

УДК 665.7.032.56; 662.73; 547.992.2

## ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИПИДНЫХ И ГУМИНОВЫХ СУБСТАНЦИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ БУРОГО УГЛЯ ТЮЛЬГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© 2022 г. К. М. Шпакодраев<sup>1,\*</sup>, С. И. Жеребцов<sup>1,\*\*</sup>, Н. В. Мальшенко<sup>1,\*\*\*</sup>,  
К. С. Вотолин<sup>1,\*\*\*\*</sup>, З. Р. Исмагилов<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup> ФИЦ угля и углехимии СО РАН, 650000 Кемерово, Россия

\*e-mail: shpakodraevkm@mail.ru

\*\*e-mail: sizh@yandex.ru

\*\*\*e-mail: profkemsc@yandex.ru

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

\*\*\*\*\*e-mail: zinfer1@mail.ru

Поступила в редакцию 09.03.2022 г.

После доработки 09.03.2022 г.

Принята к публикации 30.03.2022 г.

С использованием элементного и технического анализа, ИК-, ЯМР-спектроскопии и хромато-масс-спектрометрии охарактеризованы образцы исходного угля Тюльганского месторождения Южно-Уральского бассейна, экстрагированных из него гуминовых кислот, битумов и остаточных углей. В экстракционных битумах установлено присутствие биологически активных веществ растительного происхождения. Исследована фитостимулирующая активность полученных гуминовых кислот и омыляемой составляющей смолы экстракционных битумов по отношению к семенам пшеницы сорта “Ирень”. Полученные субстанции могут быть использованы для рекультивации нарушенных земель, укрепления грунтов, стимулирования наземной растительности.

Ключевые слова: бурый уголь, экстракция, буроугольные битумы, гуминовые кислоты, фитостимулирующая активность

DOI: 10.31857/S0023117722040089

### ВВЕДЕНИЕ

Комплексная переработка бурых углей – одно из ключевых направлений их эффективного использования. Более 50% разведанных запасов углей России относятся к бурым углям, являясь важнейшей составляющей теплоэнергетической базы страны. Но при таком применении данного вида сырья безвозвратно теряется его огромный потенциал, который можно раскрыть путем химической переработки, одним из способов которой является экстракция [1–3]. Применение такого способа переработки к бурым углям позволяет выделить несколько ценных продуктов: 1) щелочная экстракция – гуминовые кислоты; 2) экстракция органическими растворителями – битумы (горный воск); 3) остаточное угольное вещество.

Гуминовые кислоты – это высокомолекулярные системы нерегулярного строения, имеющие в составе разнообразные функциональные группы (карбонильные, карбоксильные, спиртовые и фенольные гидроксилы), ароматические и полисопряженные структуры. Уникальное строение и

свойства гуминовых кислот обуславливают широкую область их применения: как сырье для высокоэффективных препаратов стимуляторов роста растений; препаратов для ремедиации и рекультивации деградированных и нарушенных почв; в качестве высокоэффективных сорбентов для борьбы с химическими загрязнениями, очистки промышленных стоков, извлечения катионов металлов из различных технических жидкостей и смесей водорастворимых техногенных отходов [2, 4].

Экстракционная переработка бурых углей с применением различных органических растворителей позволяет получить ценный продукт – битумы. Экстракционные битумы и продукты их переработки имеют широкое применение в различных отраслях промышленности – от металлургии до медицины. Стоимость 1 т горного воска сырья на мировом рынке приблизительно равна 3000 \$. В битумах, как в восковой, так и в смоляной составляющей содержатся различные биологически активные вещества (БАВ), которые перешли в них из исходной растительности углеобразователя. Перспективной является возможность

Таблица 1. Технический и элементный анализы образцов

Образец	$W^a$	$A^d$	$V^{daf}$	$C^{daf}$	$H^{daf}$	$H/C_{атомн.}$	$(O + N + S)^{daf}$ по разности
	мас. %						
Бурый уголь	9.1	21.5	65.9	57.3	6.3	1.3	36.4
ГК из <i>HumNa</i>	0.7	13.4	—	53.2	10.5	2.4	36.3
$Y_{ост}$ из <i>HumNa</i>	4.5	45.4	60.1	49.8	7.2	1.7	43.0
ГК из <i>HumK</i>	5.5	2.7	—	59.0	7.1	1.4	33.8
$Y_{ост}$ из <i>HumK</i>	4.7	33.2	76.4	71.2	7.0	1.2	21.8

Примечание. Величина  $W^a$  – аналитическая влага;  $A^d$  – зольность на сухую пробу;  $V^{daf}$  – выход летучих;  $C^{daf}$  – содержание углерода; С, Н, О, N, S – содержание углерода, водорода, кислорода, азота и серы;  $H^{daf}$  – содержание водорода; *daf* – сухое беззольное состояние.

выделения из битумов БАВ в чистом виде или в виде узких фракций обогащенных БАВ с целью применения их в медицине, ветеринарии, косметике, сельском хозяйстве [5, 6].

