

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-5-90-99

УДК 631.417.2 : 631.95

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНО-ГРУППОВОГО СОСТАВА ГУМИНОВЫХ
КИСЛОТ БУРЫХ УГЛЕЙ НА ИХ БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ
В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ**

**ASSESSMENT OF THE STRUCTURAL-GROUP COMPOSITION OF HUMIC ACID
FROM BROWN COALS IMPACT ON THEIR BIOLOGICAL ACTIVITY IN CON-
DITIONS OF TECHNOGENIC LANDSCAPES**

Соколов Денис Александрович¹,
кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, e-mail: sokolovdenis@issa-siberia.ru
Sokolov Denis A.¹, candidate of biol. sciences, senior researcher

Добрянская Светлана Леонидовна²,
кандидат биол. наук, доцент, e-mail: slb85@bk.ru
Dobryanskaya Svetlana L.², candidate of biol. sciences, associate professor,

Андроханов Владимир Алексеевич¹,
доктор биол. наук, зав. лабораторией, e-mail:
androhan@yandex.ru
Androkhanov Vladimir A.¹, Dr. B.s, head laboratory

Клековкин Сергей Юрьевич¹,
сотрудник лаборатории, ведущий инженер, e-mail: klekovkin@issa-siberia.ru
Klekovkin Sergey Yu.², laboratory staff, lead engineer

Госсен Игорь Николаевич¹,
кандидат биол. наук, научный сотрудник, e-mail: igor-gossen@yandex.ru
Gossen Igor' N.¹, candidate of biol. sciences, research fellow

Жеребцов Сергей Игоревич³,
зав. лабораторией, доктор хим. наук, e-mail: sizh@yandex.ru.
Zherebtsov Sergey I.³, head of laboratory, D.Sc.

Малышенко Наталья Васильевна³,
кандидат хим. наук, научный сотрудник, e-mail: profkemsc@yandex.ru.
Malysenko Natal'ya V.³, candidate him. science, researcher

Вотолин Константин Сергеевич³,
инженер, аспирант, e-mail: kostvot@mail.ru
Votolin Konstantin S.³, engineer, postgraduate

Дугаржав Жигжидсурен⁴,
кандидат хим. наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: dugar21mn@yahoo.com.
Dugarzhav Zhigzhidsuren⁴, candidate him. science, leading researcher

¹ Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, Россия, г. Новосибирск, Проспект Ак. Лаврентьева, 8/2

¹Institute of soil science and Agrochemistry of the Siberian branch of Russian Sciences, 630090, Russia, Novosibirsk, Avenue Ac. Lavrentieva, 8/2

² Новосибирский государственный аграрный университет, 630039, Россия, г. Новосибирск, Добролюбова, 160

²Novosibirsk state agrarian University, 630039, Russia, Novosibirsk, Dobrolyubova, 160

³Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, 650000, Россия, г. Кемерово, Советский пр. 18

³Federal research center of coal and coal chemistry of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, 650000, Russia, Kemerovo, Soviet ave. 18

⁴ Институт химии и химической технологии Монгольской академии наук, 13330, Монголия, г. Улан-Батор, Проспект мира, 4-е здание

⁴Institute of chemistry and chemical technology of the Mongolian Academy of Sciences, 13330, Mongolia, Ulaanbaatar, prospect Mira, 4th building

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-55-91033 «Разработка научных основ модифицирования гуминовых препаратов с целью повышения их биологической активности и применения в борьбе с опустыниванием»

Аннотация: *Посредством фитотестирования в серии лабораторных и полевых испытаний оценена биологическая активность гуминовых кислот, выделенных из углей Канско-Ачинского и Южно-Уральского бассейнов. Установлено, что более высокой биологической активностью обладают гуматы, полученные из естественно-окисленных форм бурого угля. Выявлено, что в условиях достаточного увлажнения эффективность препаратов определяется степенью их ароматичности, при дефиците влаги – гидрофильно-гидрофобным параметром. Отмеченные изменения связи биологической активности и параметров структурно-группового состава гуматов показывают, что выбор сырья и способов получения должны быть направлены на формирование свойств гуминовых кислот, отвечающих эдафическим, макроклиматическим и погодным условиям использования.*

Ключевые слова: *гуминовые препараты, биологическая активность, техногенный ландшафт, рекультивация, индекс фитоактивности, энергия прорастания семян, техногенный элювий, плодородный слой почвы.*

Abstract: *The biological activity of humic acids produced from the coals of the Kansk-Achinsk and South Ural basins was evaluated by means of phyto-testing in a series of laboratory and field experiments. It was found that humates obtained from naturally oxidized forms of brown coal have higher biological activity. It was shown that in conditions of sufficient moisture the effectiveness of products is determined by the degree of their aromaticity, with a deficit of moisture – by hydrophilic-hydrophobic parameter. The noted changes in the relationship of biological activity and parameters of the structural-group composition of humates show that the choice of raw materials and methods of production should be aimed at the formation of properties of humic acids adequate for edaphic, macroclimatic and weather conditions of use.*

