики изучения вещественного состава грунтов (почв и горных пород) напрямую не годятся для ДО, поскольку главной особенностью ДО является высокое содержание в них природных и техногенных поверхностно-активных веществ. Кроме того, весьма важным для оценки техногенной загрязненности ДО является изучение минерального состава проб (особенно для отобранных в разных плесах), поскольку он является одним из главных факторов, определяющих сорбционную способность, гидрофильность ДО и ионный обмен. Эти свойства в наибольшей мере присущи глинистым минералам и характеризуются двумя основными особенностями, связанными с их составом и структурой, а именно: удельной поверхностью и кристаллохимическим строением базальных поверхностей и боковых сколов [10]. Опыт работ 2000 г. показал, что ДО озера Селигер по минералогическому составу соответствуют продуктам размыва ледниковых отложений [2] и достаточно однородны, но существенно различаются по гранулометрическому составу и содержанию органического вещества. Эти различия определяют разную адсорбционную и реакционную способность осадков, что подтверждается существенными вариациями значений их удельной поверхности. Для определения степени загрязнения ДО ТМ была использована германская методика оценки техногенного поступления химического

элемента в ДО на основе Игео-классов *Г. Мюллера* [5]. В основе классификации лежит принцип выделения из каждой пробы «сорбирующей» фракции с размером частиц < 0,02 мм [6].

Характеристика уровней загрязнения ДО и ее сравнение с уровнем техногенной нагрузки на водные экосистемы приведены в таблице 1. Нулевой Игео-класс является полуторным геохимическим фоном, определяемым специально или взятым из литературных источников. Последующие классы образованы путем двукратного умножения верхней границы предыдущего класса. С достаточной для практики точностью при региональных исследованиях допустимо использовать данные *К. Тюрекиана* и *К. Видепола* [7].

Таблица 1. Оценка уровня загрязнения донных отложений по Игео-классам и техногенной нагрузки на водные экосистемы

Table 1. Assessment of the level of contamination of sediments by Igeo classes and anthropogenic impact on aquatic ecosystems

Игео-класс	Уровень загрязнения ТМ по <i>Г. Мюллеру</i> [7]	Техногенная нагрузка на водные экосистемы по <i>Н.В. Коломийцеву</i> [3]
0	Незагрязненный	Слабая
1	Незагрязненный до умеренно загрязненного	(малоопасная)
2	Умеренно загрязненный	Умеренная
3	Среднезагрязненный	(умеренно опасная)
4	Сильнозагрязненный	Сильная
5	Сильнозагрязненный до чрезмерно загрязненного	(опасная)
6	Чрезмерно загрязненный	Чрезмерная (чрезмерно опасная)

В течение почти 25 лет классификация загрязненности ДО по *Г. Мюллеру* находит широкое применение в Германии. Даже во времена очень сильного загрязнения поверхностных водотоков, например реки Рейн в начале 70-х годов или реки Эльба в начале 90-х, деление на семь классов оказывалось достаточным. В 1993 г. Международной комиссией по охране Эльбы для классификации ТМ в ДО и оценки биологического состояния водных объектов в бассейне Эльбы была принята семиступенчатая система, которая практически идентична классификации *Г. Мюллера*.

Для классификации загрязнения ДО и оценки уровня техногенной нагрузки на водные объекты нами рекомендуется использовать концентрации четырех тяжелых метал-

лов: кадмия (Cd), свинца (Pb), ртути (Hg), цинка (Zn) и мышьяка (As). По определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Cd, Pb, Hg являются самыми опасными ТМ в природной среде. В соответствии с ГОСТ 17.4.1.02–83 упомянутые элементы относятся к 1-му классу опасности [8].

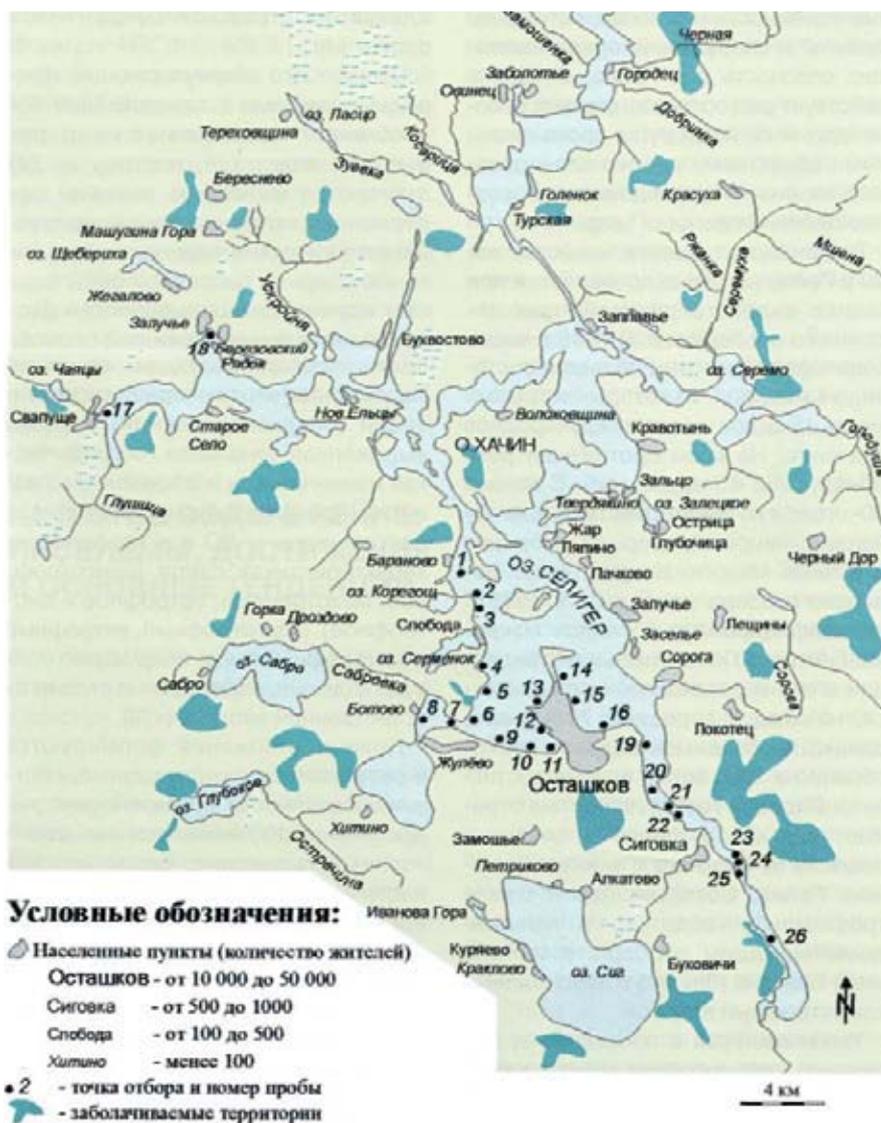
На основе данной классификации составляются карты загрязнения ДО каждым элементом. Серии таких карт позволяют адекватно оценить техногенную нагрузку на водные экосистемы и выявить неблагоприятные в экологическом отношении акватории [9].

Весьма важным при изучении техногенной загрязненности ДО является учет их минерального состава, особенно для проб, отобранных на разных плесах. Минеральный состав ДО является одним из главных факторов, определяющих их сорбционную способность, гидрофильность и ионный обмен. Этими свойствами в наибольшей мере отличаются глинистые минералы, поскольку они характеризуются высокой удельной поверхностью и кристаллохимическим строением базальных поверхностей и боковых сколов. Как известно, удельная поверхность определяется суммарной поверхностью всех кристаллографических плоскостей в минерале, доступных для дисперсионной среды.

Изучение минерального состава ДО проводилось методом рентгеновской дифрактометрии на кафедре инженерной и экологической геологии МГУ им. М.В. Ломоносова. Результаты исследований показали, что минеральный состав ДО достаточно однороден и соответствует продуктам размыва ледни-

ковых отложений. В песчаной фракции преобладает кварц, в значительно меньшей степени представлены полевой шпат (микроклин), роговая обманка и альбит. Глинистая фракция (< 0,002 мм) представлена иллитом, гидрослюдой, каолинитом и хлоритом. В образцах, отобранных в районе г. Осташкова, отмечено значительное содержание кальцита (8...9%), возможно, техногенного происхождения. То есть «неоднородность» минерального состава ДО не должна сказываться на уровне загрязненности проб.

Основное внимание при отборе проб ДО было уделено Осташковскому (Городскому) плесу, который испытывает максимальную техногенную нагрузку от Осташковского промузла, а также западному берегу, вдоль которого расположены многочисленные турбазы и «дикие стоянки» автотуристов, использующих единственное шоссе с асфальтовым покрытием: Осташков – Хитино – Ботово – Нов. Ельцы – Свапуще – Залучье. (рис. 1, табл. 2).



**Рис. 1.** Схематическая карта озера Селигер и точки отбора проб ДО в 2000 г.

**Fig. 1.** Map of the Lake Seliger and sampling points of bottom sediments in 2000

Таблица 2. Группировка проб донных отложений по плесам

Table 2. Grouping of samples of bottom sediments at water areas

Акватория	Номер пробы	
	2000 г.	2004 г.
Березовский плес	17, 18	27, 6, 5, 20, 11, 12, 10
Городской плес (западная часть)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13	3, 31, 15, 8, 9, 32, 29, 22, 14, 30
То же (восточная часть)	14, 15, 16, 19	34, 19, 26, 13
То же (монастырская часть)	-	1, 7
Селижаровский плес	20, 21, 22, 23, 24, 25	18, 35, 25, 17, 23
Ботовский залив	7, 8	28

По техническим возможностям в 2004 г. дополнительно удалось отобрать пробы в Березовском плесе (пробы № 5, 20, 11, 12, 10), в глубоководной части Городского плеса (проба № 9) и у восточного берега вблизи Нило-Столобенской пустыни (пробы № 1 и 7) (табл. 2).

Определение концентраций ТМ в пробах ДО проводилось атомно-адсорбционным методом после их разложения «царской водкой» в Институте геохимии окружающей среды Гейдельбергского университета (ФРГ). Данная методика и решение ряда методических проблем, неизбежно возникающих при изучении ДО, неоднократно публиковались [5,6,9], поэтому в данной работе они не приводятся. Результаты изучения загрязненности

ДО озера Селигер ТМ показали, что концентрации их во фракции <0,02 мм варьируют в следующих пределах: Cd – от 0,17 до 0,80 мг/кг; Pb – от 8,7 до 193,8; Hg – от 0,09 до 1,07; Zn – от 77,2 до 294,2 мг/кг. По этим данным построена карта-схема загрязненности ДО озера Cd, Pb, Zn и Cr (рис. 2).

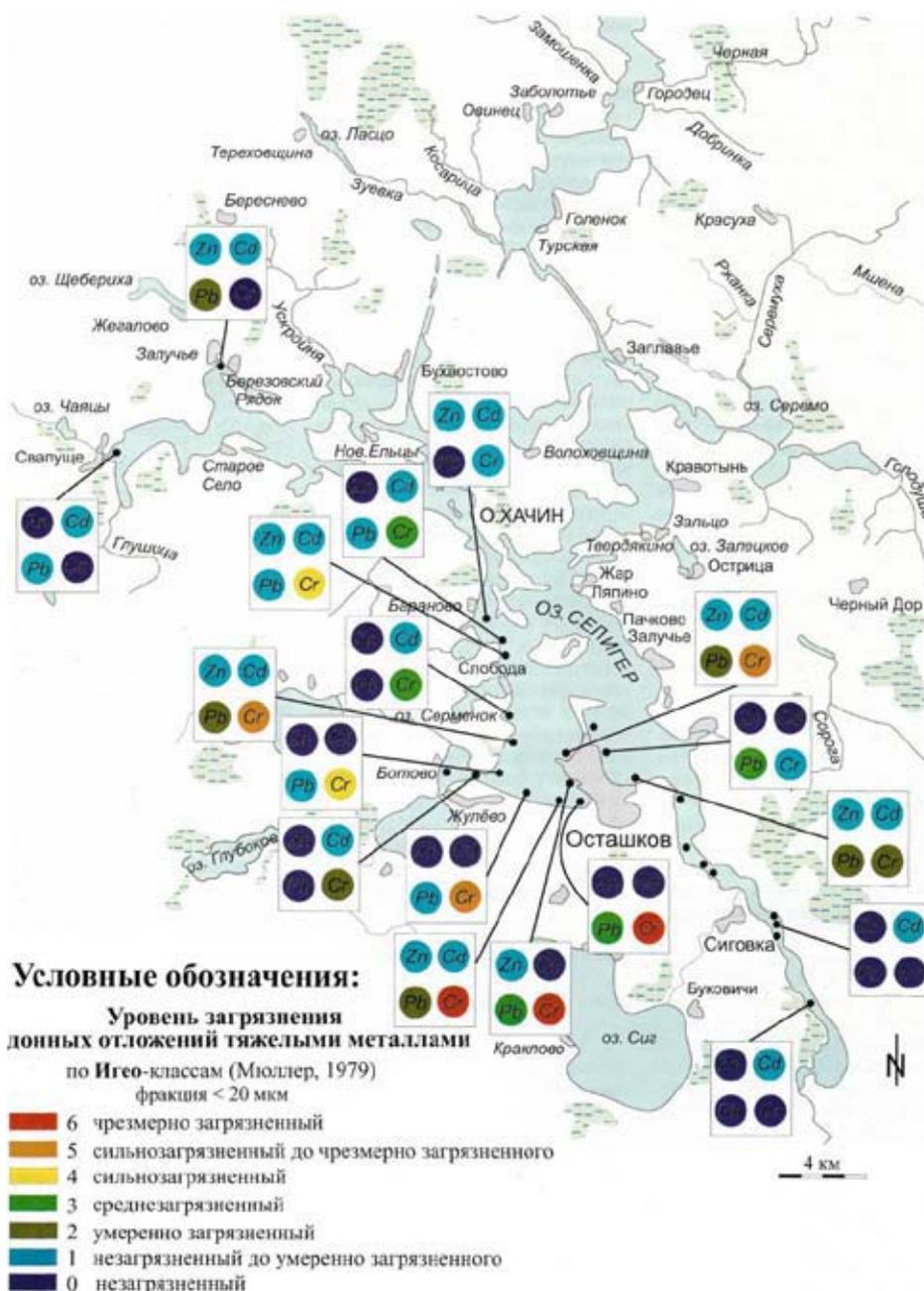


Рис. 2. Загрязнение донных отложений озера Селигер (Тверская область) цинком (Zn), кадмием (Cd), свинцом (Pb) и хромом (Cr) в 2000 г.

Fig. 2. Contamination of bottom sediments of the Lake Seliger with zinc (Zn), cadmium (Cd), lead (Pb) and chromium (Cr) in 2000

Базовым исследованием было определение концентраций четырех ТМ 1-го класса опасности: Cd, Pb, Hg, Zn. Также было изучено загрязнение ДО элементами 2-го класса опасности: хромом (Cr), медью (Cu), никелем (Ni).