Данная работа посвящена исследованию гуминовых и липидных субстанций, выделенных из бурого угля Тюльганского месторождения Южно-Уральского угольного бассейна, и их фитоактивности по отношению к семенам пшеницы сорта “Ирень”.

## МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Битумы и гуминовые кислоты были получены из бурого угля (ТБУ) марки 1Б Тюльганского месторождения Южно-Уральского бассейна (табл. 1).

Экстракция битумов проводилась из бурого угля (табл. 1) О-алкилированного под воздействием ультразвука частотой 22 кГц [6]. Полученные битумы фракционировались на воск и смолу по методике, приведенной в работах [2, 7, 8]. С целью дополнительного фракционирования полученные воск и смола разделялись на омыляемую и неомыляемую составляющие в условиях реакции омыления [6]: среда – *n*-бутанол, КОН – до рН раствора 11–12, продолжительность процесса 3 ч, температура процесса  $118 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Для тестирования фитостимулирующей активности на семенах пшеницы сорта “Ирень” была выбрана фракция омыляемой составляющей смолы битумов. Данная фракция была выбрана в связи с ее полным растворением в слабощелочном водном растворе и наличием ряда биологически активных соединений [6].

Гуминовые кислоты (ГК), выделенные из гуматов натрия и калия (ГК из *HumNa* и ГК из *HumK*) бурого угля Тюльганского месторождения, получены по методике определения выхода свободных ГК (навеска угля (менее 0.2 мм) – 1 г,

1%-ный раствор NaOH или KOH – 100 мл, температура –  $98^\circ\text{C}$ , время – 2 ч) согласно ГОСТ 9517-94.

На биологическую активность тестировали водорастворимые соли гуминовых кислот – гуматы натрия и калия (*HumNa* и *HumK*).

Биологическую активность омыляемой фракции смолы (ОСм) экстракционных битумов и гуматов определяли по величине фитоактивности (ИФ) с учетом энергии прорастания семян (ЭП), длины корня (ДК) и высоты проростка (ВП). ИФ является обобщающим индексом и вычисляется как средняя величина суммы показателей ДК, ВП и ЭП, выраженное в долях единицы:

$$\text{ИФ} = \frac{(\text{ДК} + \text{ВП} + \text{ЭП})}{3 \cdot 100},$$

где ДК, ВП и ЭП – средние величины по трем лоткам (% к контролю) [9].

В каждом эксперименте часть семян обрабатывалась 0.0005, 0.005 раствором ГК и ОСм, а часть обрабатывалась дистиллированной водой (контроль, ИФ = 1.0). Величина рН растворов составляла 7.0–8.2 и находилась в допустимых пределах для использованной культуры. Семена прорастивали в специальных растильнях между слоями увлажненной фильтровальной бумаги. Повторность эксперимента трехкратная: по 50 семян в лотке для каждой концентрации удобрения и столько же для контроля. ЭП, ВП и ДК измеряли на 5-е сутки [9–12].

Групповой и компонентный составы исследуемых образцов изучали с привлечением методов ИК- (FTIR) и  $^{13}\text{C}$ -ЯМР (CPMAS)-спектроскопии, компонентный состав образцов битумов исследовался с привлечением метода хромато-масс-спектрометрии (ХМС).

Запись ИК-спектров проводилась на ИК-Фурье – спектрофотометре “Инфралюм-ФТ 801” при

разрешении  $4 \text{ см}^{-1}$  с накоплением 16 сканов в диапазоне  $4000\text{--}500 \text{ см}^{-1}$  в сухом КВг.

Хромато-масс-спектрометрия (ХМС) проводилась на хроматографе *Agilent 6890N* с масс-селективным детектором *Agilent 5973* при условиях: капиллярная колонка *HP-5ms*; температура испарителя –  $290^\circ\text{C}$ ; удаление растворителя в течение 4 мин; деление потока в соотношении 50:1; скорость газа-носителя гелия – 1 мл/мин; объем пробы для анализа – 5.0 мкл; программируемое повышение температуры колонки от  $50^\circ\text{C}$  с выдержкой 3 мин до  $280^\circ\text{C}$  со скоростью  $5^\circ\text{C}$  мин; выдержка при  $280^\circ\text{C}$  – 60 мин. Содержание индивидуальных соединений регистрировалось по полному ионному току. Идентификация компонентного состава исследуемых образцов осуществлялась с использованием библиотеки спектров *NIST-11* и *Wiley*.

Спектры ЯМР высокого разрешения в твердом теле регистрировали на приборе *AvanceIII 300* фирмы *Bruker* на частоте 75 МГц с использованием стандартной методики кросс-поляризации с подавлением сигналов протонов и вращением под магическим углом (*CPMAS*). Производилось накопление 1024 сканов при комнатной температуре. Химический сдвиг отсчитывался от ТМС.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Отнесение полос поглощения ИК-спектров осуществлялось на основе литературных источников [13–16].

