

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ БУРОГО УГЛЯ, В ЦЕЛЯХ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

© 2021 Ф. С. Фиша ^{ID}¹, Е. В. Будина¹, С. И. Жеребцов ^{ID}², Н. В. Мальшенко ^{ID}², И. Н. Госсен ^{ID}³,
С. Ю. Клековкин³, Д. А. Соколов ^{ID}³

Адрес: ¹ФБГОУ Новосибирский государственный аграрный университет, улица Добролюбова, 160,
г. Новосибирск, 630039, Россия. E-mail: phuticedric@mail.ru

²ФГБНУ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, Советский проспект, 18,
г. Кемерово, 650000, Россия. E-mail: sizh@yandex.ru

³ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2,
г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: sokolovdenis@issa-siberia.ru

Цель исследования. Выявление перспектив использования гуминовых препаратов для восстановления нарушенных угледобычей территорий посредством оценки связи их биологической активности и структурно-группового состава.

Место и время проведения. Исследования проводили в 2020 году в Новокузнецком районе Кемеровской области (54.14° с.ш. и 87.10° в.д.).

Методология. Исследование структурно-группового состава гуминовых препаратов выполняли методом ¹³C ЯМР-спектроскопии. Оценка эффективности воздействия гуминовых препаратов проведена в серии деляночных опытов, заложенных в пределах рекультивированных и нереккультивированных участков отвала каменноугольного разреза. Свойства субстратов техногенных ландшафтов определяли традиционными почвенными методами. Влияние препаратов выявляли по увеличению урожайности фитомассы и стручков *Vicia villósa*, а также травяной смеси *Avéna satíva*+*Vicia villósa*. Статистическая обработка результатов исследований проведена методом главных компонент.

Основные результаты. Сравнительная оценка гуминовых препаратов, полученных из бурых углей Тисульского (Канско-Ачинского бассейна) и Тюльганского месторождений (Южно-Уральского бассейна), показала, что в целом все препараты оказывают положительное воздействие. Однако в различных условиях техногенных ландшафтов и по отношению к различным видам растений эффект может проявиться разнонаправлено.

Устойчивый положительный эффект от предпосевной обработки семян был достигнут только на субстратах, обедненных природными гуминовыми веществами (гумусом и торфом), и при оптимальном увлажнении. В таких условиях наибольшее влияние оказывали препараты, полученные из бурых углей Тисульского месторождения Канско-Ачинского бассейна, и их естественно-окисленные формы, для которых характерна высокая доля кислородсодержащих алифатических (C_{alk-O}) и ароматических (C_{ar}) групп. В условиях дефицита влаги отмеченные показатели отрицательно влияли на урожайность. На каменистых участках техногенных ландшафтов положительный эффект проявился у препаратов с максимальной долей ароматических гидроксидсодержащих групп (C_{ar-OH}).

Обогащение гуминовых препаратов микроэлементами Zn и Cu не повлекло за собой ни положительных, ни отрицательных последствий.

Заключение. Использование гуминовых препаратов, полученных из бурых углей, в целях восстановления техногенных ландшафтов обоснованно только на участках, сложенных суглинистыми породами с низким содержанием гуминовых веществ гумуса и торфа. Разнонаправленность действия гуматов, проявляющаяся в зависимости от их структурно-группового состава, свойств субстратов и видов растений, используемых на биологическом этапе, свидетельствует о нецелесообразности использования унифицированных препаратов для рекультивации различных техногенных объектов.

Ключевые слова: гуминовые препараты; биологическая активность; техногенные ландшафты; рекультивация; структурно-групповой состав органических соединений; метод главных компонент; Technosol

Цитирование: Фиша Ф.С., Будина Е.В., Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Госсен И.Н., Клековкин С.Ю., Соколов Д.А. Сравнительная оценка перспектив использования гуминовых веществ, полученных из бурого угля, в целях рекультивации техногенных ландшафтов // Почвы и окружающая среда. 2021. Т.4. № 1. doi:10.31251/pos.v4i1.135

ВВЕДЕНИЕ

Десятилетия антропогенной деятельности, такой как добыча полезных ископаемых, строительство и складирование отходов, приводят к неизбежному превращению природных ландшафтов в техногенные (Gisladdottir et al., 2005; Mborah et al., 2016). Нарастание темпов техногенной нагрузки способствует возникновению угрозы продовольственной безопасности из-за нехватки земель сельскохозяйственного назначения (Kumar, 2013). По данным ФАО на данный момент около 2 млрд человек в мире испытывают нехватку продуктов питания (ФАО ..., 2019).