В соответствии с принятой методикой уровень загрязнения ряда проб вдоль западного берега (№ 1, 4 и 6) может быть охарактеризован 1-м Игео-классом по свинцу и по цинку (проба № 1), что обусловлено загрязнением ДО топливно-смазочными материалами в связи с наличием большого числа стоянок автотурристов, а также маломерных судов. Отложения Березовского плеса (пробы № 17 и 18) и Ботовского залива (пробы № 7 и 8) характеризуются содержанием ТМ на уровне их фоновых значений.

Наибольшее загрязнение ДО характерно для акваторий, прилегающих к г. Осташкову. Максимальный уровень его отмечается по Pb: пробы, отобранные у кожевенного завода и в акватории речного порта (соответственно № 12 и 15), характеризуются 3-м Игео-классом, а у промплощадки и нефтебазы (№ 11 и 13) – 2-м Игео-классом. Загрязнение Zn вокруг Осташкова и в Селижаровском плесе (пробы № 23, 24 и 25) стабильно – на уровне 1-го Игео-класса; загрязнение Cd – отмечено только в двух точках: у нефтебазы (проба № 13) и в Селижаровском плесе (проба № 24) – на уровне 0,6 мг/кг, что соответствует 1-му Игео-классу. Не отмечено какое-либо загрязнение ДО ртутью. Содержание Hg во фракции <0,02 мм находится на уровне фоновых значений, кроме одной пробы (№ 15), взятой у речного вокзала г. Осташкова.

Нашими исследованиями установлены аномально высокие концентрации валового Cr в сорбирующей фракции, что обусловлено спецификой промышленного производства города (основное промышленное предприятие – кожевенный завод). Хотя Cr относится лишь к элементам 2-го класса опасности по ГОСТу [9], чрезмерное его накопление в воде и ДО озера может губительно сказываться на биоте.

Концентрации валового Cr в ДО озера варьируют в следующих пределах: от 21,5 до 12 717,1 мг/кг. Максимальные значения характерны для акватории озера, прилегающей к промзоне города. В соответствии с принятой методикой уровень загрязнения ДО хромом (пробы № 11, 12 и 10) может быть охарактеризован 6-м Игео-классом. Это мак-

симальные значения содержания валового хрома, когда-либо зафиксированные за всю 12-летнюю практику подобных исследований в бассейне Верхней Волги. Загрязнение Cr прослеживается на всей западной части Осташковского плеса, в точках 13 и 9 оно еще на уровне 5-го Игео-класса. Минимальные его значения (на уровне геохимического фона) характерны для Ботовского залива (пробы № 7 и 8), Березовского (пробы № 17 и 18) и Селижаровского (пробы № 23–25) плесов.

Базовым исследованием, как и в 2000 г., было определение концентраций четырех ТМ I класса опасности: Cd, Pb, Hg и Zn, используемых для классификации загрязнения ДО и оценки уровня техногенной нагрузки [11]. Также было изучено загрязнение осадков элементами II класса опасности: Cr, Cu, Ni.

В 2004 г. содержание ТМ в ДО составило: Cd – от 0,34 до 1 мг/кг; Pb – от 7 до 157; Hg – от 0,06 до 3,76; Zn – от 59 до 324 мг/кг. За эти годы несколько увеличилась загрязненность ДО также Cd и Hg, но по Pb и Zn остается довольно стабильной.

С использованием этих данных составлены компьютерные карты загрязненности ДО озера Селигер Cd, Zn, Pb и Cr по состоянию на 2000-й и 2004 гг. приведены на рисунках 2 и 3.

Серии подобных карт позволят адекватно оценивать техногенную нагрузку на озерные экосистемы и динамику ее изменения, а также выявлять и ранжировать неблагоприятные в экологическом отношении территории.

В соответствии с принятой методикой уровень загрязнения ДО по Pb вдоль западного берега может быть охарактеризован 1-м (пробы № 29, 32, 8 и 3) и 2-м Игео-классом (проба № 31). Также 2-м классом характеризуется загрязненность глубоководной части Городского плеса (проба № 9).

Это обусловлено возрастанием рекреационной нагрузки на акваторию озера (из-за наличия большого числа турбаз и стоянок автотурристов), а также в результате загрязнения ТСМ от маломерных судов, использования этилированного бензина. По Zn лишь отдельные пробы показывают загрязнение на уровне 1-го Игео-класса (пробы № 28, 26, 30 и 23). Отложения Березовского плеса характеризуются содержанием ТМ на уровне их фоновых значений, только отдельные пробы показывают слабое загрязнение Pb и Cd.

Наибольшее загрязнение ДО, как и в 2000 г., характерно для акваторий, прилегающих

к г. Осташкову. Среди элементов I класса опасности максимальное загрязнение наблюдается по Pb: пробы, отобранные у кожевенного завода и в акватории речного порта (соответственно № 14 и 19), характеризуются 3-м Игео-классом. Несколько возросло загрязнение Zn в районе промышленной зоны Осташкова – 2-й Игео-класс. Загрязнение Cd вокруг Осташкова и в Селижаровском плесе находится на уровне 1-го Игео-класса, только проба № 22 характеризуется аномальными значениями на уровне 3-го Игео-класса (рис. 3).

Как и в 2000 г., в 2004 г. сохраняются аномально высокие концентрации валового Cr

в районе промышленной зоны и кожевенного завода г. Осташкова: уровень загрязнения ДО по Cr может быть охарактеризован 6-м Игео-классом (пробы № 14 и 22). Интересно отметить, что максимальные значения концентраций Cr, полученные в эти годы разными методами, практически совпадают и равны соответственно 12 717,1 и 12 158 мг/кг. Концентрации валового Cr во фракции менее 0,02 мм в 2004 г. варьировали от 27 до 12 158 мг/кг. Пробы вдоль западного побережья и в глубоководной части Городского плеса характеризуются 3-м и 4-м Игео-классами, а вдоль восточного побережья – 2-м. Загрязнение Cr

не отмечается в Березовском и Селижаровском плесах (рис. 3).

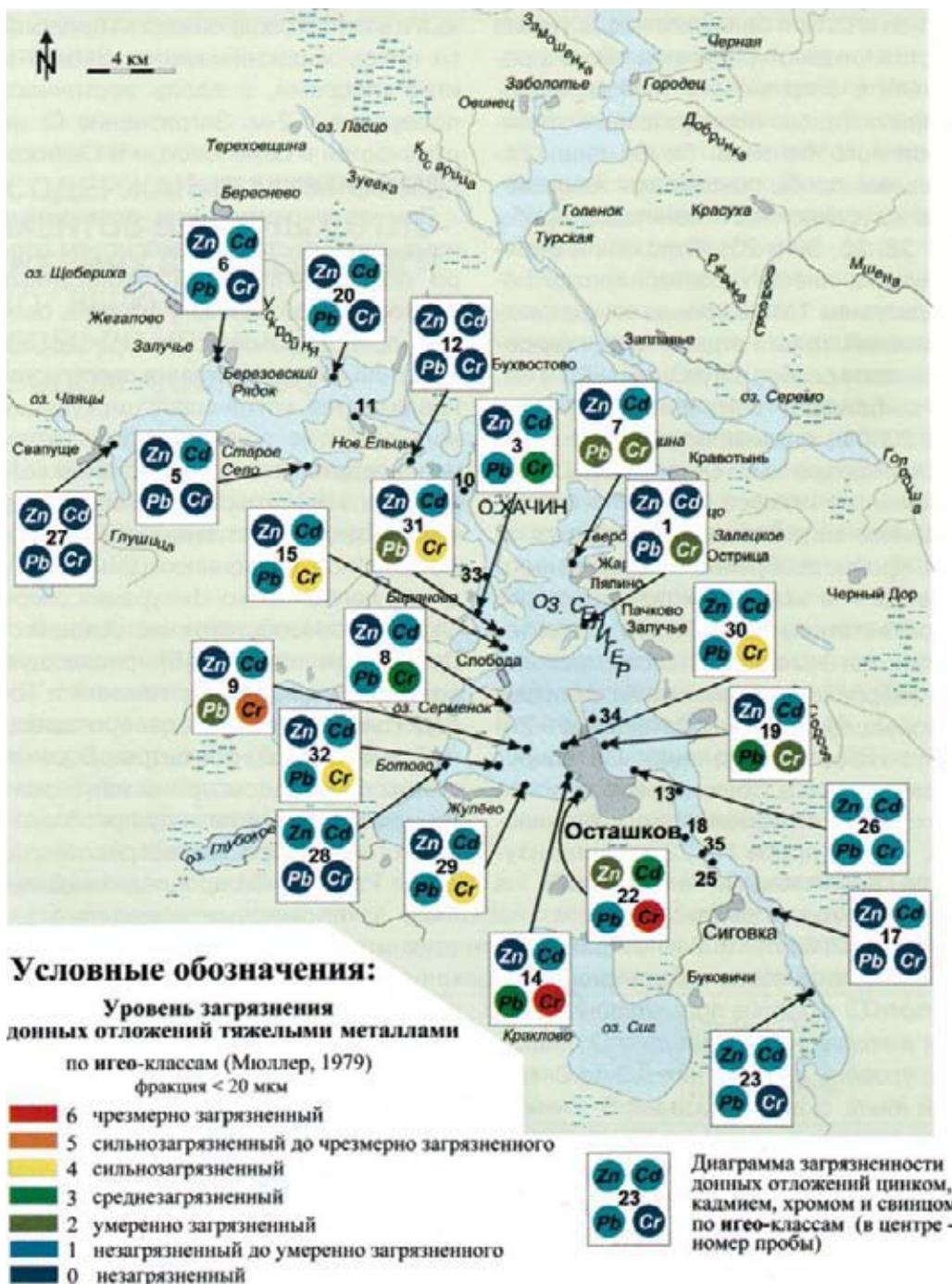


Рис. 3. Загрязнение ДО озера Селигер Zn, Cd, Pb и Cr в 2004 г.

Fig. 3. Contamination of bottom sediments of the Lake Seliger with zinc (Zn), cadmium (Cd), lead (Pb) and chromium (Cr) in 2004

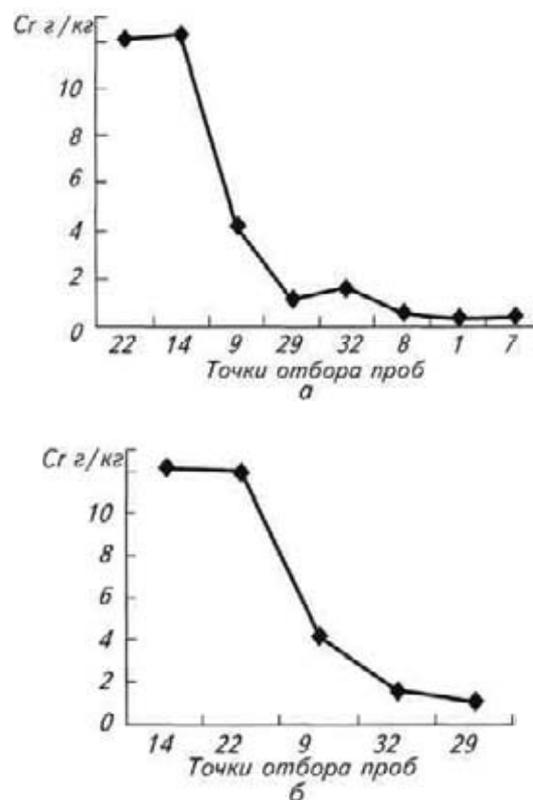
При прогнозировании возможных изменений состояния экосистем озера под воздействием техногенных факторов необходимо учитывать особенности динамических процессов. В летний период, когда на озере устанавливается устойчивая циркуляция вод, развитие течений определяется непосредственным воздействием ветра на его поверхность [6]. Весь спектр течений формируется на фоне крупномасштабной циклонической циркуляции, а лопастная конфигурация озера Селигер способствует ее усилению. По данным авторов [4], решающую роль в формировании течений в Городском плесе играют северо-западный и юго-западный ветры. В связи с этим были рассмотрены изменения концентраций ТМ по ходу преобладающих течений при этих ветрах.

Для Pb, Zn и Cd проследить какие-либо закономерные изменения затруднительно. Это можно объяснить многочисленностью и разнообразием источников этих металлов (маломерный флот, турбазы, автомобильный транспорт и др.), а также близкими к норме значениями. Максимальное поступление Cr в ДО идет в основном из одного источника – промышленной зоны Осташкова (Городской плес, западная часть); распределение его концентраций по ходу основных течений носит вполне закономерный характер (рис. 4).

При северо-западном ветре в южной части плеса формируются циклонические течения, способствующие перераспределению Cr из района промышленной зоны (пробы № 14 и 22) в глубоководную (№ 9) и южную (№ 32 и 29) части плеса. При юго-западном ветре формируется течение, способствующее перераспределению Cr к западному берегу в район пос. Слобода. Севернее поселка (проба № 15) это течение раздваивается к деревне Бараново (№ 31 и 3) и к Нило-Столобенской пустыни (№ 1 и 7). При этом в районе Бараново формируется геохимическая аномалия с концентрациями Cr в ДО на уровне 4-го Игео-класса, а у Нило-Столобенской пустыни – на уровне 2-го.

Наличие постоянного источника Cr и системы течений в Городском плесе создают опасность загрязнения рекреационных зон озера, которые, казалось бы, удалены на достаточно большое расстояние от него. Продолжающееся же загрязнение экосистем озера Cr на таком высоком уровне может привести

к тому, что умеренное загрязнение на этих участках может перейти в сильное.



**Рис. 4.** Распределение Cr в ДО озера Селигер (Городской плес, западная часть) по ходу основных течений: а, б – соответственно при юго-западном и северо-западном ветрах

**Fig. 4.** Distribution of Cr in the western part of the Lake Seliger along the main currents: а, b – respectively at the south-west and north-west winds

## Заключение

Исследования загрязненности озера Селигер в 2000 и 2004 гг. показали, что ДО является наиболее приемлемым индикатором оценки загрязнения водных экосистем, не требующим трудоемких и дорогостоящих режимных наблюдений. С достаточной для практики точностью допустимо нивелировать различия в гранулометрическом составе ДО путем выделения «сорбирующей» фракции ( $d < 0,02$  мм). Выделение данной фракции позволяет не только определять неблагоприятные в экологическом отношении места, но и объяснять формирование геохимических аномалий в ДО акваторий, удаленных на большие расстояния от источника. Формирование этих аномалий хорошо согласуется с особенностями гидроди-

намики озера (наличием устойчивых течений при преобладающих ветрах).

За четырехлетний период не произошло улучшения экологической ситуации. Техногенная нагрузка на водные экосистемы Селигера, оцененная по содержанию ТМ I класса опасности, является слабой, в акваториях г. Осташкова – умеренной. Загрязнение ДО Сг является «болевым точкой» озера. Аномальное его содержание в ДО характерно для Городского плеса, что обусловлено спецификой промышленности города. Загрязнение Сг здесь классифицируется как сильное и даже чрезмерное. При этом следует еще раз подчеркнуть, что максимальные значения концентраций Сг в 2000-м и 2004 гг. практически совпадают, но среднее значение уменьшилось на 19%. Хотя Сг относится к химическим элементам II класса опасности, его мониторингу следует уделять особое внимание. Поступая в организм человека по трофическим цепям, с водой, он может способствовать развитию рака легких, злокачественным образованиям в желудочно-кишечном тракте, дерматитам.

