

УДК 622.331:665.44

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТНОГО И ГРУППОВОГО СОСТАВА ТОРФОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2020 г. С. Г. Маслов<sup>1,\*</sup>, Л. И. Инишева<sup>2,\*\*</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050 Томск, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО Томский государственный педагогический университет, 634061 Томск, Россия

\*e-mail: maslovsg@tpu.ru

\*\*e-mail: inisheva@mail.ru

Поступила в редакцию 24.09.2019 г.

После доработки 02.11.2019 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

Проведена проверка возможности использования регрессионных уравнений, полученных для торфов Европейской территории России и Беларуси для условий Западной Сибири. Расчеты показали, что для определения содержания углерода, водорода, кислорода, группового состава органического вещества торфов (битумов, водорастворимых и легкогидролизующих веществ, целлюлозы и негидролизующего остатка) их использование возможно.

Ключевые слова: торф, Западная Сибирь, уравнения, элементный и групповой состав

DOI: 10.31857/S0023117720030081

### ВВЕДЕНИЕ

Торф Западной Сибири при его больших запасах мало изучен [1]. В Западной Сибири отмечается широкое распространение торфяных месторождений, преобладание значительных по площади торфяных массивов, пестрое строение торфяных залежей и широкий спектр условий водно-минерального питания, формирующих от верховых олиготрофных до низинных торфов, обогащенных известью и фосфатами [2]. Особенности ботанического состава торфов Западной Сибири позволили выделить виды торфа, не встречающиеся на европейской территории России: согровый, листовичный, пихтовый, осоково-злаковый, сосново-осоковый и др. [3]. Всего в пределах Западно-Сибирской равнины обнаружено 104 вида торфа, и разработана отдельная классификация растительного покрова болот и видов торфа Сибири [4].

В Западной Сибири ботаническая классификация включает 186 видов торфа, относящихся к трем типам и восемнадцати группам. Из них пластобразующими видами, т.е. формирующими протяженные торфяные горизонты относительно однородного состава, являются 76 видов. Состав и свойства торфов изменяются в широких пределах, что вызывает большие трудности для оценки качества торфа при производстве торфяной про-

дукции и потребность в проведении сложных аналитических работ [5, 6].

Для условий Европейской территории России на основе систематизации и статистической обработки большой выборки по свойствам торфов были выявлены корреляционные связи между содержанием в торфе растительных остатков определенного вида и содержанием отдельных компонентов ОВ торфа [7, 8]. Основные корреляционные зависимости были использованы при разработке промышленной классификации торфяного сырья. Все эти исследования связаны с возможностью получения из торфа широкого спектра веществ для химической промышленности: воска, этилового спирта, гуминовых кислот, целлюлозы, кормовых дрожжей, дубильных веществ и др. [9, 10]. Для условий Западной Сибири были проведены такие же исследования, но для сельскохозяйственного направления [11, 12].

Цель работы – проверка возможности использования регрессионных уравнений, полученных для торфов Европейской территории России и Беларуси, для торфов Западной Сибири с определением ошибки расчета элементарного и группового состава торфа по этим уравнениям.