В связи с этим возникает необходимость в поиске решения проблемы возвращения нарушенных земель в сельскохозяйственный фонд (Stringer et al., 2011; Mattiske, 2016; Wang et al., 2017). Одним из возможных решений может быть применение в рекультивации гуминовых препаратов, извлекаемых из углей и отходов угольной промышленности (Conselvan et al., 2017; Tsetsegmaa et al., 2018). Установлено, что гуминовые препараты обладают высокой биологической активностью, и могут являться стимуляторами роста растений и развития фитоценозов (Быкова и др., 2013). С одной стороны, гуминовые вещества, попадая в растения, стимулируют ряд физиологических изменений: увеличивается содержание липидов, повышается активность фосфотазы, усиливаются антиоксидантные свойства (Пукальчик и др., 2017). С другой, силанольные производные гуминовых веществ улучшают почвенную структуру за счет повышения средневзвешенного диаметра водоустойчивых агрегатов (в 1,1–2,1 раза), способствуют увеличению микробиологической активности почв, а также содержания растворенного органического вещества и доступного азота (Куликова и др., 2018; Филиппова и др., 2015).

Перспективным источником получения эффективных гуминовых препаратов являются бурые угли (Жеребцов и др., 2016, 2019). Отмечается, что гуминовые кислоты, выделенные из бурых углей, характеризуются высокой биологической активностью (Жеребцов и др., 2018). Предпосевная обработка семян и обработка всходов сельскохозяйственных культур гуминовыми препаратами способствует успешному преодолению растениями экстремальных условий, свойственных техногенным ландшафтам (Быкова и др., 2013; Соколов и др., 2018).

В связи с этим целью исследования стало выявление перспектив использования гуминовых препаратов для восстановления нарушенных угледобычей территорий посредством оценки связи их биологической активности и структурно-группового состава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследований были выбраны гуминовые препараты, полученные из бурых углей различных марок. В частности, были выбраны гумусовые бурые угли Тисульского месторождения Канско-Ачинского бассейна (БУТС), их естественно-окисленная форма (БУТСО), угли Тюльганского месторождения Южно-Уральского бассейна (БУТ). Гуматы натрия (Hum Na) и калия (Hum K) получали осаждением из щелочного раствора при добавлении соляной кислоты (Тайц, Андреева, 1983). Обогащение препаратов проводили путем добавления к гумату Hum Na БУТС микроэлементов – меди и цинка.

Образцы гуматов охарактеризованы методом ^{13}C ЯМР-спектроскопии (табл. 1). Спектры ^{13}C -ЯМР высокого разрешения в твердом теле регистрировали на приборе «Bruker AVANCE III 300 WB» на частоте 75 МГц с использованием стандартной методики кросс-поляризации и вращением под магическим углом (CPMAS).

Испытания препаратов проводили на участках техногенных ландшафтов – отвалов угольного разреза «Заречный» АО «СУЭК-Кузбасс». При закладке экспериментальных площадок были выбраны почвы, развивающиеся на углевмещающих плотных породах и лессовидном суглинке рыхлых осадочных пород, а также на рекультивированных участках отвалов (табл. 2). Рекультивация была осуществлена путем отсыпки на каменистый субстрат плодородного слоя почвы (мощностью около 40 см) или при отсыпке смеси суглинка и торфа (мощностью около 100 см).

Таблица 1

Интегральные значения интенсивности спектральных областей гуминовых кислот по данным ^{13}C -ЯМР, %

Шифр образца	Химический сдвиг, м. д.						
	220–187	187–165	165–145	145–108	108–90	90–48	48–5
	$\text{C}_{\text{C=O}}$	$\text{C}_{\text{COOH(R)}}$	$\text{C}_{\text{Ar-OH}}$	C_{Ar}	$\text{C}_{\text{O-Alk-O}}$	$\text{C}_{\text{Alk-O}}$	C_{Alk}
Na БУТ30	1,5	6,4	8,5	26,0	5,2	15,2	37,3
Na БУТ31	2,4	7,6	8,5	25,2	4,2	12,2	39,9
К БУТСО	3,8	6,7	9,5	33,1	6,3	14,0	25,4
Na БУТС	3,5	7,4	8,2	31,7	6,3	14,8	26,8