Стабильно хорошее экологическое состояние характерно для ДО Березовского и Селижаровского плесов. Тем не менее средние значения концентраций ТМ в отложениях Селижаровского плеса несколько возросли.

Проведенные работы впервые позволили охарактеризовать загрязненность ДО озера Селигер с современных позиций изучения песчано-глинистых дисперсных систем. Главные результаты этих работ могут быть кратко резюмированы следующим образом:

1. Техногенная нагрузка на водные экосистемы озера, оцененная по содержанию ТМ 1-го класса опасности в сорбирующей фракции донных отложений, является слабой или малоопасной.
2. Умеренная нагрузка на водные экосистемы отмечена только по Рb у г. Осташкова (2-й и 3-й Игео-классы).
3. Аномальные значения содержания ТМ в сорбирующей фракции характерны только для валового Сг, что обусловлено спецификой промышленности города.

### Библиографический список

1. *Даувальтер В.А.* Концентрации тяжелых металлов в донных отложениях озер Кольского полуострова как индикатор загрязнения водных экосистем // Проблемы химического и биологического мониторинга экологического состояния водных объектов нашего Севера. – Апатиты, 1993.
2. *Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И., Ильина Т.А. и др.* Загрязнение водных экосистем озера Селигер тяжелыми металлами // Мелиорация и водное хозяйство. – 2004. – № 5. – С. 43–46.
3. *Коломийцев Н.В., Ильина Т.А., Киселева О.Е., Иванов Г.Н.* Тяжелые металлы в донных отложениях озера Селигер // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 5. – С. 21–25.
4. *Косов В.И., Косова И.В.* Экология оз. Селигер. – Тверь: Булат, 2001. – 343 с.
5. *Mueller G.* Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veraenderungen seit 1971 // Umschau 79, 1979. – Н. 24. – S. 778–783.
6. *Ackermann F.* A Procedure for Correcting the Grain Size Effect in Heavy Metal Analysis // Environmental Technology. – 1980. – Lett. 1. – P. 518–527.
7. *Turekian K.K., Wedepohl K.H.* Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust // Geological Society of America, Bulletin. – 1961. – Vol. 72. – P. 175–192.
8. ГОСТ 17.4.1.02-82. Охрана природы. Почвы (ОПП). Классификация химических веществ для контроля загрязнения. Введен 01.01.1985 (без ограничения).
9. *Коломийцев Н.В., Райнин В.Е., Ильина Т.А. и др.* Исследования загрязненности донных отложений как основа мониторинга состояния водотоков // Мелиорация и водное хозяйство. – 2001. – № 3. – С. 11–15.
10. Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: МГУ, 2000. – 432 с.
11. *Коломийцев Н.В., Ильина Т.А., Зимица-Шалдыбина Л.Б.* Загрязнение донных отложений как характеристика техногенной нагрузки на водные экосистемы // Современные проблемы мелиорации и пути их решения. – М.: ВНИИГиМ, 1999. – Т. 2. – С. 103–119.

УДК 622.83.023.4:624.121

### **Зюзин Б.Ф.**

Зюзин Борис Федорович, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой торфяных машин и оборудования Тверского государственного технического университета. zbftru@yandex.ru

### **Юдин С.А.**

Юдин Сергей Алексеевич, аспирант кафедры торфяных машин и оборудования

## **ОБОБЩЕННЫЙ ИНВАРИАНТ ПРОЧНОСТИ ТОРФЯНЫХ СТРУКТУР**

*Аннотация.* Предлагается использовать критерий предельного состояния в качестве обобщенного инварианта оценки прочности торфяных структур. Дан анализ статистической прочности различных видов торфа.

*Ключевые слова:* инвариант прочности, торфяные структуры, круги Мора.

### **Zyuzin B.F.**

Zyuzin Boris F., Dr. Sc., Professor, Head of the Chair of Peat Machinery and Equipment of the Tver State Technical University. zbftru@yandex.ru

### **Yudin S.A.**

Yudin Sergey A., graduate student of the Chair of Peat Machinery and Equipment of the Tver State Technical University

## **GENERALIZED INVARIANT OF PEAT STRUCTURES STRENGTH**

*Abstract.* It is proposed to use the limit state criteria as a generalized invariant for estimation of strength of peat structures. The statistical analysis of strength of different types of peat has been made.

*Keywords:* invariant strength, peat structure, Mohr's circles.

**Ц**ель научного познания – качественно понять причинно-следственную взаимосвязь в конкретном объекте или явлении и найти математическую модель для точного ее количественного анализа.

Плавную и непрерывную физическую взаимосвязь математически моделируют аналитической функцией  $y = f(x)$ .

Математическая модель нужна для точного и простого предсказания поведения объекта в различных ситуациях.

В последнее время в научные исследования все шире внедряются соображения и методы, использующие свойства инвариантности математических и физических закономерностей относительно выбора для употребляемых характеристик явлений, единиц измерения и физических масштабов явлений.

По утверждению академика *Л.И. Седова*, «можно говорить о некоторой аналогии между теорией размерности и подобия и геометрической теорией инвариантов относительно преобразований координат – фундаментальной теорией для современной математики и физики» [1].

Методы теории размерности и подобия играют особенно большую роль при моделировании различных явлений. Всякое изучение явлений природы начинается с установления простейших опытных фактов, на основе которых можно формулировать законы, управляющие исследуемым явлением, и записать их в виде некоторых математических соотношений.

Различные природные объекты объединяет единство их предельных состояний, как некий физический принцип гармонии развития.

Простые геометрические образы могут служить универсальными моделями отражения структурных преобразований, происходящих в природных объектах под действием внешних факторов.

Положения теории предельных состояний являются этапом развития синтетической теории прочности, предложенной академиком *Е.И. Шемякиным* [2].

Согласно синтетической теории прочности, существуют три инварианта предельных состояний:

$$I_1 = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2; I_2 = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2;$$

$$I_3 = (\sigma_1 - I_2) / I_1.$$

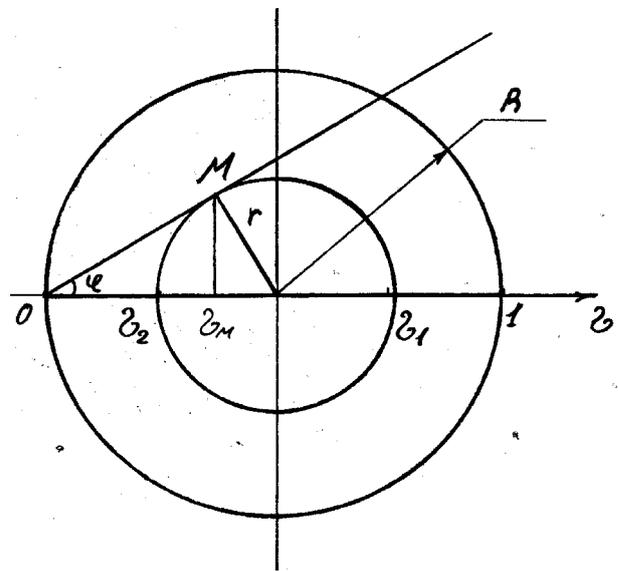
Первый инвариант описывает действие максимального касательного напряжения

на наклонной площадке и, соответственно, скольжения по ней.

Второй инвариант – действие нормального напряжения на наклонной площадке, которое оказывает сопротивление проскальзыванию.

Третий инвариант – параметр Лодэ–Надаи, описывающий не только вид напряженного состояния и влияние второго главного напряжения, но и вид наклонных площадок, по которым происходит скольжение.

Достоинством такого подхода является возможность представления напряженно-деформированного состояния для различных материалов на основании обобщенной диаграммы Мора (рис. 1), где  $I_1 = r$ ,  $I_2 = R$ ,  $I_3 = (\sigma_2 - R) / r$ .



**Рис. 1.** Геометрическое отображение инвариантов по схеме кругов Мора

**Fig. 1.** Geometric scheme of invariants on the principle of Mohr's circles

Предлагается ввести четвертый инвариант или критерий предельного состояния [3], качественно дополняющий основные инварианты в синтетической теории прочности, равный  $I_4 = K_p = (I_1 / I_2) / [(I_1 - I_1)]$ .

При нормировке  $\sigma_1 = 1$  получаем следующее выражение для  $K_p$ :

$$K_p = \sigma_3 (1 - \sigma_3) / (1 + \sigma_3),$$

где  $(1 - \sigma_3) / (1 + \sigma_3) = \sin \varphi$  – синус угла внутреннего трения – наклона касательной к окружности в т. М.

На рис. 2 видно, что максимумы частных предельных кривых лежат на общей предель-

ной огибающей функции, которая является геометрическим местом предельных состояний, предложенного критерия.

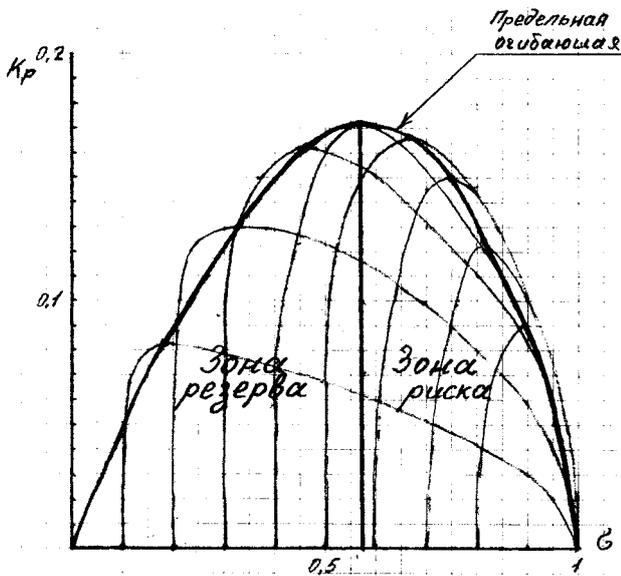


Рис. 2. Предельный инвариант прочности

Fig. 2. The limiting invariant of strength

Пластические деформации грунта (в области между пределом упругости и пределом прочности) образуются в основном в результате нарушения существующих и возникновения новых связей в структуре грунта.

Пока этот процесс способен повышать сопротивляемость структуры, грунт может найти новые формы равновесия между внешними и внутренними силами.

При этом напряженно-деформированное состояние изучается и определяется для области упрочнения грунта, находящегося в условно равновесном состоянии для каждого нагружения.

Здесь мы можем говорить об устойчивости сопротивления к грунту, находящемуся за пределом его прочности.

Исчерпав резервы прочности структурного сложения в заданных условиях своего сопротивления возрастающим силам, грунт разрушается под их действием.

Для рассматриваемой разновидности грунтов с преобладающей пластической деформацией наступает предел прочного сопротивления, характеризуемый течением грунта с прогрессирующими скоростями.

Этот предел является заключительным состоянием процесса деформации в области упрочнения.

Данное представление устанавливает прямую функциональную связь между пластической деформацией структуры и прочностью отдельных элементов структурной решетки.

Многие исследователи предполагают, что разрушение структуры, определяющее пластическую деформацию во всей области упрочнения (включая и предельное по прочности состояние), подчиняется единому закону прочности.

Для грунтовой среды большое распространение получила теория прочности Мора, удовлетворительно решающая ряд задач механики грунтов.

По теории прочности Мора разрушение грунта наступит при некотором соотношении между главными напряжениями  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ , определяемом выражением  $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2 = F [(\sigma_1 + \sigma_3) / 2]$ .

В общем случае огибающая кругов Мора для предельного состояния по прочности представляет собой кривую линию, графически представляющую зависимость касательных напряжений от нормальных  $n$  в предельном по прочности состоянии для некоторой плоскости, нормальной к плоскости главных напряжений  $\tau_{пред} = \psi(\sigma_n)$ .

Данная зависимость во многих случаях в некотором диапазоне изменения напряжений является линейной или может быть принята линейной с достаточной степенью точности  $\tau_{пред} = m\sigma_n + c$ .

Для пространственного напряженного состояния условно и произвольно принимается, что при достижении предела прочности наступает состояние предельного напряженного состояния по некоторым площадкам, наклоненным под углом  $\pi / 4 - \theta_{макс} / 2$  к направлению главного максимального нормального напряжения, причем в этом предельном случае  $\theta_{макс}$  равняется некоторому углу  $\varphi$  – углу внутреннего трения торфа, тангенс которого равен угловому коэффициенту  $m$ .

Формальное сопоставление условия предельной прочности по Мору с законом Кулона приводит к физическому толкованию коэффициентов  $m$  и  $c$ , как тангенс угла внутреннего трения  $\varphi$  и удельного сцепления  $c$ .

Однако такое толкование, как известно, в общем случае следует рассматривать лишь как математическое отображение, что принято в механике грунтов.

В табл. 1 приведены статистические показатели для различных видов торфа.

Таблица 1. Основные статистические показатели прочности различных видов торфа [4]

Table 1. Basic statistical indices of the strength of the different types of peat [4]

Вид и тип торфа	Сопротивление сдвигу $\tau$ , кПа			$\Pi_K$	$K_P$
	мин.	макс.	сред.		
Сосново-верховой	5,2	20,0	11,0	0,51	<b>0,153</b>
Сосново-пушицевый	5,0	16,4	10,9	0,55	<b>0,162</b>
Сосново-сфагновый верховой	3,0	28,0	9,7	0,33	<b>0,086</b>
Пушицевый верховой	3,5	22,0	10,8	0,40	<b>0,115</b>
Шейхцеревый верховой	3,0	23,0	11,5	0,36	<b>0,100</b>
Пушицево-сфагновый верховой	3,0	18,0	9,4	0,41	<b>0,119</b>
Шейхцерицево-сфагновый верховой	6,2	18,5	11,6	0,58	<b>0,167</b>
Фускум торф верховой	4,6	25,0	13,5	0,43	<b>0,127</b>
Магелланикум торф	3,7	22,0	10,2	0,41	<b>0,120</b>
Комплексный верховой	6,0	15,0	9,0	0,63	<b>0,171</b>
Сфагновый мочажинный верховой	6,0	26,0	16,8	0,48	<b>0,144</b>
Древесно-переходный	5,0	28,0	15,0	0,42	<b>0,125</b>
Древесно-осоковый переходный	7,7	26,0	14,3	0,54	<b>0,156</b>
Древесно-травяной переходный	5,1	24,6	12,1	0,45	<b>0,136</b>
Древесно-сфагновый переходный	3,0	27,0	12,7	0,33	<b>0,089</b>
Шейхцерицевый переходный	4,2	24,0	13,5	0,42	<b>0,123</b>
Осоковый переходный	6,8	24,6	13,0	0,53	<b>0,157</b>
Осоковый сфагновый переходный	4,7	27,0	12,1	0,42	<b>0,123</b>
Травяно-сфагновый переходный	5,0	15,0	10,0	0,58	<b>0,167</b>
Шейхцерицево-сфагновый переходный	7,0	17,0	10,1	0,64	<b>0,172</b>
Осоково-гипновый переходный	6,8	14,3	10,8	0,69	<b>0,169</b>
Гипновый переходный	8,9	22,2	13,7	0,63	<b>0,171</b>
Сфагновый переходный	6,8	17,0	11,0	0,63	<b>0,171</b>
Древесный низинный	9,0	33,0	19,3	0,52	<b>0,156</b>
Древесно-осоковый низинный	7,0	36,0	17,4	0,44	<b>0,131</b>
Древесно-сфагновый низинный	8,0	28,0	18,4	0,53	<b>0,159</b>
Осоковый низинный	6,0	36,0	17,0	0,41	<b>0,119</b>
Осоково-гипновый низинный	5,9	24,0	13,4	0,50	<b>0,149</b>
Гипновый низинный	6,0	28,0	15,0	0,46	<b>0,139</b>

Примечание: мин. – минимальное значение, макс. – максимальное значение, сред. – среднее значение,  $\Pi_K$  – структурный показатель,  $K_P$  – инвариант прочности торфяной структуры.