По данным ИК-спектроскопии (рис. 1), полученные битумы и их фракции – это сложные многокомпонентные смеси веществ. В спектрах образцов битумов присутствуют полосы поглощения, характерные для карбоновых кислот и их сложных эфиров ( $1750\text{--}1690 \text{ см}^{-1}$ ), спиртов и фенолов ( $3400\text{--}3200 \text{ см}^{-1}$ ), соединений с длинной алкановой цепочкой ( $3000\text{--}2800 \text{ см}^{-1}$ ), соединений ароматического характера ( $1630\text{--}1575, 1175\text{--}1125 \text{ см}^{-1}$ ).

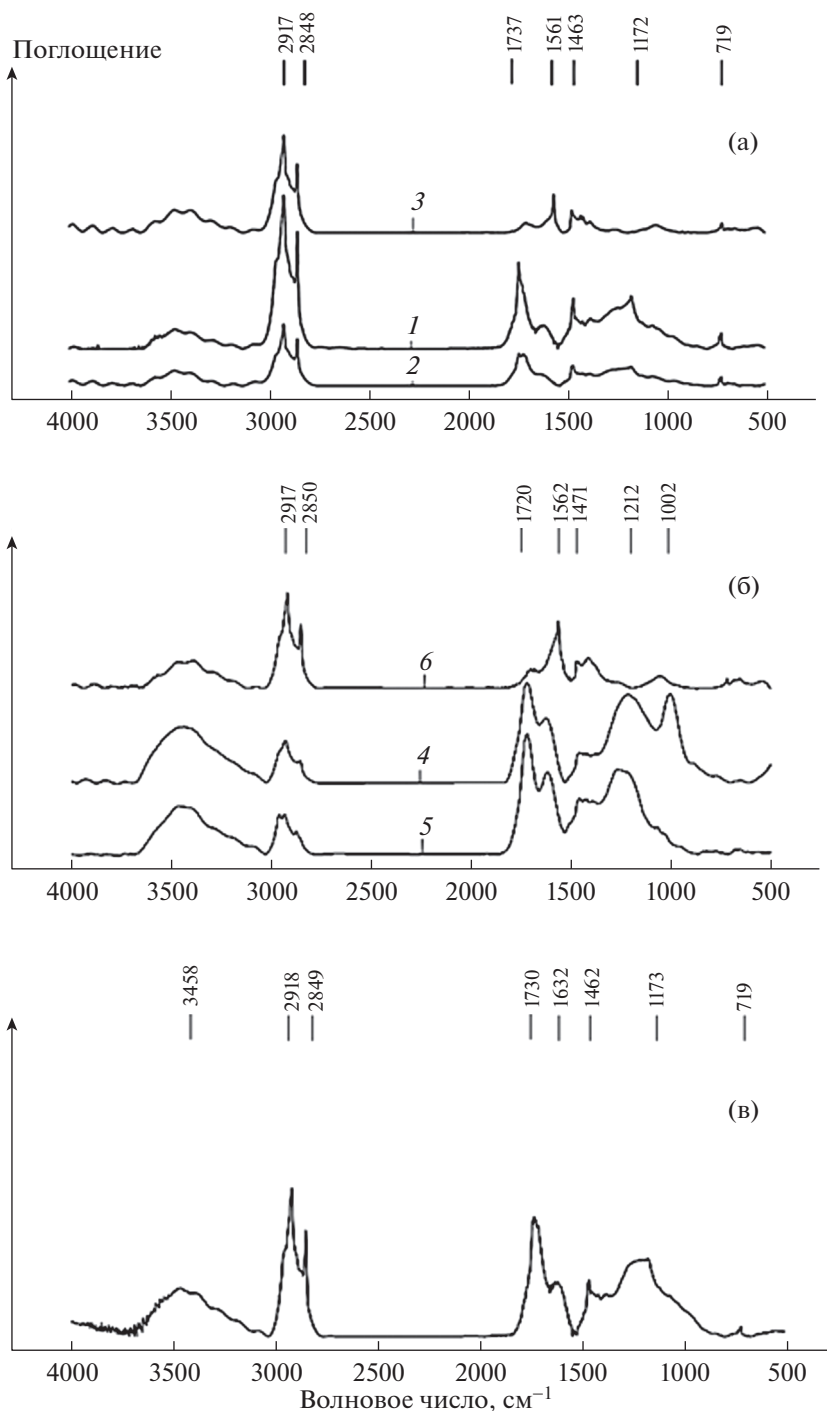
Широкая полоса поглощения в области  $3650\text{--}3200 \text{ см}^{-1}$  – валентные колебания О–Н-групп спиртов и фенолов;  $3000\text{--}2800 \text{ см}^{-1}$  – валентные колебания  $\text{CH}_2$ - и  $\text{CH}_3$ -групп, а также в области  $1475\text{--}1450 \text{ см}^{-1}$  – деформационные колебания  $\text{CH}_2$ -групп; полосы поглощения в интервале  $1750\text{--}1710 \text{ см}^{-1}$  характерны для валентных колебаний С=О-групп алифатических сложных эфиров карбоновых кислот; полосы поглощения в области  $1440\text{--}1400 \text{ см}^{-1}$  деформационные колебания группы  $\text{CH}_2$ - в  $-\text{CH}_2-\text{CO}$  алкановых цепочек; полосы поглощения в области  $1275\text{--}1150 \text{ см}^{-1}$  – валентные колебания группы С–О-; полосы поглощения в интервале  $1175\text{--}1125 \text{ см}^{-1}$  – плоские деформационные колебания 1-, 1,3-, 1,2,3-, 1,3,5-