Таблица 2

Основные физические и химические свойства почв (в верхнем 20-см слое)

Название (сокращенное)	Название (по: WRB, 2015)	Доля фракции, %		Плотность, г/см ³	Содержание общего углерода, %	pH _{вод.}	Влажность, %
		> 3 мм	< 0.01 мм				
Техногенный элювий (ТЭ)	Hyperskeletal Spolic Technosol (Eutric)	61±7	17,9±2,1	1,8±0,3	4,7±0,5	7,5±0,3	12,9* 10,2–15,6
Потенциально плодородные породы (ППП)	Spolic Technosol (Siltic)	0	51,9±4,3	1,3±0,1	1,4±0,2	7,2±0,2	21,4 16,5–25,2
Плодородный слой почв (ПСП)	Spolic Technosol (Epihyperskeletal, Humic, Siltic)	0	53,7±3,1	1,2±0,1	3,4±0,2	7,1±0,2	28,1 23,4–32,4
Смесь органогенных и потенциально плодородных пород (Торф + ППП)	Spolic Technosol (Carbonic, Epihyperskeletal, Siltic)	0	38,4±6,1	0,7±0,3	30,3±0,5	6,8±0,3	71,5 47,5–105,3

* В числителе – среднее, в знаменателе – минимальное и максимальное значение.

Участки полевых опытов характеризуются различными физическими и химическими свойствами почв, которые сказываются на гумусном состоянии и степени влагообеспеченности опытных площадок. Оценивая свойства субстратов отвалов, на которых проводили исследования, можно выделить два признака, дифференцирующие экспериментальные площадки по условиям проведения опытов с гуматами. Первым признаком является наличие в субстрате отвалов гуминовых веществ естественной природы. По этому признаку к площадкам первой группы относятся ПСП и Торф+ППП, субстраты которых содержат гуминовые соединения (гумус и торф соответственно). Вторая группа включает площадки ППП и ТЭ. В субстрате площадки ТЭ, содержание гуминовых веществ остается также низким.

Второй признак дифференцирует участки проведения опытов по условиям увлажнения (см. табл. 2). Так, каменистые субстраты площадки, сложенной техногенным элювием, в течение эксперимента характеризовались дефицитом увлажнения. Максимальная влажность почв в период проведения опытов достигала 15,6 %, при средней 12,9 %. Площадки, сформированные ППП и ПСП, условно можно считать оптимально увлажненными. В среднем их влажность составила 21,4 и 28,1 % соответственно. Избыточное увлажнение было на площадке Торф+ППП, где средняя за полевой сезон влажность составила 71,5 %.

Во всех вариантах полевого опыта результирующее действие гуминовых препаратов оценивали по их влиянию на урожайность *Vicia villosa* Roth. и ее смеси с *Avéna satíva* L., которую определяли в конце вегетационного периода по величине сухой надземной фитомассы. Также учитывали масса стручков *V. villosa*.

Семена замачивали в растворах препаратов в течение 24 часов, затем высевали. Гуминовые препараты разбавляли до 0,02 %. Опыт закладывали в трехкратной повторности на делянках

площадью 2 м². В контрольных вариантах вместо растворов гуматов использовали дистиллированную воду в тех же объемах, что и в вариантах с препаратами. Все партии семян предварительно проверяли на всхожесть. Для опытов отбирали партии со всхожестью семян не менее 90 %.

Статистическую обработку данных проводили методом главных компонент при помощи пакетов программ PAST V2.17.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Показано, что воздействие гуминовых препаратов на урожайность фитомассы викоовсяной смеси проявилось разнопланово (рис. 1). Одной из причин, обуславливающих неоднозначность полученных результатов, являются различные эдафические свойства субстратов.