Прогнозная оценка предельных состояний [1] позволяет ввести ряд критериев на основании статистических данных исследований.

На рис. 3 приведена исходная линейная оценочная схема, которая устанавливает минимальное количество экспериментальных параметров, подлежащих обобщению.

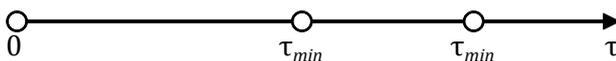


Рис. 3. Схема статистической оценки прочности

Fig. 3. Scheme of statistical evaluation of the strength

В табл. 1 и на рис. 4 приведены расчетные значения показателей предельного состояния, основными являются следующие:

- обобщенный инвариант прочности торфяной структуры

$$K_P = (\tau_{min} / \tau_{max}) [(\tau_{max} - \tau_{min}) / (\tau_{max} + \tau_{min})];$$

- структурный показатель

$$\Pi_K = \sqrt{(\tau_{min} / \tau_{max})}.$$



Рис. 4. Предельный инвариант прочности различных видов торфа

Fig. 4. The limiting invariant of the strength of the different types of peat

1. Диапазон изменения физико-механических характеристик различных видов торфа соответствует области их пластического состояния при  $0,3 < P_k < 0,7$ .
2. Предельному значению обобщенного инварианта прочности торфяных структур соответствует условие  $K_p \rightarrow \max \rightarrow 0,1715...$
3. Верховым видам торфа соответствует область при  $P_k < 0,45$ , переходным –  $0,45 < P_k < 0,55$ , а низинным –  $P_k > 0,55$ .

Полученные данные могут быть использованы при прогнозировании предельных состояний в нелинейно механике органо-минеральных грунтов.

#### Библиографический список

1. Прогнозирование предельных состояний в нелинейной геомеханике / Б.А. Богатов, В.А. Миронов, Б.Ф. Зюзин, В.Н. Лотов. – Мн.: Изд-во ОО БГА, 2000. – 340 с.
2. *Шемякин Е.Н., Тутурин С.В., Короткина М.Р.* Разрушение древесины при сжатии // Вестник Московского государственного университета леса. – М.: МГУЛ, 2005. – № 3 (39). – С. 56–71.
3. *Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Епишев А.И.* Инварианты предельных состояний в задачах геомеханики. Тенденции и современные подходы // Горный информационно-аналитический бюллетень.– М.: МГТУ, 2006. – № 12. – 39 с.
4. *Амарян Л.С.* Свойства слабых грунтов и методы их изучения. М.: Недра, 1990. – 220 с.

УДК 622.23.05:622.7

**Фомин К.В.**

Фомин Константин Владимирович, д. т. н., заведующий кафедрой механизации природообустройства и ремонта машин Тверского государственного технического университета (ТГТУ). fomin\_tver@mail.ru

## **МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТОРФЯНЫХ ФРЕЗЕРУЮЩИХ АГРЕГАТОВ**

*Аннотация.* В статье предложена методика выбора оптимальных параметров и режимов работы торфяных фрезерующих агрегатов на стадии проектирования.

При этом учитывается большое число требований, имеющих противоречивый характер. Они разделены на несколько групп, связанных с обеспечением минимума энергоемкости рабочего процесса, минимума уровня воздействия со стороны рабочего органа и динамических нагрузок в элементах привода. Дана постановка задач выбора оптимальных параметров торфяных фрезерующих агрегатов и разработаны подходы к их решению.

Представленный материал может оказаться полезным при модернизации существующих и проектировании новых торфяных фрезерующих агрегатов.

*Ключевые слова:* фрезерующие агрегаты, оптимальные параметры, элементы привода, снижение динамических нагрузок.

**Fomin K.V.**

Fomin Konstantin V., Dr. Sc., Head of the Chair of Environmental Mechanization and Repair of Machines of the Tver State Technical University. fomin\_tver@mail.ru

## **THE METHOD OF CHOOSING THE OPTIMAL PARAMETERS AND OPERATING MODES OF PEAT MILLING UNITS**

*Abstract.* In the article a methodology of choosing the optimal parameters and operation modes of peat milling units on the stage of planning has been offered. The large number of contradictory requirements has been taken into account. They are divided into a few groups by the criteria of the minimum of power consumption of operating process, the minimum of influence of operating unit and dynamic load in the elements of drive. Tasks of choice of optimal parameters of peat milling units have been formulated and ways for their decision have been worked.

The presented material can be useful during modernization of existing and designing new peat milling units.

*Keywords:* milling units, optimal parameters, elements of drive, decline of the dynamic loading.

Одним из путей повышения эффективности проектирования торфяных фрезерующих агрегатов является применение методов оптимизации. При этом необходимо учитывать большое число требований, как правило, имеющих противоречивый характер. Их можно подразделить на несколько групп, связанных с обеспечением минимума энергоемкости рабочего процесса и максимально возможной производительности агрегата, требованиями к качеству получаемой продукции, минимальной металлоемкости привода и элементов конструкции агрегата, надежности его работы.

Каждой группе соответствуют свои наборы критериев качества и системы ограничений, обеспечивающих их физическую реализуемость синтеза. В таком виде задача выбора оптимальных параметров, удовлетворяющих заданным критериям качества, может быть решена методами многокритериальной оптимизации [1, 2], применение которых, как правило, связано с формированием обобщенного критерия, или с использованием методов, основанных на анализе характера связанности и значимости критериев, позволяющих получить компромиссный вариант. Решение данной задачи во всем пространстве варьируемых параметров с учетом всех критериальных условий является достаточно сложным процессом, требующим значительных затрат ресурсов и машинного времени. Ее можно упростить, используя процедуру декомпозиции [1], то есть разбивая сложную систему на несколько простых, как независимых, так и связанных между собой подсистем, а саму задачу решать, разбив ее на отдельные этапы в соответствии с выделенными группами требований.

### Обеспечение минимума энергоемкости рабочего процесса

В [3] рассмотрены основные принципы построения моделей оптимизации машин по добыче фрезерного торфа, где предложен критерий, выражающий взаимосвязь энергетических, кинематических характеристик процесса фрезерования с технологическими показателями, определяющими требования к данной операции

$$\mathcal{E} = \frac{A P_c}{Q_c P_n} \rightarrow \min,$$

где  $A$  – удельная работа фрезерования, кДж/м<sup>3</sup>;  $P_c$  – производительность фрезера м<sup>3</sup>/с;  $Q_c$  – количество торфа в расстиле, т/га;  $P_n$  – производительность фрезерного агрегата, га/ч.

В качестве ограничений используются параметры и функциональные соотношения, которые задают область технически допустимых факторов, необходимые требования к качеству готовой продукции и ряд дополнительных требований, предъявляемых к характеристикам технологического процесса фрезерования.

Для машин по добыче кускового торфа задача оптимизации может быть сформулирована следующим образом: определить такие характеристики ступеней переработки и режимы их работы, которые обеспечивают минимум суммарной удельной энергоемкости

$$e_0 = \sum_{n=1}^N \left( \frac{\tau_n}{tg\psi_n} + a_n k_{cn} \left( \exp\left(\frac{S_n}{S_{n-1}}\right) - 2,71 \right) \right) \rightarrow \min,$$

где  $e_0$  – суммарная энергоемкость переработки торфа;  $N$  – число ступеней переработки;  $\tau_n$  – предельное напряжение сдвига торфа на входе в  $n$ -ю ступень;  $\psi_n$  – угол наклона плоскости сдвига торфа на входе в  $n$ -ю ступень;  $a_n$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от физико-механических свойств торфа на входе в  $n$ -ю ступень [3];  $k_{cn}$  – среднее значение коэффициента сопротивления деформирования для  $n$ -й ступени [3];  $S_n$  – удельная поверхность торфа после переработки в  $n$ -й ступени (при  $n = 1$  значение  $S_{n-1}$  соответствует удельной поверхности торфяной залежи) и при ограничении на качество готовой продукции, связанное с прочностью куска

$$\sigma = 3,12 p_{10} - 13,2 \geq \sigma_D,$$

где  $\sigma_D$  – допустимое значение прочности кускового торфа, и ограничения на конструктивные параметры и режимы работы фрезерующего агрегата.

Полученные параметры являются основой для введения ограничений, применяемых при выборе оптимальных параметров других подсистем фрезерующего агрегата, таких как система привода, элементы конструкции и ходовая часть.

В результате решения задач первого этапа при заданной мощности двигателя трактора определяются основные технологические и конструктивные параметры, а также режимы работы фрезерующего агрегата: глубина фрезерования, число рабочих органов и их ширина,

радиус фрезы, число ножей в плоскости резания и их тип, угловая скорость фрезы и скорость передвижения агрегата. На основе этой информации производится статический расчет элементов привода и конструкции агрегата.

### Минимизация уровня воздействия со стороны рабочего органа

Одним из путей уменьшения динамических нагрузок в элементах привода и конструкции фрезерующего агрегата с целью повышения его надежности является снижение уровня силового воздействия со стороны рабочего органа.

Задача выбора оптимальных параметров в этом случае при заданных конструктивных параметрах и режимах рабочего органа сводится к выбору расстановки режущих элементов, которая может быть сформулирована следующим образом: определить значения углов сдвига между режущими элементами в  $m$ -й и в 1-й плоскостях резания  $\varphi_m$ , обеспечивающих минимум дисперсии момента нагружения

$$D_{My} = \min,$$

где

$$D_{My} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} S_{My}(\omega) d\omega,$$

$S_{My}(\omega)$  – спектральная плотность момента  $M_y$  нагружения, при заданных ограничениях по углам расстановки режущих элементов  $0 < \varphi_m < 2\pi$ .

Значение дисперсии может быть рассчитано с помощью методик, представленных в [4, 5].

Для выбора оптимальных параметров рабочего органа воспользуемся результатами, полученными в [6], где показано, что выбор схемы расстановки режущих элементов сводится к решению системы нелинейных алгебраических уравнений

$$\begin{cases} \sum_{r=1}^R F_{My}(r) r \sum_{m=1}^M \sin \left[ \frac{2\pi r}{\varphi_T} (\varphi_m - \varphi_1) \right] = 0 \\ \sum_{r=1}^R F_{My}(r) r \sum_{m=1}^M \sin \left[ \frac{2\pi r}{\varphi_T} (\varphi_m - \varphi_2) \right] = 0 \\ \dots \\ \sum_{r=1}^R F_{My}(r) r \sum_{m=1}^M \sin \left[ \frac{2\pi r}{\varphi_T} (\varphi_m - \varphi_M) \right] = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $R$  – число рассматриваемых гармоник;

$$F_{My}(r) = f_1 \left( \frac{2\pi r}{\varphi_T}; m_q \right) + \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q \left[ \frac{\partial^2 f_2(2\pi r / \varphi_T; P)}{\partial P_q^2} \right]_{m} D_q,$$

$$f_1(\omega; P) = |S_0(\omega; P)|^2,$$

$$f_2(\omega; P) = S_0(\omega; P_m) S_0^*(\omega; P_l),$$

где  $\varphi_T$  – угол между соседними ножами в плоскости резания;  $P$  – случайные параметры импульсов [4];  $m_q, D_q$  – математические ожидания, дисперсии параметров импульсов [4];  $Q$  – число параметров;

$$S_0(\omega) = \int_0^{\varphi_T} M(\varphi) \exp(-j\omega\varphi) d\varphi,$$

где  $M(\varphi)$  – функция, описывающая изменение момента нагружения на одиночном режущем элементе в пределах угла контакта с залежью;  $\varphi_T$  – угол контакта режущего элемента с залежью.

Для выбора оптимальной расстановки режущих элементов на рабочем органе при известной структуре и параметрах привода фрезерующего агрегата можно использовать ту же систему уравнений (1), где  $S_0(j\omega)$  определяется с помощью выражения [7, 8]

$$S_0(j\omega) = (C_i + \beta_i \omega) Z(j\omega)$$

$$\sum_{p=1}^P \frac{(a_{ip} - a_{i+1,p}) a_{\mu p}}{M_p} \frac{1}{\omega_p^2 - \omega^2 + j2n_p \omega},$$

где  $C_i$  – жесткость  $i$ -го элемента;  $\beta_i$  – коэффициент неупругого сопротивления  $i$ -го элемента;  $Z(j\omega)$  – спектр одиночного импульса нагрузки на рабочем органе [4];  $p = n-1$  – число собственных частот динамической системы;  $a_{i1}, a_{in-1}$  – формы собственных колебаний для 1-й и  $n-1$ -й частоты колебаний  $i$ -й массы системы;  $\omega_p$  –  $p$ -я собственная частота системы;  $a_{\mu p}$  –  $p$ -я форма собственных колебаний  $\mu$ -й массы;

$$M_p = a_{1p}^2 I_1 + a_{2p}^2 I_2 + \dots + a_{np}^2 I_n,$$

$$n_p = \frac{1}{M_p} \sum_{s;r=1}^K \beta_{sr} a_{sp} a_{rp},$$

где  $I_i$  – моменты инерции сосредоточенных масс динамической модели привода.