**Таблица 1.** Характеристика торфов Центральной части Западной Сибири, отобранных для проведения расчетов

Вид торфа	R, %	A <sup>d</sup> , %	Вид торфа	R, %	A <sup>d</sup> , %
<b>ВЕРХОВОЙ ТИП</b>					
Фускум	5	1.1	Фускум	10	1.3
Фускум	5	1.5	Фускум	10	1.5
Фускум	5	1.7	Фускум	10	1.5
Фускум	5	1.7	Фускум	10	1.7
Сфагново-мочажинный	5	1.7	Магелланикум-фускум	10	1.9
Фускум	5	1.9	Комплексный	10	2.9
Фускум	5	2.3	Сфагновый, пушицевый	10	3.3
Магелланикум	5	2.7	Сфагново-мочажинный	15	2.5
Магелланикум	5	5	Сфагново-мочажинный	15	4.0
Магелланикум	15	4.2	Шейхцериевый	30	2.6
Шейхцериено-сфагновый	20	2.4	Шейхцериено-сфагновый	30	2.8
Шейхцериевый	20	2.6	Фускум	30	3.0
Сфагновый, пушицевый	25	2.9	Шейхцериено-сфагновый	35	3.0
Сфагновый, пушицевый	30	2.3	Сфагновый, пушицевый	35	3.8
Шейхцериевый	40	12.0			
<b>ПЕРЕХОДНЫЙ ТИП</b>					
Сфагновый	10	7.1	Сфагновый	20	6.2
Осоково-сфагновый	20	3.6	Шейхцериевый	20	8.4
Травяной	25	9	Осоковый	40	4.9
Осоково-сфагновый	30	4.4	Осоковый	30	4.7
Шейхцериевый	35	4.4	Осоковый	35	5.7
<b>НИЗИННЫЙ ТИП</b>					
Травяно-гипновый	20	7.5	Травяно-гипновый	20	8.3
Гипновый	20	14.2	Травяной	25	4.2
Древесно-осоковый	25	6.0	Травяной	25	7.2
Гипновый	25	9.0	Травяно-гипновый	25	9.2
Осоково-гипновый	25	9.7	Осоковый	30	4.5
Древесно-травяной	30	5.3	Древесно-травяной	30	9.2
Осоковый	30	10.0	Травяно-гипновый	30	10.8
Древесный	30	13.5	Гипновый	30	24.7
Древесно-травяной	35	7.6	Осоковый	35	8.4
Древесный	35	9.3	Гипновый	35	9.6
Травяной	35	14.3	Травяно-гипновый	35	14.9
Травяной	35	20.5	Травяно-гипновый	35	21.2
Древесно-травяной	35	21.4	Травяно-гипновый	35	21.4
Осоково-гипновый	35	22.3	Осоково-гипновый	35	36.8
Травяно-моховой	40	7.6	Травяной	40	9.7
Гипновый	40	11.1	Травяно-гипновый	40	21.4
Травяно-гипновый	40	30.5	Травяно-гипновый	40	36.4
Травяной	45	5.9	Осоково-гипновый	45	7.9
Древесно-травяной	45	14.8			

**Таблица 2.** Уравнения регрессии для определения элементарного и группового состава торфа

Коррелирующая величина		Уравнение регрессии	Ошибка уравнений	
функция $y$	аргумент			
	$X_1$			$X_2$
Углерод	$R$	$A^d$	$y = 0.18X_1 - 0.03X_2 + 52.3$	$\pm 1.16$
Водород	$R$	$A^d$	$y = 0.02X_1 - 0.03X_2 + 5.6$	$\pm 0.21$
Азот	$R$	$A^d$	$y = 0.0043X_1 + 0.123X_2 + 1.26$	$\pm 0.26$
Сера	$R$	$A^d$	$y = 0.0009X_1 + 0.05X_2 + 0.8$	$\pm 0.15$
Кислород	$R$	$A^d$	$y = 100 - (C + H + N + S)$	–
Битумы бензолные	$R$	$A^d$	$y = 0.21X_1 - 0.68X_2 + 3.6$	$\pm 1.38$
Водорастворимые и легко-гидролизуемые вещества	$R$	$A^d$	$y = -0.68X_1 - 0.27X_2 + 50.3$	$\pm 3.12$
Редуцирующие вещества	$R$	$A^d$	$y = -0.39X_1 - 0.35X_2 + 29.9$	$\pm 3.00$
Гуминовые кислоты	$R$	$A^d$	$y = 0.54X_1 + 0.94X_2 + 12.7$	$\pm 3.03$
Фульвокислоты	$R$	$A^d$	$y = 0.0028X_1 - 0.073X_2 + 17.0$	$\pm 2.30$
Целлюлоза	$R$	$A^d$	$y = -0.16X_1 - 0.29X_2 + 10.6$	$\pm 1.16$
Негидролизуемый остаток	$R$	$A^d$	$y = 0.0525X_1 + 0.37X_2 + 6.3$	$\pm 1.90$

Примечание.  $R$  – степень разложения,  $A^d$  – зольность.

### ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения работы использовали ранее полученные результаты по характеристике 22 типичных видов торфа Центральной части Западной Сибири: восемь видов верхового типа – фускум, сфагново-мочажинный, магелланикум-фускум, комплексный, сфагновый-пушицевый, шейхцериново-сфагновый, шейхцериновый, магелланикум; пять видов переходного типа – сфагновый, осоково-сфагновый, шейхцериновый, травяной, осоковый; девять видов низинного типа – травяно-гипновый, гипновый, травяной, древесно-осоковый, осоково-гипновый, осоковый, древесно-травяной, древесный, травяно-моховой. Их характеристика представлена в табл. 1.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Влажность торфа определяли по ГОСТ 11305–83, зольность – по ГОСТ 11306–83, содержание углерода и водорода – по ГОСТ 24084–98, серы – по ГОСТ 8606–93, азота – по ГОСТ 28743. Групповой состав торфа был определен по методу Инсторфа [13]. После проведения группового химического анализа торфа каждая группа веществ (битумы, ВРВ и ЛГВ, ГК и т.д.) исследовалась на корреляционные связи. Данные по элементному и групповому составу были приведены в [14–16]. Исследование взаимных связей между свойствами торфа необходимо в первую очередь для выбора показателей, с помощью которых с достаточной для практических целей точностью можно