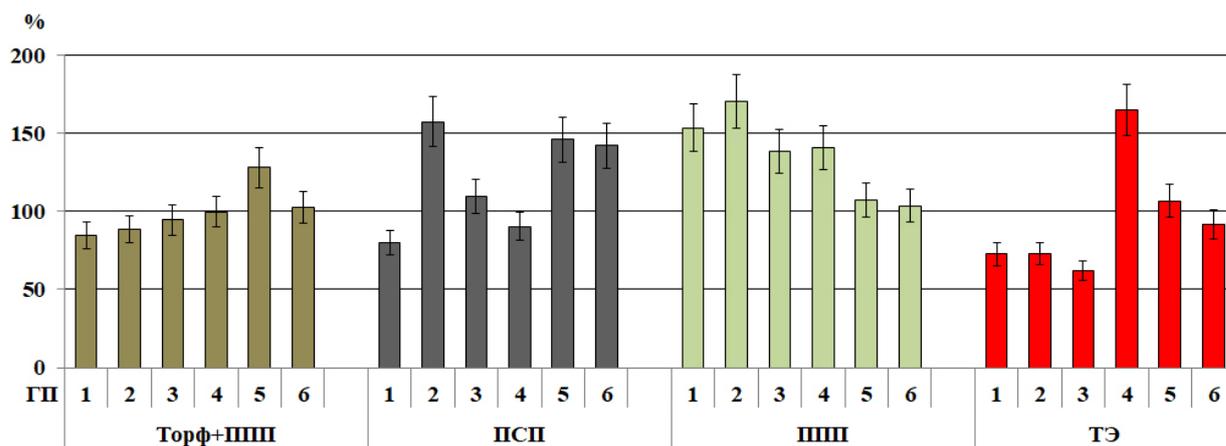


Рисунок 1. Надземная фитомасса викоовсяной смеси в вариантах опыта по отношению к контролю:

ГП – гуминовый препарат; 1 – Na БУТС + Cu 0,006%; 2 – Na БУТС; 3 – Na БУТС + Zn 0,006 %; 4 – K БУТСО; 5 – Na БУТ30; 6 – Na БУТ31; Торф+ППП – смесь торфа и суглинистых пород; ПСП – плодородный слой почвы; ППП – потенциально плодородные породы; ТЭ – каменистые породы (техногенный элювий).

Наибольший эффект от влияния препаратов зафиксирован на субстратах, представленных ППП. Превышение значений надземной фитомассы по отношению к контрольным составило от 3 до 170 %. На площадках ПСП эффект от действия препаратов проявился разнонаправленно. Положительно проявили себя гуматы ГП5, ГП6, а также ГП2. На участке Торф+ППП, на рост и развитие растений благоприятно повлиял только ГП5, эффективность других препаратов была ниже или осталась на уровне контроля. В варианте ТЭ наибольший эффект фиксировался при использовании калиевого гумата ГП4 – 65 % прибавки урожая.

Аналогичные, однако более высокие значения выявлены для сухой фитомассы *V. villosa* (рис. 2). На участках с отсыпкой торфа, ПСП и ППП практически все гуматы оказали положительное влияние на надземную фитомассу *V. villosa*. На техногенном элювии превышение значений по отношению к контролю зафиксировано только на площадках, где испытывали препараты ГП4, ГП5, ГП6.

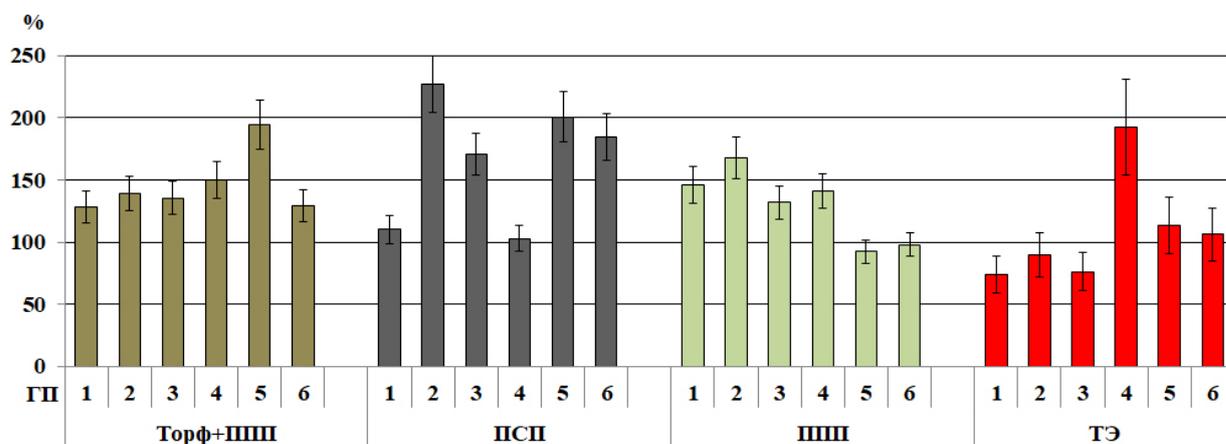


Рисунок 2. Надземная фитомасса *V. villosa* в вариантах опыта по отношению к контролю.