соединений ароматического характера. В неомыляемой части воска и смолы имеются полосы поглощения в области  $\approx 1562 \text{ см}^{-1}$  – валентные колебания группы С=C– ароматических систем. В спектрах образцов исходной восковой фракции в области  $\approx 719 \text{ см}^{-1}$  имеются пики, характерные для маятниковых колебаний метиленовых групп длинных алкановых цепочек. В спектре исходной смолы (рис. 1, б) наблюдается интенсивный пик в области  $\approx 1002 \text{ см}^{-1}$ , характерный для валентных колебаний группы С–О– в первичных и вторичных спиртах. Данный пик не просматривается в омыляемой и неомыляемой составляющей смолы, которые были получены в результате разделения в условиях реакции омыления. Предположительно данные вещества были удалены вместе с водной фазой, участвующей в процессе омыления, при отмывке органической фазы от кислоты.

ИК-спектры гуминовых кислот, полученных при щелочной экстракции водным раствором NaOH и KOH с последующим осаждением из бурого угля Тюльганского месторождения, представлены на рис. 2. В спектрах ГК присутствует интенсивная полоса поглощения в интервале  $3500\text{--}3300 \text{ см}^{-1}$ , характерная для валентных колебаний О–Н-групп, связанных водородными связями. Полосы поглощения в области 2918, 2849 и  $1453 \text{ см}^{-1}$  характерны для ГК и показывают наличие  $\text{CH}_3$ - и  $\text{CH}_2$ -групп. Установлено наличие карбонильных групп С=О–, полосы поглощения в области  $1712 \text{ см}^{-1}$ , а также ненасыщенных и ароматических связей С=C – полосы поглощения в области  $1630 \text{ см}^{-1}$ . Полосы поглощения в области  $1219 \text{ см}^{-1}$  свидетельствуют о наличии связи С–О– карбоновых кислот, сложных эфиров, ОН-фенолов. В спектре образца ГК из *HumNa* (см. рис. 2) присутствуют полосы поглощения в области  $1100\text{--}1030 \text{ см}^{-1}$ , свидетельствующие о наличии минеральных компонентов и валентных колебаний С–О-связей спиртов и С–О–С-связей простых эфиров. В спектре ГК из *HumK* данный пик ( $1100\text{--}1030 \text{ см}^{-1}$ ) представлен в виде плеча.

Отнесение сигналов при  $^{13}\text{C}$ -ЯМР (*CPMAS*)-исследовании проводилось на основе литературных данных [13–16]. На рис. 3 приведены типичные ЯМР-спектры образца битума и гуминовых кислот.

Согласно результатам  $^{13}\text{C}$ - ЯМР (*CPMAS*) в битумах (табл. 2), экстрагированных из Тюльганского бурого угля, преобладают соединения с длинными алкановыми цепями, принадлежащие в основном к эфирам, кислотам и спиртам жирного ряда. Пики в интервале  $5\text{--}48 \text{ ppm}$  указывают на наличие прямых алкановых цепей и алкильных групп. Пики в области  $48\text{--}90 \text{ ppm}$  показывают наличие веществ группы спиртов. В области  $90\text{--}108 \text{ ppm}$  имеются пики, указывающие на на-



**Рис. 1.** ИК-спектры: (а) – воска 1, его омыляемой 2 и неомыляемой 3 составляющей; (б) – смолы 4, ее омыляемой 5 и неомыляемой 6 составляющей; (в) – исходный битум.

личие ацетальных групп. Пики в области 108–145 *ppm* характерны для ароматической группы веществ. Наличие пиков в интервале 145–165 *ppm* характерно для веществ с ароматическим кольцом, имеющим гидроксильную группу. Вещества с карбоксильной группой представлены на спектре пиками в интервале 165–187 *ppm*. Пики в об-

ласти 187–220 *ppm* свидетельствуют о наличии веществ с карбонильной группой.

Расчет структурно-групповых параметров экстракционного битума (см. табл. 2) и его фракций на основании данных <sup>13</sup>C-ЯМР (CPMAS) показал, что основная часть ароматических соединений (рис. 4) при разделении в условиях реакции омы-