Key words: *Humic products, biological activity, technogenic landscape, reclamation, phyto-activity index, energy of seeds germination, technogenic eluvium, the fertile layer of the soil.*

Актуальность работы: Пожалуй, общеизвестно, что развитие постиндустриальной экономики вовсе не приводит к сокращению объемов промышленного производства и темпов извлечения полезных ископаемых. Напротив, повсеместное внедрение инновационных технологий сопровождается ростом добычи, прежде всего, энергетических ресурсов. В 2017 году только в России было добыто 407,8 млн. тонн угля [1, 2]. Такие масштабы неизбежно влекут за собой превращение сотен тысяч гектаров естественных ландшафтов в техногенные и, как следствие, приводят к экологическому дисбалансу в угледобывающих регионах [3]. В результате рекультивация нарушенных земель, необходимая для восстановления биологической продуктивности нарушенных территорий, становится актуальной сельскохозяйственной и экологической задачей [4].

В то же время отходы угольной промышленности – важный и перспективный источник получения гуминовых веществ, обладающих высокой биологической активностью [5,6]. Они могут быть использованы в качестве стимуляторов роста и развития ряда культур, в том числе используемых для биологической рекультивации [7]. Установлено, что эффективность гуминовых препаратов

значительно выше при возделывании их на почвах с низким содержанием гумуса и высокой степенью ксероморфизма [8]. Кроме того, способность гуминовых веществ сорбировать токсичные соединения дает возможность применять эти препараты при мелиорации загрязненных территорий [9].

Цель работы: Поэтому целью исследований стало выявление связи биологической активности и структурно-группового состава гуминовых кислот, полученных из бурых углей различными способами.

Объекты и методы исследования: В качестве сырья для получения гуминовых кислот были выбраны гумусовые бурые угли Тисульского месторождения Канско-Ачинского бассейна (БУТС), их естественно-окисленная форма (БУТСО), а также угли Тюльганского месторождения Южно-Уральского бассейна (БУТ). Гуминовые кислоты получали из гуматов натрия (Hum Na) или калия (Hum K) осаждением из раствора при добавлении соляной кислоты [10]. Проведена наработка опытных образцов гуматов натрия и калия из бурого угля и его естественно-окисленной формы [11]. Образцы гуматов охарактеризованы элементарно-техническим и функциональным анализами, ¹³C

Таблица.1. Технический и элементный анализ образцов ГК, %

Table.1. Technical and elemental analysis of HA samples, %

Шифр образца	W ^a	A ^d	C ^{daf}	H ^{daf}	(O+N+S) ^{daf} , по разности
HumNa БУТ 30	0,55	20,49	61,55	8,56	29,89
HumNa БУТ 31	0,67	13,43	53,22	10,49	36,29
HumNa БУТСО	10,6	10,87	59,73	6,23	34,04
HumK БУТСО	4,58	17,01	46,15	3,21	50,64
HumNa БУТС	3,76	1,92	59,79	3,47	36,74

Таблица.2. Интегральные интенсивности спектральных областей и структурные параметры образцов углей и гуминовых кислот по данным ¹³C ЯМР, %

Table.2. The integral intensity of the spectral zones and the structural parameters of the samples of coals and humic acids according to ¹³C NMR, %

Шифр образца	Химический сдвиг, м.д.							Структурные параметры		
	220-187	187-165	165-145	145-108	108-90	90-48	48-5	f _a	f _{h/h}	f _{ar/al}
	C=O	COOH(R)	C _{Ar-OH}	C _{Ar}	C _{O-Alk-O}	C _{Alk-O}	C _{Alk}			
HumNa БУТ 30	1,5	6,4	8,5	26,0	5,2	15,2	37,3	34,5	0,6	0,6
HumNa БУТ 31	2,4	7,6	8,5	25,2	4,2	12,2	39,9	33,7	0,5	0,6
HumNa БУТСО	3,5	7,4	8,2	31,7	6,3	14,8	26,8	39,9	0,7	0,8
HumK БУТСО	3,8	6,7	9,5	33,1	6,3	14,0	25,4	42,6	0,7	0,9
HumNa БУТС	1,0	8,2	6,7	51,1	3,4	7,3	22,4	57,8	0,4	1,7

ЯМР-спектроскопией (табл. 1,2) .

- daf – dryashfree – сухое беззольное состояние образца. (расчетное).

Спектры ¹³C-ЯМР высокого разрешения в твердом теле регистрировались на приборе «Bruker AVANCE III 300 WB» на частоте 75 МГц с использованием стандартной методики кросс-поляризации и вращением под магическим углом (CPMAS).