Обозначения – см. рис. 1.

Отдельно проводили определение массы стручков *V. villosa* (рис. 3), собранных на всех видах субстратов. На участках Торф+ППШ и ППШ, применение всех гуминовых препаратов положительно сказалось на увеличении массы стручков: в сравнении с контрольными вариантами прирост составил 110–315 %. Более контрастно проявили себя гуминовые препараты на участках ПСП. Отрицательный эффект на массу стручков *V. villosa* оказали гуминовые кислоты, полученные из естественно-окисленной формы углей Тисульского месторождения Канско-Ачинского бассейна (ГП4).

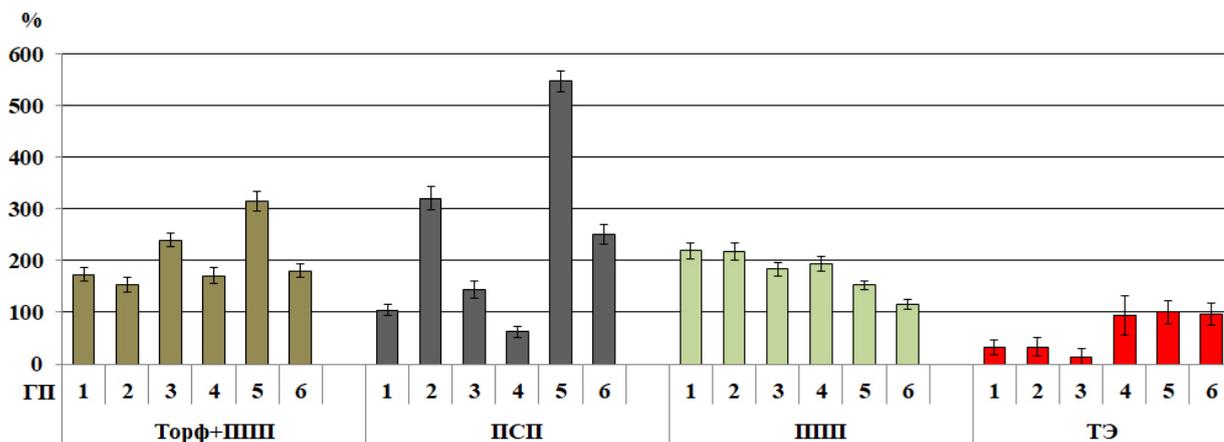


Рисунок 3. Масса стручков *V. villosa* в вариантах опыта по отношению к контролю. Обозначения – см. рис. 1.

Оценка влияния гуминовых препаратов на урожайность стручков *V. villosa* показала отрицательное воздействие препаратов ГП1, ГП2 и ГП3 (группы Na БУТС). Масса стручков вики с площадок, обработанных препаратами, оказалась в 3 раза меньше, чем в контрольном варианте.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Статистическая обработка результатов, полученных в полевых экспериментах, была проведена методом главных компонент. При этом учитывали свойства структурно-группового состава гуминовых, в том числе и модифицированных, препаратов, а также превышение урожайности *V. villosa*, травяной смеси *A. sativa*+*V. villosa* и массы стручков *V. villosa* по отношению к контрольным вариантам опытов. Результаты показали, что наиболее тесную положительную связь с первой главной компонентой имеют такие показатели, как C_{Alk} , C_{Ar} и $C_{O-Alk-O}$. (табл. 3). Значительный вклад в первую главную компоненту также вносит группа $C_{C=O}$. Вторая компонента тесно связана с долей углерода C_{Ar-OH} . Третья компонента надежно коррелирует с $C_{COOH(R)}$ и C_{Alk-O} .

Таблица 3

Корреляционная связь главных компонент и параметров структурно-группового состава гуминовых препаратов в полевом опыте

Параметр	Главная компонента 1 (39 % дисперсии)	Главная компонента 2 (19 % дисперсии)	Главная компонента 3 (17 % дисперсии)
$C_{C=O}$	0,90	-0,20	-0,25
$C_{COOH(R)}$	0,21	0,49	-0,78
C_{Ar-OH}	-0,02	-0,92	0,18
C_{Ar}	0,96	-0,23	0,08
$C_{O-Alk-O}$	0,94	-0,08	0,30
C_{Alk-O}	0,49	0,22	0,67
C_{Alk}	-0,97	0,16	-0,11
Cu	0,41	0,23	-0,21
Zn	0,33	0,35	-0,03

Примечание. Цветом выделены достоверные значения.