Значения углов сдвига, при которых достигается минимум дисперсии момента, определяются из условия выполнения следующих требований (критерий Сильвестера):



$$\begin{aligned}
f_1(\omega; P) &= |S_0(\omega; P)|^2, \\
f_2(\omega; P) &= S_0(\omega; P_m) S_0^*(\omega; P_l), \\
f_{Q_{x1}}(\omega; P) &= |S_{Q_x}(\omega; P)|^2, \\
f_{Q_{x2}}(\omega; P) &= S_{Q_x}(\omega; P_m) S_{Q_x}^*(\omega; P_l), \\
f_{Q_{z1}}(\omega; P) &= |S_{Q_z}(\omega; P)|^2, \\
f_{Q_{z2}}(\omega; P) &= S_{Q_z}(\omega; P_m) S_{Q_z}^*(\omega; P_l),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&+ L_m L_l F_{M_z}(r) + K_{M_x} L_m L_l F_{M_x}(r) + \\
&+ K_{P_z} F_{P_z}(r) + K_{P_x} F_{P_x}(r) + \\
&+ K_{P_y} k_{Hm} k_{Hl} F_{P_y}(r) \cos \left[ \frac{2\pi r}{\Phi_T} (\varphi_m - \varphi_l) \right].
\end{aligned}$$

знаком \* обозначены комплексно-сопряженные величины;  $S_{Q_z}(\omega), S_{Q_x}(\omega)$  – соответственно, спектры проекций импульсов силы в горизонтальном и вертикальном направлении  $Q_z(t), Q_x(t)$ , определяемые с помощью выражений:

$$\begin{aligned}
S_{Q_z}(\omega) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_0(v) S_1(\omega - v) dv, \\
S_{Q_x}(\omega) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_0(v) S_2(\omega - v) dv,
\end{aligned}$$

значения  $S_1(\omega)$  и  $S_2(\omega)$ ,

$$\begin{aligned}
S_1(\omega) &= \int_0^{\varphi_T} F_z(\varphi) \exp(-j\omega\varphi) d\varphi, \\
S_2(\omega) &= \int_0^{\varphi_T} F_x(\varphi) \exp(-j\omega\varphi) d\varphi,
\end{aligned}$$

где  $F_x(\varphi) = \pm \frac{1}{R_{po}} (\cos(\varphi - \varphi_0) \pm \chi \sin(\varphi - \varphi_0))$ ,

$$F_z(\varphi) = \pm \frac{1}{R_{po}} (\cos(\varphi - \varphi_0) \pm \chi \sin(\varphi - \varphi_0)),$$

где  $R_{po}$  – радиус фрезы по концам режущих элементов;  $\varphi_0 = \arcsin(c/2/R)$  – угол между вертикалью и радиусом, проведенным к вершине гребешка [3];  $c$  – подача на один режущий элемент; знак плюс для встречного фрезерования, минус – для попутного;  $\chi$  – соотношение между тангенциальной и нормальной силами [3].

Рассматривая достаточные условия экстремума, связанные с определением знака квадратичной формы функции, на основании критерия Сильвестера (2) можно выделить значения углов сдвига, при которых достигается минимум критерия (3), при этом

$$b_{ml} = \frac{8\pi^2}{\Phi_T^2} \left( \sum_{r=1}^R r^2 (K_{M_y} F_{M_y}(r) +$$

Сложность решения задачи (3) состоит в правильном определении величин, отражающих относительную важность соответствующих критерия качества. Она состоит в отсутствии достаточно полной априорной информации о степени влияния силовых факторов на надежность привода рабочего органа и элементов конструкции фрезерующего агрегата. В этом случае, как правило, применяется метод экспертных оценок [1].

При этом заданные критерии эффективности  $D_{M_y}, D_{M_x}, D_{M_z}, D_{F_y}, D_{F_x}, D_{F_z}$  располагаются в порядке приоритета. Затем решаются задачи одномерной оптимизации и определяются оптимальные значения параметров, при которых основной показатель имеет минимальное значение при заданных ограничениях. Полученное значение критерия обозначается  $D_1^*$ . Далее задается допустимое из инженерных соображений отступление  $\Delta D_1$  от оптимального значения критерия  $D_1^*$  и вводится ограничение

$$D_1(\varphi_m) \leq D_1 = D_1^* + \Delta D_1.$$

Параметры  $\varphi_m$  определяются из условия оптимизации следующего за  $D_1(\varphi_m)$  по значимости критерия  $D_2(\varphi_m)$  при заданных ограничениях. При этом в итерационном процессе оптимизации параметров  $\varphi_m$  за исходные целесообразно принимать ранее найденные значения  $\varphi_m^0$  или близкие к ним. Указанный процесс продолжается последовательно для всех критериев.

### Минимизация динамических нагрузок в элементах привода

Повышение надежности и увеличение долговечности машин связано с проблемой снижения динамических нагрузок в их элементах. За объективную характеристику надежности привода фрезерующего агрегата может быть принято значение вероятности безотказной работы  $P(t)$  привода за время  $t$ .

Таким образом, задача снижения нагруженности сводится к выбору параметров рабочего органа, режимов работы агрегата и параметров привода, которые обеспечивают максимальное значение вероятности безотказной работы привода за время  $t$

$$P(t) \rightarrow \max. \quad (4)$$

Ограничения на варьируемые параметры определяются на основе решения оптимизационных задач, связанных с выбором параметров и режимов фрезерующего агрегата, обеспечивающих экстремальное значение технико-экономических показателей и получение продукции заданного качества, а также физической реализуемостью параметров динамической модели.

Критерий (4) позволяет учесть, что в процессе эксплуатации фрезерующего агрегата возможны отказы в элементах привода и конструкции [11], связанные с превышением нагрузкой опасного уровня деформаций и повреждением усталостного характера.

Известно [11], что при действии двух механизмов отказов в случае их независимости вероятность безотказной работы элемента равна

$$P(t) = \prod_{i=1}^2 P_i(t).$$

Учитывая, что в процессе эксплуатации отказ одного элемента привода приводит к отказу всей системы, для вероятности безотказной работы можно записать [11]

$$P(t) = \prod_{r=1}^R P_r(t) = \prod_{r=1}^R \prod_{i=1}^2 P_{ri}(t), \quad (5)$$

где  $R$  – число элементов привода;  $P_{ri}(t)$  – вероятность безотказной работы  $r$ -го элемента с учетом различных механизмов отказа.

При малом числе выбросов нагрузки за опасный уровень в единицу времени (в этом случае количество выбросов подчинено закону распределения Пуассона [11]) вероятность безотказной работы (непревышение нагрузкой опасного уровня) за время работы  $t$  определяется по формуле [1]

$$P(t) = \exp(-b_0 t), \quad (6)$$

где  $b_0$  – среднее число пересечений нагрузкой опасного уровня в единицу времени.

При разрушении, связанном с превышением нагрузкой опасного уровня деформаций, для процесса нагружения, близкого к нормальному,  $b_0$  равно [11]

$$b_0 = \frac{\sigma_{\dot{M}}}{2\pi\sigma_M} \exp\left[-\frac{(M_0 - m_M)^2}{2\sigma_M^2}\right], \quad (7)$$

где  $m_M, \sigma_M$  – математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение нагрузки;  $\sigma_{\dot{M}}$  – среднее квадратическое отклонение скорости изменения нагрузки;  $M_0$  – опасный уровень.

В случае усталостного разрушения  $b_0$  определится следующим образом [12]

$$b_{0y} = \frac{1}{T_{cp}} = \frac{K_s^m \sigma_M^m 2^{\frac{m}{2}} \Gamma\left(1 + \frac{m}{2}\right)}{\sigma_{-1}^m N_0 T_l}, \quad (8)$$

где  $K_s$  – коэффициент перехода от момента к напряжению, учитывающий соотношение между изгибающим и крутящим моментами, геометрическую характеристику расчетного сечения и т. п.;  $m, N_0$  – показатель наклона кривой усталости и число циклов, соответствующее пределу выносливости материала;  $\sigma_{-1}$  – предел выносливости;  $\Gamma(\dots)$  – гамма-функция;  $T_l$  – эффективный период процесса

$$T_l = 2\pi \sqrt{\int_0^\infty S(\omega) d\omega} / \sqrt{\int_0^\infty \omega^2 S(\omega) d\omega},$$

$S(\omega)$  – спектральная плотность процесса нагружения.

Подставляя (7), (8) в (6) и далее в (5) получим вероятность безотказной работы привода рабочего органа за время  $t$

$$P(t) = \exp\left\{-\sum_{r=1}^R \frac{\sigma_{\dot{M}_r}}{2\pi\sigma_{M_r}} \exp\left[-\frac{(M_{0r} - m_{M_r})^2}{2\sigma_{M_r}^2}\right] t - \sum_{r=1}^R \frac{K_{sr}^m \sigma_{M_r}^m 2^{\frac{m}{2}} \Gamma\left(1 + \frac{m}{2}\right)}{\sigma_{-1r}^m N_0 T_{lr}} t\right\}.$$

Входящие в выражения значения вероятностных характеристик моментов нагружения в элементах привода определяются с помощью методик, представленных в [4, 5, 9, 13].

Решение задачи (4) осуществляется численными методами.

Представленный материал может оказаться полезным при модернизации существующих и проектировании новых торфяных фрезерующих агрегатов.

#### Библиографический список

1. *Катулев А.Н.* Современный синтез критериев в задачах принятия решений / А.Н. Катулев, В.Н. Михно, Л.С. Виленчик и др. – М.: Радио и связь, 1992. – 120 с.
2. *Соболь И.М.* Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И.М. Соболь, Р.Б. Статников. – М.: Наука, 1981. – 109 с.
3. *Солопов С.Г.* Торфяные машины и комплексы / С.Г. Солопов, Л.О. Горцаколян, Л.Н. Самсонов, В.В. Цветков. Учебное пособие для вузов. – М: Недра, 1981. – 416 с.
4. *Самсонов Л.Н.* Определение вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата / Л.Н. Самсонов, К.В. Фомин // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2003. – № 3. – С. 106–112.
5. *Фомин К.В.* Методика анализа динамических нагрузок в элементах привода торфяного фрезерующего агрегата / К.В. Фомин, Л.Н. Самсонов // Вестник Тверского государственного технического университета. – Тверь: ТГТУ, 2002. – № 1. – С. 10–14.
6. *Фомин К.В.* К вопросу о рациональной расстановке режущих элементов на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2002. – № 1. – С. 226–229.
7. *Фомин К.В.* Исследование влияния расстановки режущих элементов на нагрузку на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата / К.В. Фомин, С.Б. Николаев // Вестник Тверского государственного технического университета. – Тверь: ТГТУ, 2006. – № 8. – С. 46–51.
8. *Фомин К.В.* Выбор оптимальных параметров рабочего органа с учетом динамических свойств привода торфяного фрезерующего агрегата // Вестник Тверского государственного технического университета. – Тверь: ТГТУ, 2007. – № 10. – С. 139–143.
9. *Фомин К.В.* Научные основы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов: Дисс... д-ра тех. наук. – Тверь: ТГТУ, 2002. – 330 с.
10. *Фомин К.В.* Методика выбора оптимальной расстановки режущих элементов на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии. Материалы выездной секции международной научно-практической конференции. – Тверь, 2006. – С. 96–99.
11. *Решетов Д.Н.* Работоспособность и надежность деталей машин. – М.: Машиностроение, 1974. – 205 с.
12. *Болотин В.В.* Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1984. – С. 312.
13. *Фомин К.В.* Моделирование и анализ динамических нагрузок в элементах привода торфяного фрезерующего агрегата // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2002. – № 9. – С. 189–191.

УДК 622.331.002.5

**Яблонев А.Л.**

Яблонев Александр Львович, д. т. н., проф. кафедры торфяных машин и оборудования Тверского государственного технического университета. alvovich@mail.ru

**Михайлов С.П.**

Михайлов Степан Петрович, магистрант кафедры торфяных машин и оборудования

**Yablonev A.L.**

Yablonev Alexander L., Dr. Sc., Professor of the Chair of Peat Machines and Equipment of the Tver State Technical University. alvovich@mail.ru

**Mikhailov S.P.**

Mikhailov Stepan P., graduate student of the Chair of Peat Machines and Equipment

**СВЕДЕНИЕ КУСТАРНИКОВ  
И МЕЛКОЛЕСЬЯ  
ПРИ ОСВОЕНИИ  
ТОРФЯНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ  
РУБИЛЬНО-  
ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**

*Аннотация.* В статье описаны конструкция, общие принципы и возможность применения рубильно-измельчительного оборудования в условиях сведения растительности при освоении торфяных месторождений.

*Ключевые слова:* торфяные месторождения, машины и оборудование, удаление кустарника.

**REMOVAL OF BUSHES  
AND LOW FOREST  
ON PEAT FIELDS USING  
CHIPPING AND GRINDING  
EQUIPMENT**

*Abstract.* The article describes the design, general principles and the ability to use chipping and grinding equipment for cutting vegetation on peat fields.

*Keywords:* peat deposits, machinery and equipment, removal of bush.

**П**одготовка к производству очередной площадки торфяного поля по одной из двух существующих сегодня технологических схем [1] начинается со сведения на ней деревьев, мелкокося, кустарников, обрезки сучьев, разделки и вывозки древесины, сбора и сжигания порубочных остатков. Из всего перечисленного только первая операция (сведение растительности) может выполняться механизированно, с применением специальных машин по сводке леса ЭТУ-0,75 и МТП-13. Все остальные операции предполагают огромную долю ручного труда неквалифицированных рабочих. Несмотря на то, что операция по сведению растительности является только первой в большой цепи последующих, она весьма длительна и трудоемка, от качества ее выполнения во многом зависит весь последующий цикл работ по подготовке торфяной залежи к эксплуатации и производству торфа.

Обе вышеупомянутые машины в настоящее время нигде не выпускаются, сохранились на предприятиях в единичных экземплярах, размещаются на гусеничном ходу (в первом случае – торфяного экскаватора, во втором – погрузочного крана) и поражают своими габаритами: ЭТУ-0,75 имеет высоту около 8,0 м с радиусом поворота верхнего строения 5,76 м, а МТП-13-6,0 и 7,4 м соответственно. В качестве рабочего органа на этих машинах используется дисковая фреза диаметром 1500 мм, имеющая при вращении столь большой момент инерции, что некоторое время машина может срезать деревья с отключенным приводом.

Мобильность обеих машин, их перевозка с площадки на площадку без полной или частичной разборки – дело если не невозможное, то, во всяком случае, трудновыполнимое. А утилизация сведенной растительности – еще одна крупная проблема, решение которой требует огромных трудозатрат и спецтехники для вывоза.

В этой связи представляется перспективным сведение растительности (деревьев с диаметром стволов до 250 мм, мелкокося, кустарников) рубильно-измельчительными машинами, на месте превращающими древесину в щепу и рассеивающими ее по поверхности залежи. В дальнейшем щепу, будучи экологически чистым продуктом, превращается в гумус и может быть удалена вместе с очесным слоем бульдозером, использована

в качестве удобрения, перемешана с залежью при корчевании или глубоком фрезеровании и т. д.

В отечественном торфяном машиностроении нет образцов машин, которые справились бы с этой задачей, поэтому необходимо адаптировать к операциям по сведению растительности на торфяных площадках близкие по параметрам аналоги машин. Так, ООО «Измельчитель» (г. Рязань), базирующееся на территории бывшего завода «Торфмаш», серийно выпускает подобный аппарат для очистки противопожарных просек, линий электропередач, садов и парков от растительности (рис. 1).