На основании анализа литературных данных [12, 13, 14] для обнаружения связи структурно-группового состава ГК с их биологической активностью нами были выбраны три параметра, вычисленных по данным ¹³C ЯМР (CPMAS):

- степень ароматичности $f_a = C_{Ar-OH} + C_{Ar}$;
- гидрофильно-гидрофобный параметр $f_{h/h} = (C=O + COOH(R) + C_{Ar-OH} + C_{O-Alk-O} + C_{Alk-O}) / (C_{Ar} + C_{Alk})$;
- ароматичность/алифатичность $f_{ar/al} = (C_{Ar-OH} + C_{Ar}) / (C_{O-Alk-O} + C_{Alk-O} + C_{Alk})$.

Оценка биологической активности препаратов проводилась посредством фитотестирования. В ходе исследования для различных вариантов устанавливались не только эффекты, стимулирующие развитие растений, но и подавление тех или иных тест-функций. Биологическую активность ГП оценивали по трём тест-функциям: энергия прорастания семян (ЭП), длина корней (ДК), длина

проростков (ДП). Для формализации полученных величин тест-функций рассчитывали интегральный индекс фитоактивности (ИФ) гуминовых препаратов, который отражает отклонения величины тест-функции от контроля (дистиллированная вода) [15]. Величина ИФ является обобщающим индексом и вычисляется как средняя величина суммы показателей ЭП, ДК и ДП, выраженная в долях единицы.

Для фитотестирования были выбраны семена двудольных растений семейства крестоцветных – редис сорта Смак и однодольных семейства злаковых – яровая пшеница сорта Новосибирская 89. Семена предварительно проверяли на всхожесть, для опытов отбирали партии со всхожестью семян не менее 90 %. Поскольку концентрированный раствор гуминовых кислот может негативно влиять на рост и развитие растений, его концентрацию разбавляли до 0,02%. Перед опытами семена растений замачивали в растворе на 1 сутки.

Полевые испытания гуминовых препаратов проводились на опытно-производственной площадке на территории разреза «Заречный» АО «СУЭК-Кузбасс», расположенной в лесостепной зоне Кузнецкой котловины. Варианты полевого опыта включали три площадки отличающихся технологией формирования, и как следствие, различными физическими и химическими свойствами

Таблица.3. Основные физические и химические свойства субстратов
Table.3. Basic physical and chemical properties of substrates

Субстрат	Каменистость, %	Плотность, г/см ³	Содержание органического углерода, %	pH _{вод}
Техногенный элювий (ТЭ)	61	1,6	2,7	7,5
Плодородный слой почвы (ПСП)	0	1,2	3,1	7,2
Торф (Т)	0	0,83	30,3	6,8

Таблица. 4. Величины тест-функций и интегральный индекс фитоактивности гуминовых препаратов в опыте с редисом
Table. 4. Values of the test-functions and the integral index of the biological activity of humic products in experiment with radish seeds

Вариант	Энергия прорастания	Длина корней	Длина проростков	Индекс фитоактивности
	% к контролю			
Hum Na БУТ 30	100,8	135,8	113,6	1,17
Hum Na БУТ 31	106,4	145,2	178,6	1,43
Hum Na БУТСО	112,0	183,4	137,3	1,44
HumK БУТСО	112,0	165,3	124,3	1,34
HumNa БУТС	112,0	185,5	120,9	1,39

ми (табл. 3). Сочетания свойств субстратов способствует дифференциации степени увлажненности опытных площадок.

На участке, сложенном *техногенным элюви-ем*, был проведен только горнотехнический этап рекультивации посредством выравнивания поверхности. Поверхность участка сформирована хаотичной смесью плотных (аргиллиты, алевролиты и песчаники) и рыхлых (лессовидные карбонатные суглинки) осадочных пород. Благодаря свойствам субстрата участок характеризуется высокой степенью ксероморфизма, проявляющейся в дефиците влаги, необходимой для роста и развития растений.

Участок с нанесением ПСП был сформирован посредством нанесения на поверхность, представленную техногенным элювием, плодородного слоя почвы мощностью 50 см. Наличие плодородного слоя в корнеобитаемой зоне способствует формированию на участке условий оптимального увлажнения.

Третий участок сформирован посредством послойной отсыпки тяжелых лессовидных суглинков и органогенного материала, представленного торфом. В результате благодаря высокой водоудерживающей способности торфа, который лежит на малопроницаемых для влаги суглинках, периодически на участке формируются условия избыточного увлажнения [16,17].

Для оценки эффективности применения гуматов натрия и калия в качестве стимуляторов роста сельскохозяйственных культур в условиях техно-

генных ландшафтов были заложены опытные деланки площадью 2 м². Опыт закладывали в трехкратной повторности.

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом определения коэффициента ранговой корреляции Спирмена при помощи пакета программ Microsoft Office Excel 2007.