охарактеризовать его как сырье для определения направлений использования в народном хозяйстве.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Метод множественной корреляции дает возможность получить для торфа количественные зависимости, которые будут не только характеризовать взаимосвязи изучаемого сырья, но и могут служить основой для прогнозирования характеристик аналогичных объектов. Для комплексной характеристики торфа важно знать два параметра – степень разложения и зольность, которые должны входить в уравнение регрессии в качестве аргумента. Значения большинства других свойств торфа или компонентов состава его органического вещества можно установить определяя искоемую величину как функцию двух аргументов, т.е. по уравнениям множественной регрессии (табл. 2).

Рассмотрим пример расчета содержания углерода для фускум-торфа верхового типа. Подставим в уравнения регрессии  $R$  и  $A^d$  (соответственно степень разложения и зольность):

$$y = 0.18x_1 - 0.03x_2 + 52.3,$$

$$y = 0.18 \cdot 5 - 0.03 \cdot 1.1 + 52.3,$$

$$(x_1 = R = 5, x_2 = A^d = 1.1),$$

$$y = 53.17.$$

Находим ошибку между расчетным и экспериментальным значениями, равную 0.03. По вели-

Таблица 3. Сводные результаты по элементному составу торфа

Коррелирующая величина	Уравнение регрессии, функция $y$ , аргументы $x_1 = R, x_2 = A^d$	Ошибка уравнения			
		литературные данные	рассчитанный результат		
			верховой тип	переходный тип	низинный тип
Углерод	$y = 0.18x_1 - 0.03x_2 + 52.3$	$\pm 1.16$	$\pm 0.20$	$\pm 0.23$	$\pm 0.21$
Водород	$y = 0.02x_1 - 0.03x_2 + 5.6$	$\pm 0.21$	$\pm 0.33$	$\pm 0.26$	$\pm 0.33$
Азот	$y = 0.0043x_1 + 0.123x_2 + 1.26$	$\pm 0.26$	$\pm 0.65$	$\pm 0.42$	$\pm 0.54$
Сера	$y = 0.0009x_1 + 0.05x_2 + 0.8$	$\pm 0.15$	$\pm 1.02$	$\pm 0.87$	$\pm 1.08$
Кислород	$y = 100 - (C + H + N + S)$	–	$\pm 0.26$	$\pm 0.30$	$\pm 0.29$

Таблица 4. Сводные результаты по групповому составу торфа

Коррелирующая величина	Уравнение регрессии, функция $y$ , аргументы $x_1 = R, x_2 = A^d$	Ошибка уравнения			
		литературные данные	рассчитанный результат		
			верховой тип	переходный тип	низинный тип
Битумы бензолные	$y = 0.21x_1 - 0.68x_2 + 3.6$	$\pm 1.38$	$\pm 0.44$	$\pm 0.52$	$\pm 0.64$
Водорастворимые и легкогидролизующие вещества и редуцирующие вещества	$y = -0.68x_1 - 0.27x_2 + 50.3$	$\pm 3.06$	$\pm 0.64$	$\pm 0.57$	$\pm 0.49$
	$y = -0.39x_1 - 0.35x_2 + 29.9$				
Гуминовые кислоты и фульвокислоты	$y = 0.54x_1 + 0.94x_2 + 12.7$	$\pm 3.06$	$\pm 0.35$	$\pm 0.37$	$\pm 0.40$
	$y = 0.0028x_1 - 0.073x_2 + 17.0$				
Целлюлоза и негидролизующий остаток	$y = -0.16x_1 - 0.29x_2 + 10.6$	$\pm 1.16$	$\pm 0.45$	$\pm 0.41$	$\pm 0.43$
	$y = 0.0525x_1 + 0.37x_2 + 6.3$				

чине коэффициентов корреляции находим ошибку уравнения регрессии. Полученную ошибку сравниваем с ошибкой, указанной в работе [13] (табл. 3). Получаем, что ошибка, которая была рассчитана, дает более точное значение содержания углерода в элементном составе торфа, потому что ошибка, указанная в табл. 3, больше  $0.03 < 1.16$ . Результаты по другим элементам (водород, азот, сера, кислород и группам органического вещества) для разных видов торфа рассчитывались подобным же образом.