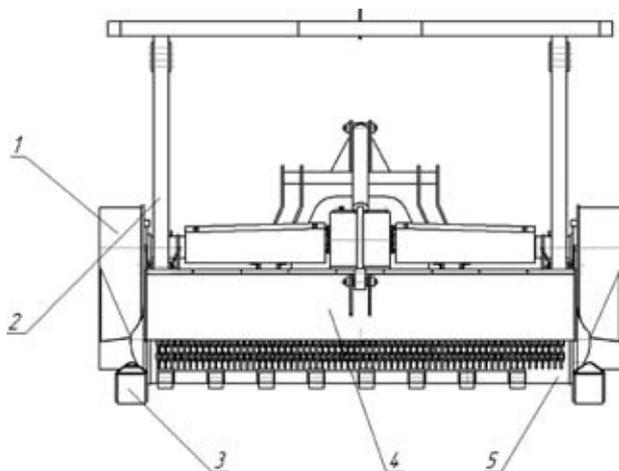
**Рис. 1.** Измельчитель ИЛН-2 производства ООО «Измельчитель»

**Fig. 1.** Grinder ILN-2 of production of Izmelchitel Ltd.

Измельчитель ИЛН-2 имеет общую ширину захвата 2000 мм и устанавливается сзади на серийный трактор мощностью около 90–110 кВт с использованием универсального трехточечного навесного устройства. Трактор для этого должен быть оборудован ходоуменьшителем и реверсивным постом управления. Скорость движения трактора при работе, в зависимости от плотности и размеров растительности, колеблется в пределах 1...5 км/ч. Привод машины осуществляется от вала отбора мощности трактора, который должен иметь независимую частоту вращения 1000 об/мин. Подъем машины в транспортное и опускание в рабочее положения осуществляется от одной пары выводов гид-

росистемы трактора. При этом транспортирование может происходить по дорогам общего пользования со скоростью до 30 км/ч. Общая масса измельчителя – 1900 кг, что вполне приемлемо для заднего навесного устройства трактора.

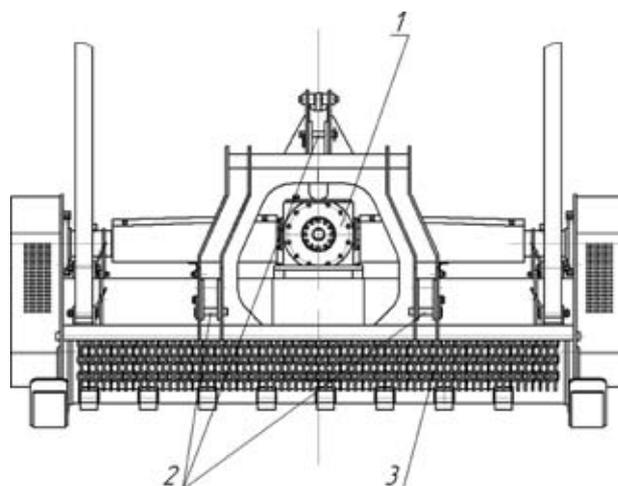
Основные элементы измельчителя представлены на рис. 2.



**Рис. 2.** Измельчитель ИЛН-2, вид спереди:  
1 – основная рама; 2 – защитная рама; 3 – опорная лыжа; 4 – защитный экран с гидроцилиндром;  
5 – ротор

**Fig. 2.** Grinder ILN-2, front view: 1 – main frame;  
2 – protective frame; 3 – support ski; 4 – filter with a hydraulic cylinder; 5 – rotor

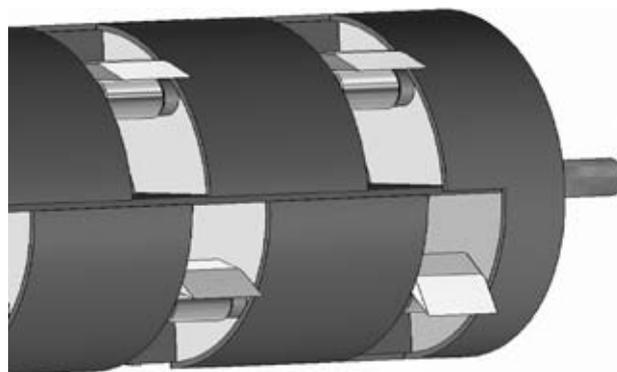
Основная рама 1 измельчителя изготовлена из листовой стали толщиной 10...12 мм, на ней базируются все сборочные элементы машины. Защитный экран 4 прикреплен к раме при помощи петель. Он устанавливается в верхнем или в нижнем положении (в зависимости от условий работы) при помощи гидроцилиндра. Под рамой находится рабочий орган – ротор 5. Вращение ротора осуществляется от трансмиссии (слева и справа) при помощи ременных передач. Сверху на основную раму крепится защитная рама 2, призванная предохранять транспортное средство от стволов падающих деревьев, а также, при изменении угла атаки, отклонять ствол дерева для более удобного и менее энергоемкого срубания. Зазор между грунтом и ротором регулируется при помощи опорных лыж 3. Защитные цепи (рис. 3) предохраняют от попадания в зону измельчения посторонних предметов и служат мерой безопасности.



**Рис. 3.** Измельчитель ИЛН-2, вид сзади:  
1 – трансмиссия;  
2 – трехточечная навеска; 3 – защитные цепи

**Fig. 3.** Grinder ILN-2, rear view: 1 – transmission;  
2 – three-point linkage; 3 – protective circuit

Ротор диаметром 420 мм (рис. 4) представляет собой сварную металлоконструкцию с установленными в ней ножами-топорами (32 шт.), которые свободно вращаются на четырех сквозных осях. Вращение ротора происходит с частотой 2000 об./мин, при этом, под действием центробежной силы, топоры «выдвигаются» и принимают рабочее положение.



**Рис. 4.** Ротор измельчителя ИЛН-2

**Fig. 4.** The rotor of the grinder ILN-2

Группа специалистов ТвГТУ в 2014 году принимала участие в испытаниях измельчителя в г. Рязани. При этом измельчитель был прикреплен к трактору УЭС-280. Испытания показали, что измельчитель легко справляется с древесной растительностью диаметром до 250 мм. Каких-либо препятствий для

использования этого оборудования в условиях торфопредприятий не выявлено, но сформулированы требования к трактору: мощность двигателя 90...100 кВт, обязательны реверсивный пост управления и ходоуменьшитель. Для этих условий хорошо подходят тракторы МТЗ-1221 и 1523, в настоящее время применяющиеся на торфяных предприятиях [2]. Но остается открытым вопрос проходимости данной техники, ведь залежь имеет довольно низкую несущую способность. Для решения этой проблемы был разработан эскизный проект измельчителя с трактором МТЗ-1221, мощностью 96 кВт, имеющим сдвоенные передние и задние колеса [3], и произведены необходимые расчеты. В качестве исходных данных были приняты следующие параметры: паспортный вес трактора на одинарных и на сдвоенных колесах  $G_T$  соответственно 45,52 и 48,07 кН; вес измельчителя  $G_{и} = 18,04$  кН; размеры тракторных колес 16,9Р-38 – наружный диаметр  $D = 1,685$  м, ширина  $B = 0,429$  м; среднее допустимое давление колес на грунт  $[P] = 23$  кПа; приведенный модуль деформации залежи  $E_{пр} = 80$  кПа (для условий подготовки залежи к эксплуатации) [4, 78]. В ходе расчетов получены значения нагрузки, приходящейся на заднее колесо  $G_K$  при одинарном и сдвоенном колесном ходе: 22,68 и 11,72 кН соответственно. При расчете предполагалось, что задние колеса трактора воспринимают 60% его общего веса. Проверочный расчет проводился по зависимости [4]:

$$P = \sqrt{0,4EG_K / DB} \leq [P],$$

где  $P$  – среднее давление, оказываемое задним колесом трактора на залежь.

Для одинарного колесного хода  $P = 31,66$  кПа, для сдвоенного хода  $P = 22,745$  кПа. Анализируя и сравнивая полученные результаты со средним допустимым давлением,

видно, что, как и предполагалось, одинарный колесный ход трактора не обеспечит необходимых условий агрегату для проходимости по залежам, сдвоенный же колесный ход, хоть и с небольшим запасом, но все же обеспечивает работу агрегата на залежах. Следует при этом отметить, что в отечественной промышленности уже известны способы страивания задних колес на сильноувлажненных и совсем неосушенных залежах, от чего проходимость агрегатов, естественно, становится еще выше. Можно рассматривать это решение как способ дальнейшего увеличения проходимости.

Таким образом, имеющиеся конструктивные параметры измельчителя ИЛН-2, перечисленные требования к тракторам и проведенные расчеты позволяют сделать вывод о возможном весьма успешном применении измельчителя на операциях по сводке растительности диаметром ствола до 250 мм в условиях торфяных месторождений.

#### Библиографический список

1. Солопов С.Г., Горцакалян Л.О., Самсонов Л.Н. Торфяные машины и комплексы. – М: Недра, 1973. – 392 с.
2. Яблонев А.Л. Требования к тракторам для торфяной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Горная книга, 2010. – № 2. – С. 38–40.
3. Яблонев А.Л. Эффективное применение сдвоенного пневматического колесного хода на торфяной залежи нарушенной структуры // Горное оборудование и электромеханика. – М.: Новые технологии, 2011. – № 5. – С. 54–56.
4. Справочник по торфу / И.Ф. Ларгин, С.С. Корчунов, Л.М. Малков и др. Под ред. А.В. Лазарева и С.С. Корчунова. – М.: Недра, 1982. – 760 с.

УДК 553.97:628.3

**Торопчин М.А.**

Торопчин Михаил Андреевич, к. т. н., доцент кафедры природообустройства и экологии Тверского государственного технического университета, Тверь, Академическая, 12. oio\_fpie@inbox.ru

**ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА  
РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ  
ПРИНИМАЮЩИМИ  
ЭЛЕМЕНТАМИ СЕТИ  
ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ  
НА БОЛОТАХ**

*Аннотация.* Проведен анализ литературы по очистным сооружениям на болотах. Приведены фильтрационные схемы расчета расстояний между принимающими элементами сети на торфяных площадках очистных сооружений при установившейся и неуставившейся фильтрации по понижению и повышению уровня грунтовых вод, на которых показаны все составляющие водного баланса. В расчетах учтено поступление избыточных вод проектной обеспеченности, в том числе и сточных вод, в наиболее тяжелые периоды работы сооружений. Также даны необходимые формулы с учетом поступления сточных вод для трех расчетных случаев: установившейся фильтрации по понижению грунтовых вод; неуставившейся фильтрации по понижению и повышению уровня грунтовых вод. Расстояния между принимающими элементами сети на торфяных площадках очистных сооружений должны приниматься по наименьшей величине из трех расчетных случаев.

*Ключевые слова:* торф, болото, фильтрация, очистка воды.

**Toropchin M.A.**

Toropchin Michail A., Ph.D., Associate Professor of the Chair of Nature Management and Ecology of the Tver State Technical University, Tver, Academicheskaya, 12. oio\_fpie@inbox.ru

**FEATURES OF  
CALCULATION OF  
DISTANCES BETWEEN THE  
ACCEPTING ELEMENTS  
OF A NETWORK OF  
TREATMENT FACILITIES  
ON PEATLANDS**

*Abstract.* The analysis of the literature on the treatment facilities on mires has been made. Filtration schemes has been given for calculating distances between accepting elements of treatment facilities on mires at a steady and unsteady filtration by the declining and rising of the groundwater level, which shows all components of the water balance. The calculations take into account the design flow of excess waters including sewage in the most difficult periods of work. Formulas have been given for three calculation cases: steady filtration by the declining of groundwater level; unsteady filtration by the declining and rising of the groundwater level. The distance between accepting elements in peat areas should be taken at the lowest value of the three calculated cases.

*Keywords:* peat, mire, filtration, water treatment.

Проблема очистки сточных вод является актуальной, особенно для небольших населенных пунктов. Очистка сточных вод на стандартных очистных сооружениях считается дорогой. Для нее необходимы потребление энергии, химических реагентов, кислорода и хлора. Для удешевления очистки сточных вод предлагается использование в качестве очистных сооружений различных биоплато, в том числе и болот.

В работах [1, 2] даны основы применения болот в качестве очистных сооружений для малых населенных пунктов, но не приводятся методы определения расстояний между принимающими элементами очищенной сточной воды на подготовленных участках болота. Процесс очистки сточных вод происходит при их пропуске через торфяную залежь с кислой средой, при создании депрессионной кривой и наличии разницы напоров между элементами, подающими сточную воду и принимающими очищенную.

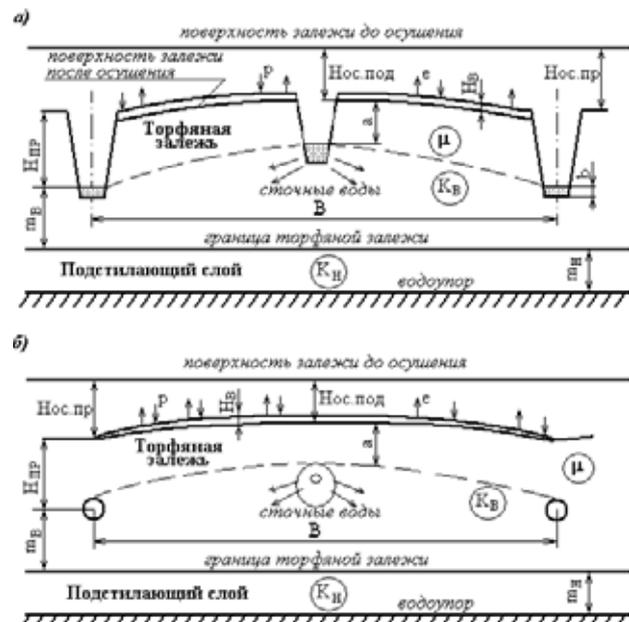
Расстояния между принимающими элементами сети очистных сооружений должны рассчитываться для паводковых периодов работы сооружения (весна, осень) по методам установившейся и неустановившейся фильтрации, а также по заданному понижению грунтовых вод (ГВ). Результаты должны проверяться при неустановившейся фильтрации по допустимому подъему ГВ.

Проверить рассчитанные параметры очистных сооружений можно по расходам фильтрующейся сточной воды. В качестве проектных значений должны приниматься наименьшие, рассчитанные при установившейся (стационарной) и неустановившейся фильтрации.

Расчеты расстояний между осушителями приводятся для наиболее часто встречающегося случая двухслойной толщи грунта, состоящей из торфяной залежи и подстилающего водопроницающего слоя (рис. 1–3), и расположения самих осушителей в верхнем слое, т. е. в торфяной залежи [3]. Расчеты расстояний между осушителями для однослойной толщи, состоящей из торфяной залежи, подстилаемой водоупором, т. е. тяжелыми суглинками или глиной, следует производить по [4] с учетом всех особенностей работы осушительной сети, приводимых ниже. В данной работе будут приводиться те формулы, в которых будут учтены особенности расчета очистных сооружений на болотах или в них включаются новые составляющие и их параметры.

### Расчет расстояний между принимающими осушителями при установившейся фильтрации по заданному понижению уровней грунтовых вод

Схема фильтрационного расчета приведена на рисунке 1.