Результаты исследований: Результаты лабораторных опытов по оценке влияния гуминовых кислот на развитие двудольных крестоцветных растений показывают, что применение всех исследуемых препаратов положительно сказывается на энергии прорастания семян, длине корней и проростков (табл. 4). В наибольшей степени замачивание семян редиса в растворах гуминовых кислот сказалось на длине их корней. В результате интегральный индекс фитоактивности гуминовых кислот находится в пределах от 1,17 до 1,44 по сравнению с контролем. При этом минимальные и максимальные значения свойственны, соответственно, гуматам, полученным из углей Тюльганского (Hum Na БУТ 30) и естественно-окисленной формы бурого угля Тисульского месторождения (Hum Na БУТСО).

Статистическая обработка полученных значений показала достоверную связь индекса фитоактивности с параметрами f_a и $f_{ar/al}$ структурно-группового состава гуминовых кислот (табл. 5), которая определяется интенсивностью спектральных областей, отражающих доли углерода C_{Ar} и C_{Alk} , а также C_{Ar-OH} и C_{Alk-O} . В меньшей степени, но

Таблица. 5. Коэффициенты корреляции (Спирмена при $n=30$) между показателями тест-функций редиса и интенсивностью спектральных областей, а также структурными параметрами образцов гуминовых кислот

Table. 5. Correlation coefficients (by Spearman with $n=30$) between the indications of the test-functions of the radish and the intensity of the spectral zones, as well as the structural parameters of the humic acids samples

Показатель	Химический сдвиг, м.д.							Структурные параметры		
	220-187	187-165	165-145	145-108	108-90	90-48	48-5	f_a	$f_{h/h}$	$f_{ar/al}$
	C=O	COOH(R)	C _{Ar} -OH	C _{Ar}	C _{O-Alk} -O	C _{Alk} -O	C _{Alk}			
ЭП*	0,17	0,19	-0,06	0,22	0,05	-0,14	-0,31	0,24	0,01	0,22
ДК	0,15	0,50	-0,39	0,63	0,02	-0,39	-0,74	0,63	-0,12	0,61
ДП	0,17	0,31	0,10	-0,34	-0,18	-0,02	0,43	-0,35	0,01	-0,32

– цветом выделены достоверные значения

*ЭП – энергия прорастания, ДК – длина корней, ДП – длина проростков.

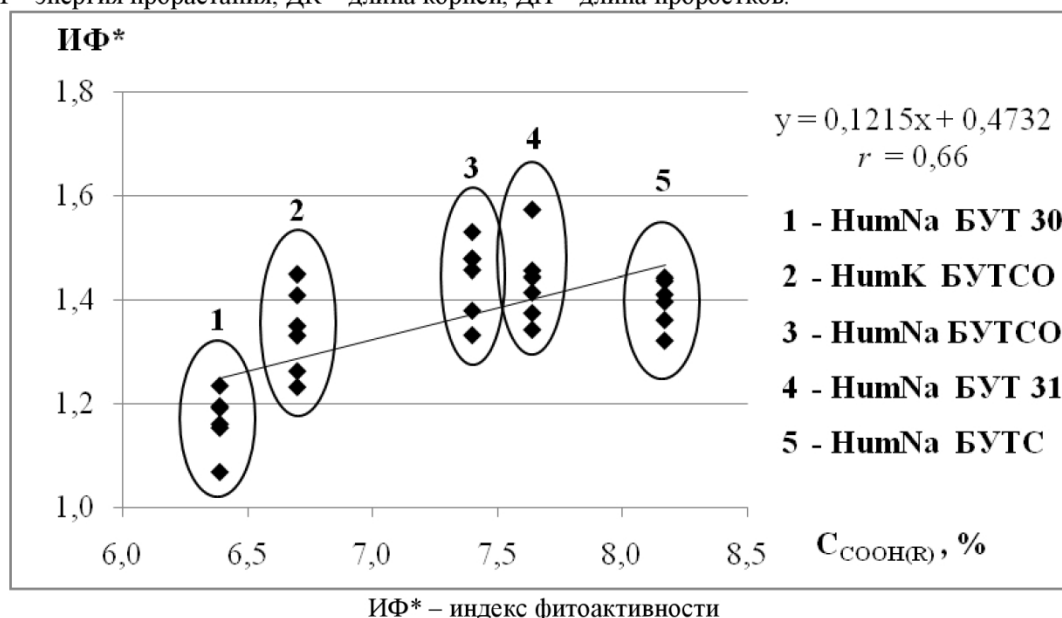


Рис. 1. Связь интегрального индекса фитоактивности с интенсивностью спектральных областей карбоксильных групп гуминовых кислот ($n=30$)

Fig. 1. The relation of the integral index of phyto-activity to the intensity of the spectral zones of carboxylic groups of humic acids ($n=30$)

на достаточно высоком уровне, на длину корней влияет количество карбоксильных групп, фиксируемых по химическому сдвигу в области 165-187 м.д.