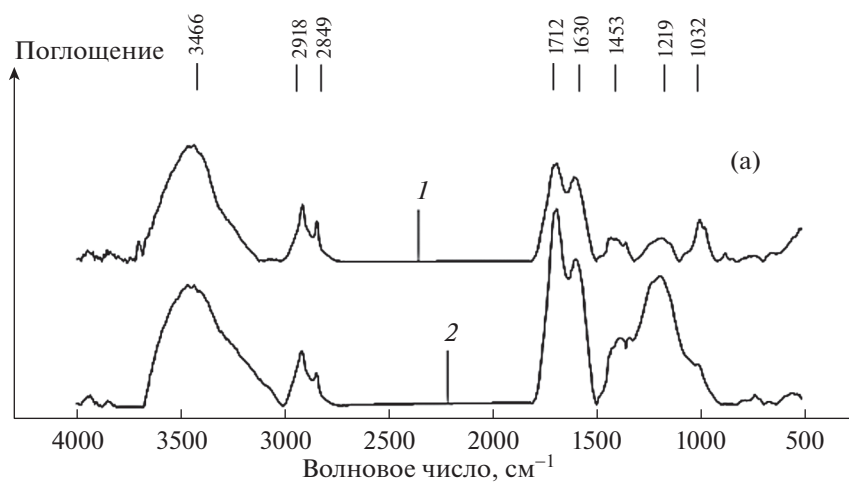


Рис. 2. ИК-спектры: 1 – ГКиз HumNa; 2 – ГК из HumK.

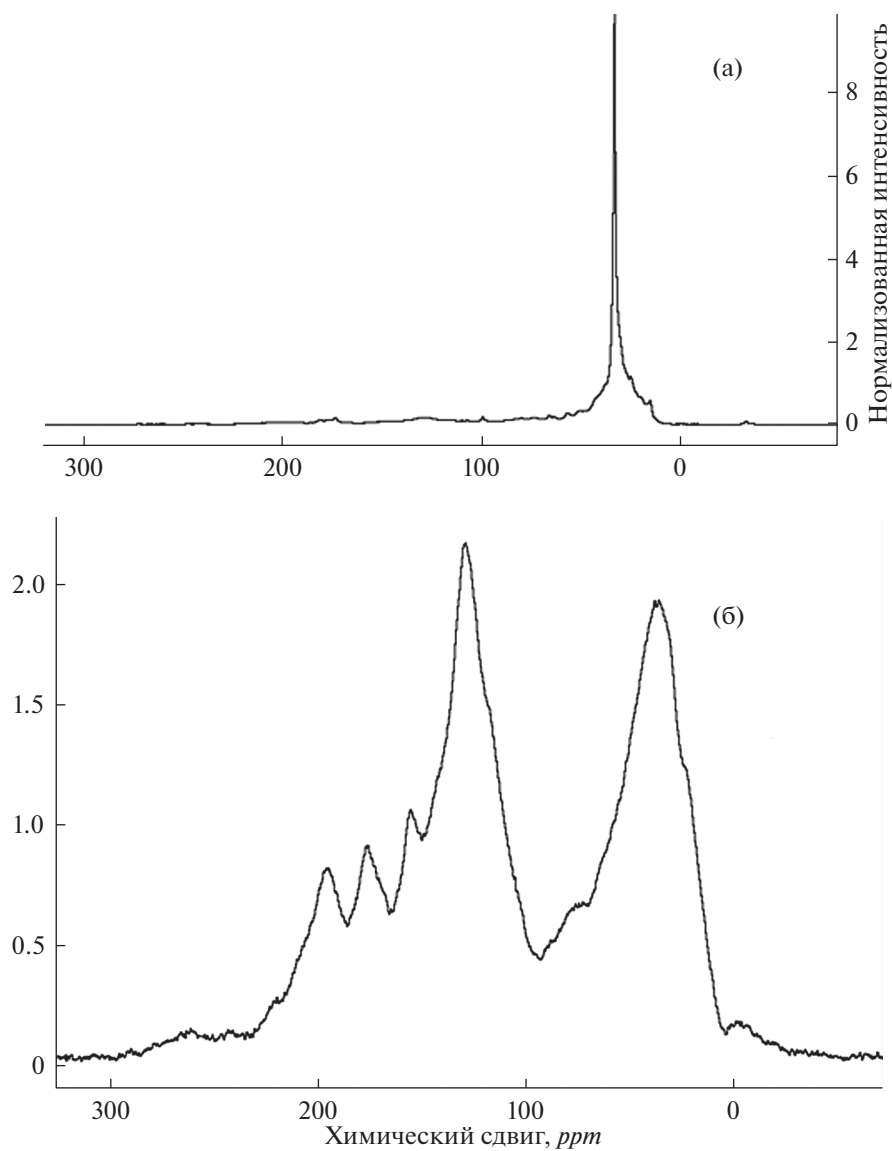


Рис. 3. Типичные  $^{13}\text{C}$  ЯМР (CPMAS)-спектры битумов (а) и гуминовых кислот (б).