Рассчитанные ошибки для элементного и группового составов рассматриваемых видов торфа объединены в табл. 3 и 4. Из табл. 3 видно, что ошибка при расчете содержания углерода по уравнению регрессии колеблется в пределах  $0.20-0.23$ , что значительно ниже, чем в [13]. Ошибка при определении содержания водорода изменяется от  $0.26$  до  $0.33$ , что выше, чем в [13]. При определении ошибки при расчете содержания азота интервал ошибки составляет  $0.4-0.65$ , что более чем в 2 раза превышает данные [13]. Наибольшие ошибки получились при расчете содержания серы – от  $0.87$  до  $1.08$ . Ошибка при рас-

чете кислорода тоже незначительна  $0.26-0.30$ . Таким образом, для расчета содержания углерода, водорода и кислорода для торфов Западной Сибири можно использовать предлагаемые в работе [13] уравнения регрессии, выведенные для торфов Европейской части России и Беларуси.

В табл. 4 ошибка при расчете содержания битумов по уравнению регрессии изменяется в пределах  $0.44-0.64$ , что ниже, приведенных данных в [13]. Ошибка при определении содержания водорастворимых и легкогидролизующих веществ колеблется от  $0.49$  до  $0.64$ , что значительно ниже, чем данные в [13]. При расчете содержания гуминовых и фульвокислот ошибка изменяется в интервале  $0.35-0.40$ , что более чем в 8 раз ниже данных в [13]. Наиболее благоприятные результаты получились при расчете содержания целлюлозы с негидролизующим остатком – ошибка составила  $0.41-0.45$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, уравнения, разработанные И.И. Лиштваном и Н.Т. Королем [13], можно

ориентировочно использовать для характеристики элементного и группового составов торфов Западной Сибири, не проводя трудоемких анализов, а ограничиваясь определением степени разложения и зольности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болота Западной Сибири – их роль в биосфере / Под ред. А.А. Земцова. Томск: ТГУ, СибНИИТ, 1998. 72 с.
2. Львов Ю.А. // Природные ресурсы Томской области. Новосибирск: Наука, 1991. С. 67.
3. Торфяные ресурсы мира / В.В. Марков, А.С. Оленин, Л.А. Оспенникова, Е.И. Скобеева, П.И. Хорошев. М.: Наука, 1988. 384 с.
4. Классификация растительного покрова и видов торфа Центральной части Западной Сибири. М.: Мингео РСФСР. Трест “Геолторфразведка”, 1975. 150 с.
5. Кашинская Т.Я. // ХТТ. 2017. № 6. С. 47.
6. Иванов А.А., Юдина Н.В., Савельева А.В. // ХТТ. 2011. № 6. С. 45.
7. Король Н.Г., Марков В.Д., Стеклов Н.А. // Торфяная пром-сть. 1990. № 8. С. 8.
8. Лиштван И.И. // ХТТ. 1996. № 3. С. 3.
9. Albuzio A., Nardi S., Gulli A. // Sci. Total Environment. 1989. V. 81/82. P. 671.
10. Hassan A., Yasir A., Abdul R., Dost M. // Intern. J. Agriculture and Crop Sci. 2014. V. 7(4). P. 196.
11. Инишева Л.И., Маслов С.Г. // ХТТ. 2015. № 2. С. 201.
12. Инишева Л.И., Дементьева Т.В., Маслов С.Г. // Агрохимия. 2017. № 5. С. 48.
13. Лиштван И.И., Король Н.Г. Основные свойства торфа и методы их определения. М.: Наука и техника, 1975. 232 с.
14. Архипов В.С., Маслов С.Г. // ХТТ. 1998. № 4. С. 9.
15. Маслов С.Г., Шинкеева Н.А. Химический состав торфов Васюганского месторождения // Матер. VIII Сиб. совещ. по климатологическому мониторингу. Томск. 2009. С. 266.
16. Шинкеева Н.А., Маслов С.Г., Архипов В.С. // Вестн. ТГПУ. 2009. № 3. С. 116.