Использование препаратов группы БУТС, обогащенных Zn и Cu, не влечет за собой ни положительных, ни отрицательных последствий. По всей видимости эффект от действия этих элементов не проявился по причине отсутствия их дефицита в семенах и субстратах испытательных площадок.

Таким образом, результаты исследований позволяют заключить, что использование гуминовых препаратов, полученных из бурых углей, в целях восстановления техногенных ландшафтов, обоснованно только на участках, сложенных суглинистыми породами с низким содержанием гуминовых веществ гумуса и торфа. Отмеченная разнонаправленность действия гуматов, проявляющаяся в зависимости от их структурно-группового состава, свойств субстратов и видов растений, используемых на биологическом этапе, свидетельствует о нецелесообразности применения унифицированных препаратов для рекультивации различных техногенных объектов.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках базового проекта ИПА СО РАН и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 18-55-91033.

ЛИТЕРАТУРА

- Быкова С.Л., Соколов Д.А., Нечаева Т.В., Жеребцов С.И., Исмагилов З.Р. Агроэкологическая оценка применения гуматов при мелиорации техногенно нарушенных ландшафтов // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2013. №5 (99). С.58-61.
- Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Вотолин К.С., Андроханов В.А., Соколов Д.А., Дугаржав Ж., Исмагилов З.Р. Структурно-групповой состав и биологическая активность гуминовых кислот, полученных из бурых углей России и Монголии // *Химия твердого топлива*. 2019. №3. С.19-25. DOI: [10.1134/S0023117719030137](https://doi.org/10.1134/S0023117719030137)
- Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Вотолин К.С., Андроханов В.А., Соколов Д.А., Дугаржав Ж., Исмагилов З.Р. Гуминовые препараты: связь структурно-группового состава и биологической активности // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2018. №5 (129). С.52-60. DOI: [10.26730/1999-4125-2018-5-52-60](https://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-5-52-60)
- Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Соколов Д.А., Исмагилов З.Р. Зависимость физиологической активности нативных и модифицированных гуминовых кислот бурых углей от структурно-группового состава // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2016. №4 (116). С.107-113.
- Куликова Н.А., Филиппова О.И., Воликов А.Б., Холодов В.А., Зиганина А.Р., Ярославцева Н.В., Перминова И.В. Силанольные производные гуминовых веществ – перспективные мелиоранты комплексного действия // *Биологически активные препараты для растениеводства. Научное обоснование – рекомендации – практические результаты. Материалы XIV Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Д.В. Маслак*. 2018. С.115-116.
- Пукальчик М.А., Панова М.И., Терехова В.А., Якименко О.С., Федосеева Е.В. Действие гуминовых препаратов на активность почвенных ферментов в модельном опыте // *Агрохимия*. 2017. №8. С.84-91. DOI: [10.7868/S0002188117080105](https://doi.org/10.7868/S0002188117080105)
- Соколов Д.А., Добрянская С.Л., Андроханов В.А., Клековкин С.Ю., Госсен И.Н., Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Вотолин К.С., Дугаржав Ж. Оценка влияния структурно-группового состава гуминовых кислот бурых углей на их биологическую активность в условиях техногенных ландшафтов // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2018. №5 (129). С. 90-99. DOI: [10.26730/1999-4125-2018-5-90-99](https://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-5-90-99)
- Филиппова О.И., Куликова Н.А., Бычкова Я.С., Воликов А.Б., Перминова И.С. Замедленное высвобождение азота из гуминовых веществ, модифицированных аминокислотами // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2015. №1. С.42-47.
- Conselvan G.B., Pizzeghello, D., Francioso O., Foggi M.D., Nardi S., Carletti, P. Biostimulant activity of humic substances extracted from leonardites // *Plant Soil*. 2017. Iss.420. P.2-6. DOI:[10.1007/s11104-017-3373-z](https://doi.org/10.1007/s11104-017-3373-z)
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2019. Safeguarding against economic slowdowns and downturns. Rome, FAO.
- Gisladottir G., Stocking M. Land degradation control and its global environmental benefits // *Land Degradation and Development*. 2005. №2 (16). P.99-112. DOI:[10.1002/ldr.687](https://doi.org/10.1002/ldr.687)
- Kumar B.M. Mining waste contaminated lands: an uphill battle for improving crop productivity // *Journal of Degraded and Mining Land Management*. 2013. Vol.1, №1 (1). P.43-50. DOI:[10.15243/jdmlm.2013.011.043](https://doi.org/10.15243/jdmlm.2013.011.043)
- Mattiske A. Mine rehabilitation in the Australian minerals industry. Mineral Council of Australian, Industrial report. 2016. 48 p.
- Mborah C., Bansah K.J. and Boateng M.K. Evaluating alternate post-mining land-uses: A review // *Environment and Pollution*. 2016. №1 (5). P.14-22. DOI:[10.5539/ep.v5n1p14](https://doi.org/10.5539/ep.v5n1p14)
- Stringer L.C., Schuster M.A., Marques M.J., Amiraslani F., Quatrini S., Abraham, E.M. Combating land degradation and desertification and enhancing food security: Towards Integrated Solutions // *Annals of Arid Zone* 50 (3 and 4). 2011. P.1-23.
- Tsetsegmaa G., Akhmadi K., Cho W., Lee S., Chandra R., Jeong C.E., Chia R.W., Kang H. Effects of Oxidized Brown Coal Humic Acid Fertilizer on the Relative Height Growth Rate of Three Tree Species // *Forests*. 2018. Iss.9, №6. P.2-10. DOI:[10.3390/f9060360](https://doi.org/10.3390/f9060360)
- Wang J., Zhao F., Yang J., Li X. Mining site reclamation planning based on land suitability analysis and ecosystem service evaluation: A case study in Liaoning Province, China // *Sustainability*. 2017. Iss.9, №6. 890. P.1-19. DOI: [10.3390/su9060890](https://doi.org/10.3390/su9060890)