**Таблица 2.** Результаты  $^{13}\text{C}$ - ЯМР (CPMAS) -исследования образцов

Образец	220-187 C=O	187-165 COOH	165-145 C <sub>ar-O</sub>	145-108 C <sub>ar</sub>	108-90 C <sub>O-alk-O</sub>	90-48 C <sub>alk-O</sub>	48-5 C <sub>alk</sub>	Параметр		
								$f_{ar}$	$f_{al}$	$f_{ar/al}$
Битум до фракционирования										
Битум	3.1	4.0	2.9	9.2	3.2	13.8	61.8	12.2	78.8	0.15
Воск										
Воск	1.9	2.8	1.8	5.6	2.8	10.5	72.9	7.4	86.2	0.09
Омыляемая часть воска	1.4	3.0	1.6	5.0	2.5	8.5	77.2	6.6	88.2	0.07
Неомыляемая часть воска	1.2	1.6	1.2	4.8	2.2	9.2	79.3	6.0	90.7	0.06
Смолы										
Смола	6.5	7.3	7.8	23.6	4.7	16.3	31.1	31.4	52.2	0.60
Омыляемая часть смолы	5.6	7.4	6.7	20.5	4.4	17.4	35.8	27.2	57.6	0.47
Неомыляемая часть смолы	1.6	2.4	1.8	7.3	2.1	11.2	73.1	9.1	86.4	0.10
Гуминовые кислоты										
ГК из <i>HumNa</i>	2.4	7.6	8.5	25.2	4.2	12.2	39.9	33.7	56.3	0.59
ГК из <i>HumK</i>	0.8	6.9	14.5	36.8	0.3	14.4	26.2	51.3	40.9	1.28

ления на омыляемую и неомыляемую составляющую концентрируется в первой. Структурно-групповые параметры рассчитывались по формулам [17]:

степень ароматичности

$$f_{ar} = C_{ar-O} + C_{ar};$$

степень алифатичности

$$f_{al} = C_{O-alk-O} + C_{alk-O} + C_{alk};$$

ароматичность/алифатичность

$$f_{ar}/f_{al} = (C_{ar-O} + C_{ar}) / (C_{O-alk-O} + C_{alk-O} + C_{alk}).$$

Результаты  $^{13}\text{C}$ -ЯМР (CPMAS), выделенных из Тюльганского бурого угля гуминовых кислот, представлены в табл. 2. Полученные данные показывают, что щелочная экстракция с применением едкого калия позволяет извлечь гуминовые кислоты с повышенным содержанием соединений ароматического характера (см. рис. 4), показатель  $f_{ar}$  (ГК из *HumK*) = 51.3, т.е. в 1.5 раза выше, чем у ГК из *HumNa*.

В результате проведенной хромато-масс-спектрометрии образцов битумов и их фракций, с совпадением с базой данных *NIST 11* более 80%, в их

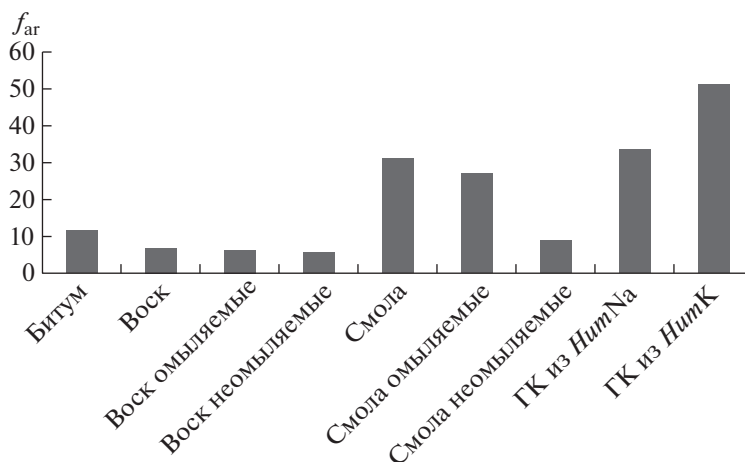
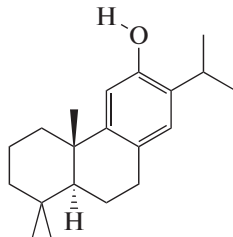
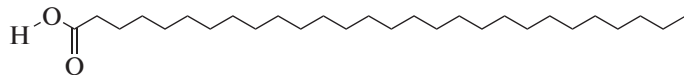
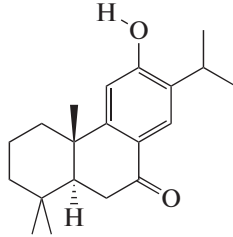
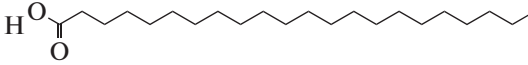
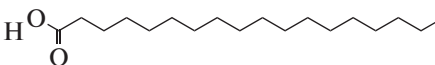
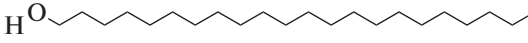
**Рис. 4.** Распределение соединений ароматического характера в исследуемых образцах по данным  $^{13}\text{C}$ -ЯМР (CPMAS).