**Рис. 1.** Расчетная фильтрационная схема расстояний между принимающими очищенную воду элементами сети при установившейся фильтрации по заданному понижению грунтовых вод: а – открытые осушители; б – закрытые осушители (дрены).  $H_{ос. под}$  – величина осадки торфяной залежи по трассам подающих сточную воду элементов сети;  $H_{ос. пр.}$  – величина осадки торфяной залежи по трассам принимающих очищенную воду элементов сети

**Fig. 1.** Estimated filtering scheme of distances between accepting purified water network elements at steady filtration for given declining of groundwater: а – ditches, б – underground drains.  $H_{ос. под}$  – the value of shrinkage of peat deposit along the lines of the feeding wastewater ditches;  $H_{ос. пр.}$  – the value of shrinkage of peat deposit along the accepting wastewater ditches (drains)

Расстояния между осушителями (каналами и дренами)  $B$  при установившейся фильтрации находят по формуле 1 [3–4]:

$$B = 4 \left( \sqrt{\alpha_{нд}^2 + \frac{H_p \cdot T}{2q}} - \alpha_{нд} \right), \quad (1)$$

где  $\alpha_{нд}$  – суммарные фильтрационные сопротивления по степени и характеру вскрытия пласта, м (определяются по формуле 11.65, приведенной в [3];

$H_p$  – расчетный напор, м;

$$H_p = H_{пр} - b - 0,6 \cdot a,$$

где  $H_{пр}$  – глубина заложения осушителей (принимающих элементов сети), м;

$a$  – проектируемая норма осушения или уровень грунтовых вод, м;

$b$  – слой воды, равный 0,1–0,2 м в принимающих каналах, в м. В дренах или закрытых осушителях он принимается в расчетах равным 0;

$T$  – проводимость пласта, м<sup>2</sup>/сутки;

$$T = K_b = (m_b + m_0) + K_n \cdot m_n,$$

где  $K_b$  – коэффициент фильтрации верхнего слоя грунта (осушенной в течение 1 года торфяной залежи), м/сутки;

$m_b$  – расстояние от уровня воды в канале или от оси дрен до нижней границы торфяной залежи, м

$$m_0 = 0,5 \cdot H_p,$$

$K_n$  – коэффициент фильтрации нижнего слоя грунта, м/сутки;

$m_n$  – мощность нижнего слоя грунта, м;

$q$  – интенсивность инфильтрационного питания или средний за расчетный период приток к осушителям, м/сутки  $q = W/t$ , где

$$W = H_b + a \cdot \mu + (p - e) \cdot t + H_{ст} \cdot t,$$

где  $W$  – слой воды, подлежащий отведению за время осушения  $t$ , за которое достигается проектный уровень грунтовых вод  $a$  на площадках фильтрации очистных сооружений. Показатель  $W$  принимается для наиболее тяжелого периода работы системы осушения весной после таяния снега и торфяной залежи, когда полностью восстанавливается гидравлическая связь с ее поверхностью;

$H_b$  – слой воды, оставшейся в понижениях и на поверхности торфяной залежи после таяния снега  $H_b = 0,01 \dots 0,02$  м;

$\mu$  – коэффициент водоотдачи торфяной залежи;

$p$  – интенсивность атмосферного питания или удельное количество осадков обеспеченностью 10%, выпадающее за сутки в расчетный период, м/сутки;

$e$  – интенсивность испарения или ее удельная величина обеспеченностью 90%, происходя-

щее за сутки в расчетный период, м/сутки;

$H_{ст}$  – слой сточной воды, поступающий на поля фильтрации за сутки, м/сутки;

$$H_{ст} = Q/F,$$

где  $Q$  – средний расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сутки;

$F$  – площадь полей фильтрации торфяной залежи, м<sup>2</sup>. В расчетах делается допущение равномерного распределения всей сточной воды по площади полей фильтрации;

$t$  – время достижения проектного уровня грунтовых вод (УГВ) до нормы осушения, равное 10–15 суткам.

Для строительства и обеспечения работы очистных сооружений путем поглощения торфом загрязняющих веществ при фильтрации сточных вод через залежь необходимо предварительное осушение в течение 1 года. Однако, как известно [5], при осушении происходит осадка и уплотнение торфяной залежи, что влечет за собой и изменение других ее свойств: плотности, пористости, водопроницаемости и других, о чем сообщали многие ученые. Поэтому при проектировании очистных сооружений на болотах следует учитывать изменение коэффициента фильтрации и осадку залежи.

### Расчет параметров очистных сооружений при неустановившейся фильтрации по понижению уровня грунтовых вод

Фильтрационная схема расчета приведена на рис. 2.

Расстояния между осушителями  $B$  определяются по формуле 2:

$$B = 4 \left( \sqrt{\alpha_{нд}^2 + \frac{\tau T}{4\mu}} - \alpha_{нд} \right), \quad (2)$$

где  $\alpha_{нд}$  – суммарные фильтрационные сопротивления по степени и характеру вскрытия пласта, м (определяется по формуле 11.65, приведенной в [3], стр. 142 при  $m_0 = m'_0$ )

где  $\tau$  – время стабилизации уровня грунтовых вод, сутки –  $\tau = t/\bar{t}$ ,

где  $\bar{t} = f(\eta, \eta m)$  – функция, определяемая по рисунку 11.2 стр. 150 [3],

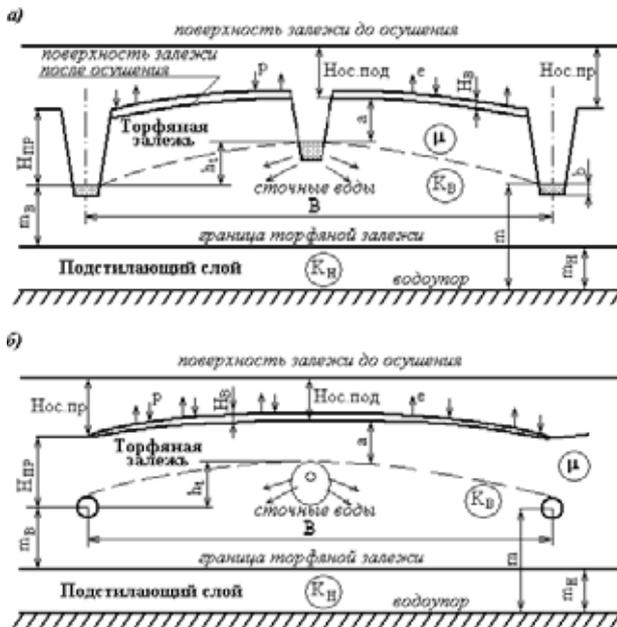
где  $\eta = h_t / H_{пр}$ , а  $\eta m = T/h_t K_b$ ,

где  $T = K_b (m_b + m'_0) + K_n m_n$ ,

где  $m'_0 = 0,5 h_p$ ,

где  $h_t = H_{пр} - a$ ,

$\mu = 0,116 K_B^{0,375} a^{0,75} + [H_B + (p - e) t + H_{ст} t] / a$ .



**Рис. 2.** Расчетная фильтрационная схема расстояний между принимающими элементами сети при неустановившейся фильтрации по заданному понижению грунтовых вод: а) открытые осушители; б) закрытые осушители (дрены).  $H_{ос. под}$  – величина осадки торфяной залежи по трассам подающих сточную воду элементов сети;  $H_{ос. пр}$  – величина осадки торфяной залежи по трассам принимающих очищенную воду элементов сети

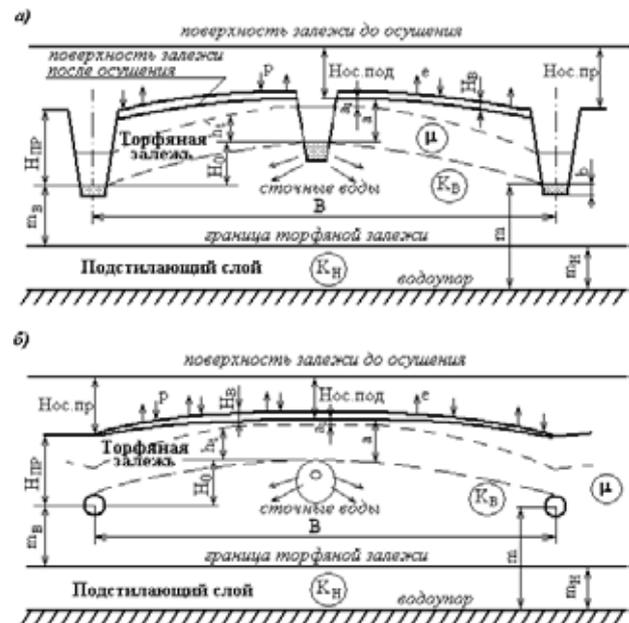
**Fig. 2.** Estimated filtering scheme of distances between accepting purified water network elements at unsteady filtration for given declining of groundwater: а – ditches, б – underground drains.  $H_{ос. под}$  – the value of shrinkage of peat deposit along the lines of the feeding wastewater ditches;  $H_{ос. пр}$  – the value of shrinkage of peat deposit along the accepting wastewater ditches (drains)

### Расчет параметров очистных сооружений при неустановившейся фильтрации по допустимому подъему уровня грунтовых вод

Необходимо производить проверку параметров очистных сооружений на допустимое повышение уровня грунтовых вод (УГВ) в случаях превышения суточных расходов сточных вод

в более в 1,2... 1,5 раза, во время поступления талых вод из снега с обеспеченностью менее 10%, при интенсивном выпадении осадков. Это делается для того, чтобы исключить сброс неочищенных сточных вод по поверхности торфяной залежи. При этом проектную норму осушения а рекомендуется принимать 0,6–1,2 м, а  $a_1$  – максимальный уровень поднятия УГВ совместно со сточными водами – равен 0,1 м.

Расчетная фильтрационная схема повышения УГВ на очистных сооружениях представлена на рис. 3.



**Рис. 3.** Расчетная фильтрационная схема расстояний между принимающими элементами сети при неустановившейся фильтрации по заданному повышению грунтовых вод: а) открытые осушители; б) закрытые осушители (дрены);  $H_{ос. под}$  и  $H_{ос. пр}$  (рис. 1)

**Fig. 3.** Estimated filtering scheme of distances between accepting purified water network elements at unsteady filtration for given rising of groundwater: а – ditches, б – underground drains.  $H_{ос. под}$  and  $H_{ос. пр}$  (see Fig. 1)

Расстояние между осушителями определяется по формуле 2, где  $\alpha$  рассчитывается по формуле 11.65, приведенной в [3] при  $m_0 = m''$

$$T = K_d (m_d + m''_j) + R_y m_y$$

$$m''_0 = 0,5 H_0$$

$$H_0 = H_{пр} - a$$

$$h'_t = a - a_1$$

$$\gamma = \mu h'_t / q t$$

$$t' = f(\gamma) \text{ по [3] ,}$$

$$\text{где } W = H_b + h_t \mu + (p - e) t + H_{ct} t,$$

а

$$\mu = 0,116 K_b^{0,375} h_t^{0,75} + [H_b + (p - e) t + H_{ct} t] / h'_t$$

### Библиографический список

1. Пат. 2397149. Российская Федерация МПК С1 R11/51,19/3/32. Способ и сооружение очистки хозяйственно-бытовых сточных вод с использованием элементов экологической системы / В.И. Толстограй, К.И. Лопатин, Ю.Н. Женихов, В. И, Суворов, В.В. Панов. № 2008146328/15, заявл. 25.11.2008, опубл. 20.08.10, Бюл. № 23. – 10 с.
2. Суворов В.И. Актуальные вопросы использования торфа и болот [Текст]: С. 89 монография / Ю.Н. Женихов, В.В. Панов, К.И. Лопатин, В.И. Толстограй, И.А. Юсупов. – Тверь: Триада, 2012. – 152 с.
3. Мелиорация и водное хозяйство. 3. Осушение: Справочник / Под ред. Б.С. Маслова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 447 с.
4. СНиП 2.06.03–85 Мелиоративные системы и сооружения / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 58 с.
5. Лундин К.П. Водные свойства торфяной залежи. – Минск: Урожай, 1964. – 211 с.

УДК 662.331(09)

### **Копенкина Л.В.**

Копенкина Любовь Владимировна, к. т. н., доцент кафедры торфяных машин и оборудования ГОУ ВПО «Тверской государственной технической университет, Тверь, Академическая, 12. lvkopenkina@mail.ru

## **ОРГАНИЗАТОР ТОРФЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И.И. РАДЧЕНКО (1874–1942) (к 140-летию со дня рождения)**

*Аннотация.* Статья посвящена организатору торфяной промышленности, первому руководителю Главного торфяного комитета, Центрального управления по добыче торфа, директору научно-исследовательского института торфяной промышленности (Инсторфа), первому редактору журнала «Торфяное дело» Ивану Ивановичу Радченко.

*Ключевые слова:* история торфяной промышленности, Инсторф, Торфяной комитет, добыча торфа, журнал «Торфяное дело», Радченко Иван Иванович.

### **Kopenkina L.V.**

Kopenkina Lubov V., Dr., Associate Professor of the Chair of Peat Machinery and Equipment of the Tver State Technical University, Tver, Akademicheskaya, 12. lvkopenkina@mail.ru

## **THE ORGANIZER OF THE PEAT INDUSTRY I.I. RADCHENKO (1874–1942) (to the 140 anniversary since birth)**

*Abstract.* Article is devoted to the organizer of the peat industry, the first head of the Main peat committee, the Central management on production of peat, the director of research institute of the peat industry (Instorf), the first editor of the Peat Business magazine Ivan Ivanovich Radchenko.

*Keywords:* history of the peat industry, Instorf, Peat committee, peat production, Peat Business magazine, Radchenko Ivan Ivanovich.

**В** 2013 году исполняется 140 лет со дня рождения одного из выдающихся деятелей торфяного дела, организатора советской торфяной отрасли *Ивана Ивановича Радченко*.



*Иван Радченко* родился 23 октября 1874 г. в г. Конотопе Черниговской губернии в многодетной семье купца 2-й гильдии, мелкого лесопромышленника *Ивана Леонтьевича Радченко*. Всего в семье было 11 детей.

Окончил Конотопское городское училище, поступил учеником на лесопильный завод, с 1891 г. работал приказчиком на лесных разработках и лесопилках Черниговской губернии. Отец погиб на строительных работах.

С 1895 г. *Иван Радченко* – профессиональный революционер (по примеру своего старшего брата *Степана Радченко*, студента Петербургского технологического института). Затем переехал в Петербург, поступил на счетоводные курсы, затем работал табельщиком бронезакалочной мастерской Ижорского завода. В 1899 г. работал конторщиком в управлении Николаевской железной дороги.

Член Петербургского «Союза борьбы за освобождение рабочего класса» с 1898 года, член Петербургского комитета РСДРП с 1902 года, член Организационного комитета по созыву 2-го съезда РСДРП. Петербургский агент газеты «Искра» в 1900 году. Организатор подпольной типографии в Кишиневе в 1901–1902 годах.

4 ноября 1902 года был арестован на вокзале в г. Пскове. Провел 8 месяцев заключения в Доме предварительного заключения и Петропавловской крепости в Петербурге. В тюремной церкви обвенчался со своей первой женой,

студенткой-медичкой *Александрой Ильиничной Шишкиной* (умерла от тифа в 1906 году во время медицинской практики).

В 1902–1905 годах – ссылка до приговора в Енисейскую губернию, затем Якутию. В августе 1905 года бежал из ссылки за границу в Женеву для получения инструкций от заграничного центра по налаживанию транспорта большевистских изданий – газет «Волна», «Эхо», но вскоре вернулся и возобновил противоправительственную деятельность.