Поступила в редакцию 23.04.2021

Принята 15.05.2021

Опубликована 30.05.2021

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

Сведения об авторах:

Фиша Фути Седрик – магистрант Новосибирского государственного аграрного университета; phuticedric@mail.ru

Будина Екатерина Валерьевна – магистрант Новосибирского государственного аграрного университета; katya_nemirskaya@mail.ru

Жеребцов Сергей Игоревич – доктор химических наук, заведующий лабораторией химии бурых углей ФГБУН ФИЦ Угля и углехимии СО РАН; sizh@yandex.ru

Малышенко Наталья Васильевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории супрамолекулярной химии полимеров ФГБУН ФИЦ Угля и углехимии СО РАН; profkemsoc@yandex.ru

Госсен Игорь Николаевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); gossen@issa-siberia.ru

Клековкин Сергей Юрьевич – ведущий инженер лаборатории рекультивации почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); klekovkin@issa-siberia.ru

Соколов Денис Александрович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); sokolovdenis@issa-siberia.ru



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE USE OF HUMIC SUBSTANCES DERIVED FROM BROWN COALS FOR TECHNOGENIC LANDSCAPES RECLAMATION

© 2021 P.C. Fisha ¹, E.V. Budina¹, S. I. Zhrebtsov ², N.V. Malysenko ², I.N. Gossen ³,
S.Yu. Klekovkin³, D.A. Sokolov ³

Address: ¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia. E-mail: Phuticedric@mail.ru

² Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS, Kemerovo, Russia. E-mail: sizh@yandex.ru

³ Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: sokolovdenis@issa-siberia.ru

The objective of the study. To identify the prospects for the use of humic preparations for the restoration of disturbed coal-mining areas, by assessing the relationship between their biological activity and the structural-group composition.

Location and time of the study. The study was carried out in the Novokuznetsk district of the Kemerovo region (N 54.14° N and E 87.10° E) in 2020.

Methodology. The study of the structure-group composition of humic preparations was carried out by the ¹³C NMR spectroscopy. Evaluation of the effect of humic preparations was performed in a series of plot experiments setup in the reclaimed and non-reclaimed areas of the coal mining spoils. The properties of the soils substrates of the technogenic landscapes were determined by traditional soil methods. The effect of the preparations was assessed by the dry phytomass production and pod yields of *Vicia villósa* vetch, as well as the phytomass production of the *Avéna satíva* + *Vicia villósa* mixture. Statistical analysis of the data was carried out by the principal components analysis.