Таблица 3. Некоторые из биологически активных веществ, обнаруженные в битумах методом ХМС

Вещество [18, 19]*	Относительное содержание по данным ХМС, %					
	воск**			смола**		
	И	О	Н	И	О	Н
 <i>Ferruginol</i> (C <sub>20</sub> H <sub>30</sub> O)	0.7	–	1.7	–	–	–
 <i>Octacosanoic acid</i> (C <sub>28</sub> H <sub>56</sub> O <sub>2</sub> )	14.3	21.0	14.0	–	–	9.1
 <i>Sugiol</i> (C <sub>20</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub> )	0.7	–	1.2	–	–	0.4
 <i>Docosanoic acid</i> (C <sub>22</sub> H <sub>44</sub> O <sub>2</sub> )	1.9	3.0	3.3	–	–	1.8
 <i>Octadecanoic acid</i> (C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub> )	0.4	0.5	0.3	–	–	3.3
 <i>Behenic alcohol</i> (C <sub>22</sub> H <sub>46</sub> O)	2.2	–	6.0	–	–	–

\* Карбоновые кислоты представлены в виде бутиловых эфиров; совпадение по базам NIST более 70%.

\*\* И – исходная, О – омыляемая, Н – неомыляемая фракции.

составе идентифицирован ряд индивидуальных соединений [6]: *Dodecanoic acid*; *Hexacosane*; *Tetradecanoic acid*; *Nonanedioic acid*; *Pentadecanoic acid*; *9-Hexadecenoic acid*; *Hexadecanoic acid*; *Ferruginol*; *Oleic acid*; *Octadecanoic acid*; *Eicosanoic acid*; *Sugiol*; *1-Heneicosanol*; *Docosanoic acid*; *Tricosanoic acid*; *Docosane*; *Tetracosanoic acid*; *Hexacosanoic acid*; *Octacosanoic acid*; *Triacontanoic acid*; *Decanedioic acid*; *n-Tetracosanol-1*; *Oxacycloheptadecan-2-one*; *Octanedioic acid*; *Octacosanol*; *Erucic acid*; *1-Heptacosanol*; *Pentacosanoic acid*; *Tetradecane*; *Betulin*; *Octadecane*; *Podocarpa-8,11,13-triene-7β,13-diol*, *14-isopropyl-*; *Behenic alcohol*; *Heptacosanoic acid*; *Nonacosanoic acid*;

*Butyl 15-methylhexadecanoate*; *Cholesta-3,5-diene*; *9-Tetradecenoic acid* и др. Среди идентифицированных соединений присутствуют вещества [6, 18, 19], обладающие биологической активностью (БАВ), некоторые из них представлены в табл. 3.

Результаты лабораторных испытаний фитостимулирующей активности образцов ГК и ОСм битумов, выделенных из Тюльганского бурого угля, показали, что все тестируемые образцы, за исключением ГК из *HumK 0.0005%*, оказывают положительное влияние на ЭП семян пшеницы (табл. 4). Наибольшее влияние на ЭП достигнуто при обработке семян пшеницы водным раство-

**Таблица 4.** Величины тест-функций фитоактивности гуминовых кислот и омыляемой составляющей смолы битума

Образец	Концентрация, %	ДК	ВП	ЭП	ИФ
		% к контролю			
ГК из <i>HumNa</i>	0.0005	112	149	107	1.22
	0.005	125	149	107	1.34
ГК из <i>HumK</i>	0.0005	86	104	98	0.96
	0.005	110	117	117	1.14
Омыляемая часть смолы битума (ОСм)	0.0005	104	114	122	1.14
	0.005	90	78	105	0.91

ром ОСм битума, при ее концентрации в растворе 0.0005%.

Из данных табл. 4 видно, что наибольшую фитоактивность среди исследуемых образцов демонстрируют ГК из *HumNa*. В полученных данных для гуминовых кислот прослеживается следующая зависимость – с увеличением концентрации (в известных пределах) возрастает и их фитоактивность (рис. 5). Для образцов омыляемой составляющей экстракционной смолы (ОСм) данная зависимость носит обратный характер (см. табл. 4). Следует отметить, что показатель фитоактивности (ИФ) у ОСм (0.0005%) находится на уровне ГК из *HumK* (0.005%) и близок к показателям фитоактивности ГК из *HumNa* (0.0005%).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

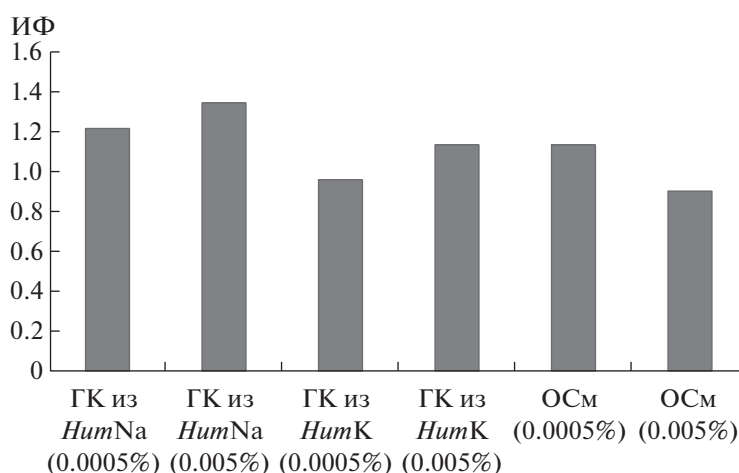
В битумах, извлеченных из Тюльганского бурого угля, основная часть соединений имеет али-

фатический характер. Вещества ароматического характера сконцентрированы в смоляной фракции битумов, большая часть данных соединений омыляемые. По показателю ароматичности ( $f_{ar}$ ), экстракционные смолы близки к гуминовым кислотам, извлеченным из угля при обработке натриевой щелочью (ГК из *HumNa*). Следует отметить, что среди извлеченных из ТБУ субстанций ГК из *HumK* содержит в своем составе наибольшее количество ароматических соединений, на что указывает показатель  $f_{ar} = 51.3$ .