Оценивая связь свойств гуминовых кислот с интегральным индексом фитоактивности, следует отметить, что корреляционная зависимость наблюдается только с показателем, отвечающим за часть спектра 165-187 м.д. Коэффициент корреляции линейной функции, описывающий зависимость, равен 0,66 (рис. 1).

Результаты лабораторных опытов по оценке влияния гуминовых кислот на развитие однодоль-

ных злаковых растений показывают, что применение большинства исследуемых препаратов положительно сказывается на энергии прорастания семян, длине корней и проростков (табл. 6). Отрицательный эффект на длину корней пшеницы оказали гуминовые кислоты, полученные из бурого угля Тюльганского месторождения (Hum Na БУТ 31). В результате интегральный индекс фитоактивности гуминовых кислот находится в пределах от 0,94 до 1,38. Минимальные и максимальные значения свойственны, соответственно, гуматам, полученным из бурых углей Тюльганского (Hum Na БУТ 31) и Тисульского месторождений (Hum

Таблица. 6. Величины тест-функций и интегральный индекс фитоактивности гуминовых препаратов в опыте с пшеницей

Table. 6. Values of test-functions and integrated index of phyto-activity of humic products in the experiment with wheat

Вариант	Энергия прорастания	Длина корней	Длина проростков	Индекс фитоактивности
	% к контролю			
Hum Na БУТ 30	100,0	143,2	145,7	1,30
Hum Na БУТ 31	100,0	71,5	111,3	0,94
Hum Na БУТСО	100,0	125,7	133,8	1,20
HumK БУТСО	100,0	127,2	135,4	1,21
HumNa БУТС	100,0	146,7	168,5	1,38

Таблица. 7. Коэффициенты корреляции (Спирмена при n=30) между показателями тест-функций пшеницы и интенсивностью спектральных областей, а также структурными параметрами образцов гуминовых кислот

Table. 7. Correlation coefficients (by Spearman with n=30) between the indications of the test-functions of wheat and the intensity of the spectral zones, as well as structural parameters of humic acids samples

Показатель	Химический сдвиг, м.д.							Структурные параметры		
	220-187	187-165	165-145	145-108	108-90	90-48	48-5	f _a	f _{h/h}	f _{ar/al}
	C=O	COOH(R)	C _{Ar} -OH	C _{Ar}	C _{O-Alk} -O	C _{Alk} -O	C _{Alk}			
ДК*	-0,16	-0,12	-0,18	0,31	0,07	-0,06	-0,35	0,31	-0,07	0,29
ДП	-0,27	0,09	-0,31	0,39	-0,15	-0,26	-0,31	0,39	-0,26	0,38
ИФ	-0,22	-0,02	-0,26	0,37	-0,04	-0,16	-0,36	0,37	-0,17	0,36

– цветом выделены достоверные значения

*ДК – длина корней, ДП – длина проростков, ИФ – индекс фитоактивности.

Na БУТС).

В ряду исследуемых тест-функций пшеницы наибольшая эффективность препаратов проявляется на величине длины проростков. Поэтому именно этот показатель вместе с интегральным индексом фитоактивности демонстрирует связь с параметрами f_a и f_{ar/al} структурно-группового состава (табл. 7).

Так же, как в варианте с редисом, корреляционная зависимость индекса от свойств гуминовых кислот определяется интенсивностью спектральных областей, отражающих доли углерода C_{Ar} и C_{Alk}. Однако коэффициенты корреляции свойств гуминовых кислот и тест-функций проростков пшеницы в лабораторных опытах характеризуются минимальными значениями пределов достоверности.

Результаты полевых испытаний, проводимые в условиях техногенных ландшафтов, позволили оценить эффективность гуминовых препаратов на всходах пшеницы (рис. 2). Они показали, что большинство гуминовых кислот оказывают положительное влияние на растения в условиях дефицитного и оптимального увлажнения. Количество всходов пшеницы на участке с нанесением торфа

(Т) было ниже или осталось на уровне контроля, что, по всей видимости, связано с достаточным количеством в почвенном растворе гуминовых веществ торфа. В большей степени положительное влияние на всходы оказали гуматы натрия из углей Тисульского месторождения (Hum Na БУТСО и Hum Na БУТС), в меньшей гумат калия (Hum K БУТСО) и препараты, выделенные из углей Тюльганского месторождения (Hum Na БУТ 30).