В 1905–1912 годах – на нелегальном положении. С октября 1905 года вел партийную работу в Москве, Петербурге, Баку, Харькове, Одессе.

После разгрома в Петербурге подпольной типографии «Дело» скрывался в Баку, служил в местной городской управе. В 1909 г. работал конторщиком материального отдела Харьковского паровозостроительного завода. Переехав в Одессу, поступил бухгалтером в правление Товарищества торгово-промышленных паев. Женился второй раз на *Алисе Ивановне Мейбаум*, окончившей курсы Лесгафта.

В 1912 году с помощью *Г.М. Кржижановского* стал организатором и управляющим Богородских торфоразработок («Электропередача»). В этом удаленном от полиции месте *И.И. Радченко* и *Г.М. Кржижановский* приняли на работу *В.В. Воровского*, *С.Я. Аллилуева* и других большевиков.

Председатель Богородского Совета рабочих депутатов после февральской революции 1917 года. В апреле 1917 года был приглашен Московской городской управой для организации специального торфяного отдела и новых Шатурских торфяных разработок.

Первое разведывательное путешествие торфмейстеров и инженеров на Шатурское болото состоялось в мае 1917 года. Возглавлял экспедицию *И.И. Радченко*, назначенный заведующим торфяным отделом Московской губернии.

Им была составлена проект-смета оборудования Шатурских торфяных разработок с расчетом на добычу ежегодно 6–7 миллионов пудов торфа при 50 торфяных машинах. Вместе с тем выяснилось, что необходимо арендовать и соседнее Петровско-Кобелевское торфяное болото, прилегающее к группе озер, создающих удобные условия для сооружения электрической станции.

1 июня 1917 года был утвержден первый штат в количестве 50 человек постоянных

служащих и начались работы по подготовке площади болота, оборудованию его и изысканию материалов и предметов оборудования. Уже были поставлены 345 столбов для линии электропередачи, приступили к осушке болота и добыли первые 40 тысяч пудов реznego торфа, 4150 куб. сажен пня и дров, как произошла революция, и временно работы приостановили.

В книге воспоминаний о *Ленине Радченко* писал, что в ноябре 1917 г. «приезжал со специальным поручением от Московского самоуправления изыскать в центре кредиты на организацию торфяного хозяйства в Московской губернии. Критическое положение с топливом в промышленности и на транспорте, в городском хозяйстве, в больницах и лазаретах, наконец, у самого населения заставило хвататься за этот еще малоизвестный и мало испытанный у нас в то время вид топлива. Дело было поручено мне, имевшему за своей спиной пять лет практического опыта на торфоразработках Богородской «Электропередачи» (ныне имени Классона)» [1].

28 ноября 1917 г. *И.И. Радченко*, заведующий торфяным подотделом Московской городской управы (МГУ), написал письмо в Совет народных комиссаров: «для обеспечения Москвы топливом МГУ решила организовать работы по добыче торфа. Прошу рассмотреть вопрос и ассигновать необходимую сумму для успешного продолжения начатых работ. В ближайшем будущем необходимо построить крупную электрическую станцию, сжигать местное топливо и снабжать электрической энергией Москву и пригороды, что могло бы дать экономию до 7 000 000 пудов нефти или 15 000 000 пудов каменного угля» [1].

В Смольном *В.И. Ленин* беседовал с *И.И. Радченко* об организации торфяной промышленности и строительстве будущих торфяных электростанций типа подмосковной станции «Электропередача».

*Ленин* «высказал свое удовлетворение по поводу того, что я работал по торфу и знаю это дело. *Владимир Ильич* отметил большое значение торфа как более доступного при данных обстоятельствах вида топлива, чем далекий донбасский уголь и бакинская нефть. С особенным увлечением говорил он о целом ряде будущих крупных электростанций на торфе типа Богородской «Электропередачи», о которой я рассказывал. На мой вопрос, не могу ли я быть лучше использован для

революции на какой-нибудь другой работе, он настоятельно убеждал меня остаться на работе по организации торфоразработок, так как я был одним из немногих советских специалистов в этой области», – отмечал *Радченко* [1].

19 февраля 1918 года *В.И. Ленин* встречался с *И.И. Радченко* и *А.В. Винтером* по вопросу организации торфяной промышленности. В музее Мосэнерго сохранилось удостоверение, выданное бюро совета районных дум 19 февраля 1918 года: «Заведующему городскими торфяными разработками инженеру *Радченко* и инженеру *Винтеру* в том, что они действительно командированы в г. Петроград по делам Московского городского общественного управления».

*Радченко* писал: «в эту нашу поездку с *Винтером* правительством был сделан второй шаг к организации советского торфяного дела, а по переезде правительства в Москву это дело получило свою твердую организационную базу. Рядом с другими главками был организован Главтоп с подведомственными ему Главуглем, Главнефтью и Главторфом» [1].

20 апреля 1918 года были изданы декреты Совета народных комиссаров «О разработке торфяного топлива», «О Главном торфяном комитете» [2].

Первым руководителем Главного торфяного комитета (Главторфа) был назначен *И.И. Радченко*.

В задачи Главторфа входили общее регулирование торфяной промышленности, учет и контроль производства торфа, содействие улучшению и развитию торфодобычания, организация опытных станций, специальных научных и учебных учреждений, усовершенствование техники и сжигания торфа.

С учреждением Главторфа все существовавшие торфоразработки были национализированы, взяты на учет, сохранены от расхищения, работали под единым контролем и руководством.

*Радченко* отмечал, что при организации Главторфа шла борьба с Наркомземом, претендовавшим на то, чтобы все управление торфяным делом находилось в его руках, так как торф следует причислять к землям, почвам, а не к недрам.

До революции немногочисленные торфоразработки находились в ведении министерства земледелия. В Положении об организации Главного торфяного комитета отдела топлива

Высшего совета народного хозяйства (ВСНХ) указывалось:

«...§ 5. Все торфяные болота, как земельные площади, находятся в ведении Комиссариата земледелия.

§ 6. После признания Главным торфяным комитетом той или иной залежи, пригодной для целей промышленной эксплуатации, Главный торфяной комитет обращается в Комиссариат земледелия с предложением передать ему данную залежь для эксплуатации...

§ 9. В состав Главного торфяного комитета входит представитель Комиссариата земледелия с решающим голосом...» [2].

Первой советской торфоразработкой было Шатурское болото. Но в 1918 году там велись лишь подготовительные работы, так как для разработки этого огромного болота требовалась целая армия торфяных рабочих и соответствующее количество продовольствия, которое рациональнее было предоставить старым, налаженным торфоразработкам. Продовольствие и кредиты на Шатурское предприятие были отпущены только осенью, по выздоровлении Ленина после августовского ранения.

Совет Народных Комиссаров принял постановление о расширении торфоразработок и электростанции «Электропередача». К работе на них были привлечены лучшие технические кадры.

С этого времени торфоразработки «Электропередачи» (торфопредприятие им. Классона) стали основной экспериментальной базой торфяной промышленности.

Конец 1918 года и весь 1919 год для Главторфа прошли под знаком добывания продовольствия для торфоразработок, в том числе и для Шатурских [1].

6 февраля 1919 года вышло постановление Совнаркома «О вывозе маршрутными поездами хлеба для торфодобывающей промышленности».

14 апреля 1919 года в Совете Обороны ставился вопрос о выдаче охранных грамот артелям торфяников на вывоз ими хлеба с места жительства на место работы. Тот же вопрос о продовольствии для торфяников ставился в Совете Обороны еще четыре раза, в апреле и мае.

19 апреля 1919 года *Радченко* был командирован на Украину для закупки в экстренном порядке продуктов рабочим государственных торфяных промыслов [3]. Удостоверение для

командировки *Радченко*, выданное Управлением делами СНК, подписанное *В.И. Лениным*, *А.Д. Цюрупой*, *Л.Б. Красиным*, *В.Д. Бонч-Бруевичем*, было составлено в чрезвычайно энергичных выражениях. В нем предписывалось властям и организациям Украины оказывать самое энергичное содействие в покупке мяса, солонины, сала и т. п., в погрузке этих продуктов, срочной отправке и беспрепятственном продвижении до места назначения [1].

В феврале 1920 года ВСНХ командировал *Радченко*, как председателя Главторфа, на Урал для обследования и организации торфяного дела в области. Кроме того, как уполномоченному Главлескома при 1-й армии труда, ему было поручено согласование и направление деятельности всех уральских гублескомов.

28 октября 1920 г. *В.И. Ленин* написал письмо в ВСНХ *А.И. Рыкову* и в Главторф *И.И. Радченко* (копии *Р.Э. Классону*, *Г.М. Кржижановскому*, *Э.М. Склянскому*), в котором сообщалось, что 30 октября вопрос о гидроторфе будет слушаться на заседании СНК. В нем излагались меры, необходимые для скорейшей реализации способа гидроторфа [4].

Оно охватывало в комплексе вопросы организации, материально-технического обеспечения, материального стимулирования и пропаганды работ по гидравлической добыче торфа.

15 декабря 1920 г. Совет Обороны принял постановление о назначении временной комиссии для выяснения плана и программы работ Центрального лесозаготовительного отдела и Главлеса. Тогда же *Радченко* был выдан мандат как председателю временной комиссии по обследованию и улучшению работ Центрального лесозаготовительного отдела и Главлеса.

С именем *Радченко* связано создание в 1922 году на базе Главторфа Центрального управления торфяной промышленности (Цуторфа). В результате слияния Цуторфа с Управлением Гидроторфа возник Государственный торфяной трест (Госторф).

Научно-экспериментальная часть Госторфа в 1926 году была преобразована в Центральный научно-исследовательский институт торфяной промышленности (Инсторф).

Инсторф находился в Москве, а его экспериментальная база – Торфяная опытная станция (ТОС) – на торфяном месторождении «Галицкий Мох» вблизи железнодорожной станции Редкино.

В 1929 году были организованы филиалы Инсторфа в Киеве, Ленинграде, в Минске.

Торфяная опытная станция (ТОС) Инсторфа – одно из первых опытно-научных учреждений, положивших начало развитию отечественной торфяной промышленности. В Редкино на ТОС были продолжены работы по переработке торфа на местном коксовальном заводе.

*Радченко И.И.* был председателем Главного торфяного комитета ВСНХ (1918–1922), Центрального управления по добыче торфа ВСНХ СССР (1922–1926), начальником управления «Торфозаводстрой».

Радченко занимался изучением роли торфа в энергетическом балансе Европейской части СССР.

В 1933 году ему была присвоена ученая степень кандидата технических наук без защиты диссертации.

*И.И. Радченко* являлся заместителем наркома внешней торговли РСФСР (1921–1922), членом Президиума, заместителем председателя Главлескома (1923–1931), членом Совета ВСНХ РСФСР, а также занимал ряд ответственных должностей в Главгеологии, объединении сахарной промышленности «Сахаротрест» (1922–1924), Средневогострое. Делегат 16-го съезда, 17-й конференции ВКП (б).

*Радченко И.И.* – директор научно-исследовательского института торфяной промышленности Инсторфа (1927–1930, 1934–1935), глава советской делегации на международной конференции энергетиков в Лондоне (1928), делегат всемирного электротехнического конгресса (1928), Лейпцигской выставки (1930), директор Геологического комитета ВСНХ (1929–1930), заместитель начальника Средневогостроя (1932–1934), начальник Управления строительством заводов по искусственному обезвоживанию торфа (1936).

*И.И. Радченко* был организатором и первым редактором журнала «Торфяное дело», выходящего с 1924 года.

В 1934 году при его участии на базе филиала Инсторфа в Минске был открыт Институт торфа АН БССР.

*И.И. Радченко* – автор многих статей о торфяном топливе, состоянии торфяной промышленности в журналах «Торфяное дело», «За индустриализацию», «Известия Инсторфа», «Экономическая жизнь», газетах «Горнорабочий», «Торгово-промышленная газета», «Правда», «Комсомольская правда»,

«Тверской край», воспоминаний, в том числе о *В.И. Ленине* [1], редактор сборников трудов о торфе.

В ночь на 16 августа 1937 года *Радченко* был арестован на посту начальника Управления по строительству и эксплуатации заводов искусственного обезвоживания торфа за участие в «антисоветской организации правых» [5].

Он обвинялся в том, что наряду с вербовкой участников контрреволюционной организации «проводил вредительскую работу, направленную на разрушение торфяной промышленности как путем срыва планов добычи торфа, так и путем создания диспропорции между добычей и сушкой торфа». Военная коллегия Верховного суда СССР 8 февраля 1938 года вынесла приговор о 25 годах «строгой изоляции».

Умер в Соль-Илецкой тюрьме Оренбургской области 1 мая (по некоторым данным [6] 1 апреля) 1942 года.

*Радченко И.И.* реабилитирован 21 июля 1954 года [7, 8].

Его сын *Алексей Радченко* окончил в 1932 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана по специальности инженер-механик по паровым двигателям. Работал в конструкторском бюро прямого котлостроения, возглавляемого *Л.К. Рамзиным*. Погиб на фронте в 1942 году [5].

Жена *И.И. Радченко* Алиса Ивановна была репрессирована, выслана во Владимир. После реабилитации жила в Москве. Умерла в 1964 году. Документы о *Радченко* передала в Музей революции (в настоящее время Музей современной истории России).

Именем *Радченко*, в соответствии с Указом Президиума Верховного Совета РСФСР, 22 апреля 1965 года был назван поселок ТОС (торфяная опытная станция) в Конаковском районе Тверской (бывшей Калининской) области [9].

Летом 1977 года в связи с 50-летием образования торфяной опытной станции в поселке Радченко был установлен памятник организатору торфяной промышленности *И.И. Радченко*.

В Российском государственном архиве экономики есть семейный фонд Радченко [10]. Там находятся материалы о работе *Радченко* на станции «Электропередача», строительстве Шатурской ГРЭС, в Главторфе, Центральном научно-исследовательском институте торфяной промышленности и др.

**Библиографический список**

1. *Радченко И.И.* Воспоминания о В.И. Ленине // В.И. Ленин во главе великого строительства: Сборник воспоминаний о деятельности В.И. Ленина на хозяйственном фронте. – 1934. – С. 7–19.
2. *Декреты Советской власти.* Том II. 17 марта – 10 июля 1918 г. – М.: Гос. издательство политической литературы, 1959.
3. ЦГАОР, ф. 130, оп. 3, д. 381, л. 275.
4. *Ленин В.И.* Письмо А.И. Рыкову и И.И. Радченко // Полное собрание сочинений. – Т. 51. – С. 319.
5. [www.energymuseum.ru](http://www.energymuseum.ru).
6. *Панин А.М.* И.И. Радченко – новые страницы жизни (к 130-летию со дня рождения) // Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии: материалы выездной секции Международной научно-практической конференции. – Тверь: ТГТУ, 2006. – 132 с.
7. Репрессированные геологи. Изд. 3-е. – М.–СПб., 1999. – 454 с.
8. ЦИАМ, ф. 723, оп. 1, д. 207; С. 1.
9. Калининская правда, 29 апреля, 1965.
10. РГАЭ, ф. 9455. 515 д.