Экстракционные битумы и их фракции содержат в своем составе различные ценные вещества, среди которых присутствуют вещества, идентичные таковым растительного происхождения, обладающие биологической активностью.

Результаты лабораторных испытаний фитостимулирующей активности исследуемых образцов показали, что наибольшей активностью на семена пшеницы сорта “Ирень” обладает ГК из *HumNa* при применении в концентрации 0.005%. Самые низкие результаты демонстрирует применение ОСм в концентрации 0.005% (ИФ = 0.91). При этом следует отметить, что фитоактивность ОСм в концентрации 0.0005% (ИФ = 1.14) находится на уровне ГК из *HumNa* и *HumK* при концентрациях 0.0005 и 0.005% соответственно. Наряду с этим ОСм 0.0005% среди исследуемых образцов демонстрирует наибольшее влияние на энергию прорастания семян (ЭП = 122%).

Таким образом, исследуемый бурый уголь Тюльганского месторождения Южно-Уральского бассейна – перспективное и ценное сырье для комплексной переработки с получением ряда продуктов: битумов и их производных, гуминовых кислот. Смоляная часть битумов, являющаяся в настоящее время отходом производства горного воска, а именно ее омыляемая составляющая, наряду с гуминовыми кислотами может



**Рис. 5.** Изменение фитоактивности исследуемых образцов в зависимости от концентрации.



быть применена для рекультивации нарушенных земель, укрепления грунтов, стимулирования наземной растительности, увеличения урожайности зеленой массы растений. Вместе с тем адгезионные свойства, характерные для экстракционных смол, делают возможным применение ОСм в качестве фитостимулирующей связующей добавки при производстве гранулированных гуматных удобрений.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена на оборудовании ЦКП ФИЦ УУХ СО РАН в рамках государственного задания ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН (проект № 121031500124-2).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жеребцов С.И., Моисеев А.И. // ГИАБ. 2008. № S7. С. 114.
2. Жеребцов С.И. Алкилирование спиртами твердых горючих ископаемых низкой степени углефикации: Дис. ... д-ра хим. наук. М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 2017. 317 с.
3. Белькевич П.И. Битумы торфа и бурого угля. Минск: Наука и техника, 1989. 125 с.
4. Вотолин К.С. Разработка научных основ получения гуминовых субстанций с заданным структурно-групповым составом из бурых углей: Дис. ... канд. хим. наук. Красноярск: ИХХТ СО РАН, 2021. 173 с.
5. Шпакодраев К.М., Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Ирмагилов З.Р. // ХТТ. 2020. № 4. С. 34. [Solid fuel chemistry, 2020. V. 54. № 4. P. 19. <https://doi.org/10.3103/S0361521920040059>]
6. Шпакодраев К.М., Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Вотолин К.С., Ирмагилов З.Р. // ХТТ. 2021. № 5. С. 45. [Solid fuel chemistry, 2021. V. 55. № 5. P. 312. <https://doi.org/10.3103/S0361521921050050>]
7. Аронов С.Г., Нестеренко Л.Л. Химия твердых горючих ископаемых. Харьков: Изд-во Харьковского гос. ун-та, 1960. 371 с.
8. Тайц Е.М., Андреева И.А. Методы анализа и испытания углей. М.: Недра, 1984. 301 с.
9. Воронина Л.П., Якименко О.С., Терехова В.А. // Агрохимия. 2012. № 6. С. 50.
10. Вавилов П.П., Гриценко В.В., Кузнецов В.С. Практикум по растениеводству. М.: Колос, 1983. 352 с.
11. ГОСТ 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Изд-во стандартов, 1984. 30 с.
12. ГОСТ Р 54221–2010. Гуминовые препараты из бурых и окисленных каменных углей. Методы испытания. М.: Стандартинформ, 2012. 10 с.
13. Родэ В.В., Папирова Е.А. // ХТТ. 1981. № 6. С. 52.
14. Pretsch E., Bühlmann P., Affolter C. Structure determination of organic compounds. Tables of spectral data. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. 431 p.
15. Interpreting Infrared, Raman, and NMR Spectra / Ed. Nyquist R.A. San Diego: Academic press, 2001. V. 1. 448 p.
16. Spectrometric identification of organic compounds. Seventh edition / Silverstein R.M., Webster F.X., Kiemle D.J. Hoboken: John Wiley & Sons. Inc. 2005. 502 p.
17. Калабин Г.А., Каницкая Л.В., Кушнарев Д.Ф. Количественная спектроскопия ЯМР природного органического сырья и продуктов его переработки. М.: Химия, 2000. 408 с.
18. PubChem (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>)
19. PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>)