Схожая, но менее выраженная тенденция разнонаправленного действия различных препаратов на посевы пшеницы проявилась также в фазы третьего листа и кущения. Систематизация полученных результатов и соотнесение их со свойствами гуматов позволили выявить ряд зависимостей (табл. 8). Во-первых, в условиях достаточного увлажнения прослеживается тесная корреляционная связь фазовых показателей всходов пшеницы со степенью ароматичности (f_a), а также параметром, характеризующим отношение ароматической составляющей к алифатической (f_{ar/al}). При этом в случае с торфом отмеченная связь меняет свой знак с отрицательного на положительный, что, вероятно, является результатом пролонгированно-

го действия испытываемых гуминовых кислот. Еще одна зависимость наиболее ярко проявилась после статистической обработки результатов опы-

та с техногенным элювием. В условиях дефицита влаги была выявлена обратная связь превышения фазовых показателей пшеницы с гидрофильно-

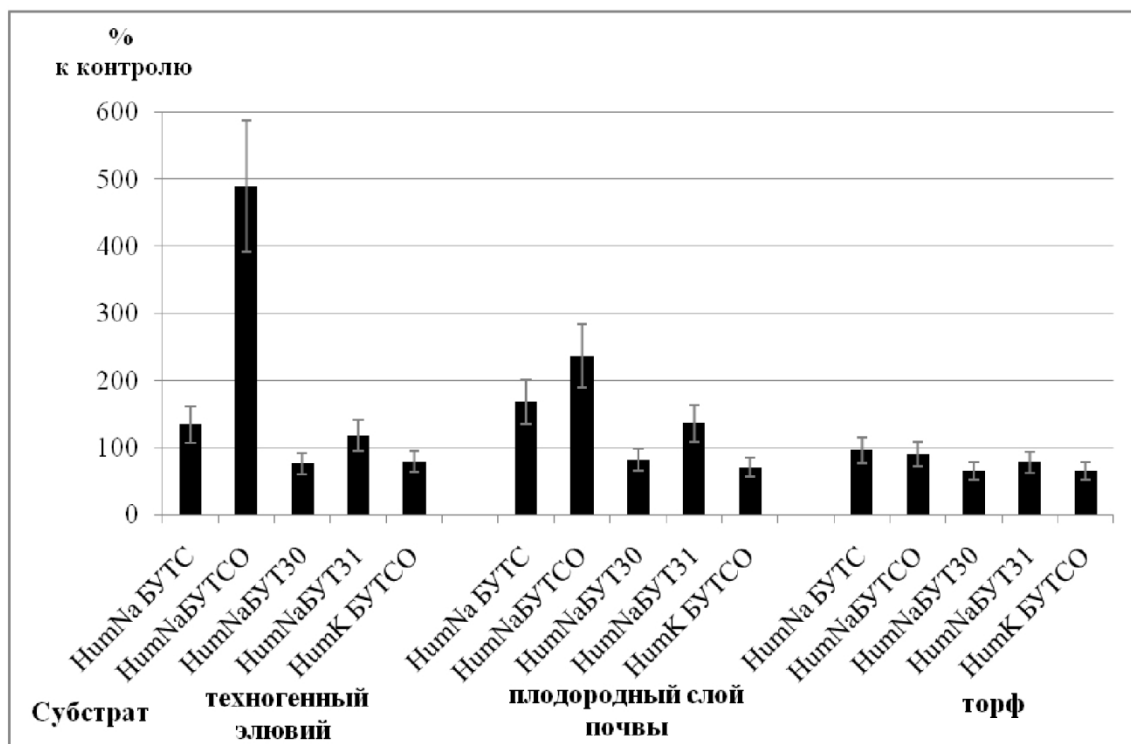


Рис. 2. Влияние гуминовых кислот бурых углей на количество всходов пшеницы на субстратах техногенных ландшафтов

Fig.2. Influence of humic acids of brown coals on the number of wheat seedlings on the sub-strates of technogenic landscapes

Таблица.8. Коэффициенты корреляции (Спирмена при n=15) между показателями по фазам развития пшеницы и структурными параметрами образцов гуминовых кислот

Table.8. Correlation coefficients (by Spearman with n=15) between indications of the development phases of wheat and structural parameters of the humic acids samples

Фаза развития	Структурные параметры		
	f_a	$f_{lv/h}$	$f_{ar/al}$
Техногенный элювий			
Всходы	0,18	-0,50	0,23
3-го листа	0,04	-0,72	0,11
Кушения	0,25	-0,09	0,27
Плодородный слой почвы			
Всходы	-0,33	0,58	-0,35
3-го листа	0,76	-0,22	0,74
Кушения	-0,02	0,37	-0,04
Торф			
Всходы	-0,97	0,49	-0,95
3-го листа	0,65	-0,02	0,62
Кушения	0,64	-0,52	0,66

– цветом выделены достоверные значения

гидрофобным параметром ($f_{h/h}$). Эта же зависимость, но с положительным знаком, была отмечена в фазу всходов на участке с оптимальным увлажнением.

В целом, полученные по полевым испытаниям данные позволяют отметить, что предпосевная обработка семян исследуемыми препаратами так или иначе влияет на рост и развитие пшеницы. В условиях достаточного увлажнения биологическая активность определяется степенью ароматичности (f_a) гуминовых кислот. При дефиците увлажнения, наблюдаемом на техногенном элювии и во время всходов на плодородном слое почвы, наиболее выражена связь фазовых показателей проростков пшеницы с гидрофильно-гидрофобным параметром ($f_{h/h}$).

Заключение: Проведенные исследования по выявлению зависимости между свойствами гуминовых кислот бурых углей и их биологической активностью показали, что все испытуемые препараты оказывают положительное влияние на рост и развитие растений. В целом, наибольшую эффективность проявили гуминовые кислоты, выделенные из бурого угля Тисульского месторождения Канско-Ачинского бассейна, и особенно гуматы натрия, полученные из его естественно-окисленной формы. Проведенные лабораторные опыты с семенами редиса и пшеницы позволили

выявить разнонаправленное влияние препаратов на двудольные и однодольные растения. В первом случае наибольшее влияние сказалось на длине корней, во втором – на длине проростков. В обоих вариантах выявлены достоверные связи показателей, определяющих интегральную фитоактивность гуминовых кислот со степенью их ароматичности (f_a), а также с отношением долей углерода ароматической и алифатической природы ($f_{ar/al}$). Эти же параметры гуминовых кислот определяют биологическую активность при испытании препаратов в полевом опыте. В то же время в условиях острого дефицита влаги определяющим становится гидрофильно-гидрофобный параметр ($f_{h/h}$).

Таким образом, полученные результаты позволили установить, что на связь биологической активности гуминовых кислот с параметрами их структурно-группового состава, а также на знак корреляционной зависимости, равно как и изменение уровня достоверности влияют сезонные (погодные) колебания параметров увлажнения субстратов. Следовательно, выбор сырья и способов получения гуминовых препаратов, используемых в целях рекультивации, должен быть направлен на формирование структурных параметров, отвечающих эдафическим, макроклиматическим и погодным условиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нефтяные отрасли: итоги 2017 года и краткосрочные перспективы // Энергетический бюллетень. – Аналитический центр при правительстве Российской Федерации. – 2018. № 56. – 28 с.
2. Щадов В.М. Комплексная переработка углей и повышение эффективности их использования. – М.: НТК “Трек”, 2007. – 292 с.
3. Андроханов В.А. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. / В.А. Андроханов, Е.Д. Куляпина, В.М. Курачев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 151 с.
4. Андроханов В.А. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка / Андроханов В.А., Курачев В.М. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 224 с.
5. Жеребцов С.И. Нетопливное использование Итатского бурого угля // Опыт и перспективы наукоемких технологий в угольной промышленности Кузбасса: материалы научно-технической конференции. Кемерово. – 1998. – С. 258-262
6. Zharebtsov S.I., Ismagilov Z.R. Effect of the alkylation of brown coal and peat on the composition and properties of humic acids isolated from them // Solid Fuel Chemistry. 2012. Т. 46. № 6. Р. 339-351.
7. Комиссаров И.Д. Гуминовые препараты // Тр. Тюмен. СХИ. – Тюмень, 1971. – Т. 14. – 265 с.
8. Otremba, K. Effect of addition of brown coal on the structure of soils developing from post-mining grounds of Konin brown coal mine // Rocznik Ochrona Srodowiska. – Is. 14, 2012. – Р. 695-707
9. Безуглова О.С. Удобрения и стимуляторы роста. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. – 320 с.
10. Тайц Е.М. Методы анализа и испытания углей/ Тайц Е.М., Андреева И.А. – М.: Недра, 1983. 301 с.
11. Структурно-групповой состав гуминовых кислот бурых углей и их физиологическая активность/ Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Смотрина О.В., Лыршиков С.Ю., Брюховецкая Л.В., Исмагилов З.Р. // Химия в интересах устойчивого развития. 2015. Т. 23. № 4. С. 439-444.
12. Кухаренко Т.А. Структура гуминовых кислот, их биологическая активность и последствие гуминовых удобрений // Химия твердого топлива. 1976. № 2. С. 24-31.
13. Dobbs L.B., Canellas L.P., Olivares F.L. at al. Bioactivity of Chemically Transformed Humic Matter from Vermicompost on Plant Root Growth // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2010. Vol. 58. № 6. Р. 3681-3688.

14. Калабин Г.А. Количественная спектроскопия ЯМР природного органического сырья и продуктов его переработки/ Калабин Г.А., Каницкая Л.В., Кушнарев Д.Ф. - М.: Химия, 2000. 408 с.
15. Воронина Л.П., Якименко О.С., Терехова В.А. Оценка биологической активности промышленных гуминовых препаратов // Агрохимия. – 2012. – № 6. – С. 45-52.
16. Оценка эффективности применения гуматов Na и K в качестве стимуляторов роста сельскохозяйственных культур в условиях техногенных ландшафтов/ Соколов Д.А., Быкова С.Л., Нечаева Т.В., Жеребцов С.И., Исмагилов З.Р. // Вестник НГАУ. – 2012. – № 3 (24). – С. 25-30.
17. Агроэкологическая оценка применения гуматов при мелиорации техногенно нарушенных ландшафтов / Быкова С.Л., Соколов Д.А., Нечаева Т.В., Жеребцов С.И., Исмагилов З.Р.// Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – №5. – С. 58-61.

REFERENCES

1. Neftyaneye otrasli: itogi 2017 goda i kratkosrochnye perspektivy / Energeticheskiy byulleten'[Oil industries: 2017 results and short-term prospects / Energy Bulletin]. – Analiticheskiy tsentr pri pravitel'stve Rossiyskoy federatsii[Analytical center under the government of the Russian Federation]. No. 56. 28 p.
2. Shchadov V.M. Kompleksnaya pererabotka ugley i povysheenie effektivnosti ikh ispol'zovaniya. M.; NTK "Trek", 2007. 292 p.
3. Androkhanov V.A., Kulyapina E.D. Kurachev V.M. Pochvy tekhnogennykh landshaftov: genezis i evolyutsiya[Soils of technogenic landscapes: Genesis and evolution]. Novosibirsk: publishing house of SB RAS, 2004. 151 p.
4. Androkhanov V.A., Kurachev V.M. Pochvenno-ekologicheskoe sostoyanie tekhnogennykh landshaftov: dinamika i otsenka[Soil-ecological state of technogenic landscapes: dynamics and assessment]. Novosibirsk: publishing house SB RAS, 2010. 224 p.
5. Zherebtsov S. I. Netoplivnoe ispol'zovanie Itatskogo burogo uglya // Opyt i perspektivy naukoemkikh tekhnologiy v ugol'noy promyshlennosti Kuzbassa: materialy nauchno –tekhnicheskoy konferentsii. Kemerovo. 1998. pp. 258 – 262
6. Zherebtsov S.I., Ismagilov Z.R. Effect of the alkylation of brown coal and peat on the composition and properties of humic acids isolated from them //Solid Fuel Chemistry. 2012. T. 46. № 6. pp. 339-351.
7. Komissarov I.D. Guminovye preparaty. Tr.Tyumen. Agricultural Institute. Tyumen, 1971. Vol. 14. 265 p.
8. Otremba, K. Effect of addition of brown coal on the structure of soils developing from post-mining grounds of Konin brown coal mine//Rocznik Ochrona Srodowiska. Is. 14, 2012. pp. 695-707.
9. Bezuglova O.S. Udobreniya i stimulyatory rosta. Rostov-on-don: Phoenix, 2000. 320 p.
10. Tayts E.M., Andreeva I.A. Metody analiza i ispytaniya ugle. M.: Nedra, 1983. 301 p.
11. Zherebtsov S.I., Malysenko N.V., Smotrina O.V., Iyrshchikov S. Y., Bryukhovetskaya I.V., Ismagilov Z.R. Strukturno-grupповoy sostav guminovykh kislot burykh ugley i ikh fizioloicheskaya aktivnost' [Structural group composition of humic acids in brown coal and their physiological activity]. Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya. [Chemistry for Sustainable Development]. 2015. No.23. pp. 439-444.
12. Kukhareno T.A.Struktura guminovykh kislot, ikh biologicheskaya aktivnost' i posledeystvie guminovykh udobreniy[The structure of humic acids, biological activity and residual effect of humic fertilizer]. Solid fuel chemistry. 1976. No. 2. pp. 24-31.
13. Dobbs L.B., Canellas L.P., Olivares F.L. at al. Bioactivity of Chemically Transformed Humic Matter from Vermicompost on Plant Root Growth. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2010. Vol. 58. № 6. pp.3681-3688.
14. Kalabin G.A., Kanitskaya L.V., Kushnarev D.F. Kolichestvennaya spektroskopiya YaMR prirodnogo organicheskogo syr'ya i produktov ego pererabotki. M.: Chemistry, 2000. 408 p.
15. Voronina L.P., Yakimenko O.S., Terekhova V.A. Otsenka biologicheskoy aktivnosti promyshlennykh guminovykh preparatov[Evaluation of biological activity of industrial humic preparations]. Agrochemistry. 2012. № 6. pp. 45-52.
16. Sokolov D.A., Bykova S.L., Nechaeva T.V., Zherebtsov S.I., Ismagilov Z.R. Otsenka effenosti primeneniya gumatov Na i K v kachestve stimulyatorov rosta sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyakh tekhnogennykh landshaftov. Vestnik NSAU. 2012. No.3 (24). pp. 25-30.
17. Bykova S.L., Sokolov D.A., Nechaeva T.V., Zherebtsov S.I., Ismagilov Z.R. Agroekologicheskaya

otsenka primeneniya gumatov pri melioratsii tekhnogenno narushennykh landshaftov [Agroecological assessment of the use of humates in reclamation of man-disturbed landscapes]. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Kuzbass state technical University]. 2013. №5. pp. 58-61.

Поступило в редакцию 13.12.2018

Received 13 December 2018