Main results: Comparison of humic preparations obtained from brown coals of the Tisulsky (Kansk-Achinsky basin) and Tyulgansky (South Ural basin) deposits showed that, in general, all preparations positively affected phytomass production and pod yeild. However, in different conditions of technogenic landscapes and in relation to different plant species, the effect could manifest itself in different directions.

A stable positive effect from pre-sowing seed treatment was achieved only with substrates depleted in natural humic substances (humus and peat), and with optimal moisture. Under such conditions, the greatest influence was exerted by preparations obtained from brown coals of the Tisulsky deposit of the Kansk-Achinsky basin, and their naturally oxidized form, which are characterized by a high proportion of oxygen-containing aliphatic (C_{O-Alk-O}), as well as aromatic (C_{Ar}) groups. At the same time, under moisture deficit, the indicated chemical properties negatively affected the yield. In stony areas of technogenic landscapes, a positive effect was manifested only by preparations with a maximum proportion of aromatic hydroxide-

containing groups (C_{Ar-OH}). Enrichment of humic preparations with microelements (Zn and Cu) did not result in either positive or negative consequences.

Conclusion. The use of humic preparations obtained from brown coals for restoring technogenic landscapes is justified only in areas composed of loamy rocks with a low content of humic substances of humus and peat. The noted multidirectional action of humates, which manifests itself depending on their structural and group composition, properties of substrates and plant species used at the biological stage of reclamation, indicates that using the same standardized preparations for the reclamation of various technogenic objects may not be reasonable.

Key words: humic preparations; biological activity; technogenic landscape; reclamation; structural-group composition of organic compounds; principal component analysis; Technosol

How to cite: Fisha P.C., Budina E.V., Zherebtsov S.I., Malysenko N.V., Gossen I.N., Klekovkin S.Yu., Sokolov D.A. Comparative assessment of the use of humic substances derived from brown coals for technogenic landscapes reclamation // *Journal of Soils and Environment*, 2021, Vol.4, No.1. doi: [10.31251/pos.v4i1.135](https://doi.org/10.31251/pos.v4i1.135) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

- Bykova S. L., Sokolov D. A., Nechaeva T. V., Zherebtsov S. I., Ismagilov Z. R. Agro ecological assesment of humates application in the process of technogenic landscapes melioration, *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2013, No.5, p. 58–61. (in Russian)
- Zherebtsov S.I., Malysenko N.V., Votolin K.S., Ismagilov Z.R., Androkhanov V.A., Sokolov D.A., Dugarjav J. Structural-group composition and biological activity of humic acids obtained from brown coals of Russia and Mongolia, *Solid Fuel Chemistry*, 2019, Vol.53, No.3, p. 145–151. DOI: [10.3103/S0361521919030121](https://doi.org/10.3103/S0361521919030121)
- Zherebtsov S.I., Malysenko N.V., Votolin K.S., Androkhanov V.A., Sokolov D.A., Dugarjav J., Ismagilov Z.R. Humic preparations: relation between structural group composition and biological activity, *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2018, No5(129), p.52–61. (in Russian) DOI: [10.26730/1999-4125-2018-5-52-60](https://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-5-52-60)
- Zherebtsov S.I., Malysenko N.V., Sokolov D.A., Ismagilov Z.R. Dependence of physiological activity of native and modified brown coal humic acids from structural and group composition, *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2016, No.4(116), p. 107–113. (in Russian)
- Kulikova N. A., Filippova O. I., Volikov A. B., Kholodov V. A., Ziganshina A. R., Yaroslavtseva N. V., Perminova I. V. Silanol derivatives of humic substances-promising meliorants of complex action In book: *Biologically active preparations for plant production. scientific justification-recommendations - practical results. Materials of the XIVth Inter. Sc. and Prac. Conf. Ed. D.V. Maslak*, 2018, p.115–116. (in Russian)
- Pukal'chik M. A., Panova M. I., Terekhova V. A., Yakimenko O. S., Fedoseeva E. V. Effect of humic preparations on the activity of soil enzymes in the model experiment, *Agrohimia*, 2017, No.8, p. 84–91. (in Russian) doi: [10.7868/S0002188117080105](https://doi.org/10.7868/S0002188117080105)
- Sokolov D.A., Dobryanskaya S.L., Androkhanov V.A., Klekovkin S.Yu., Gossen I.N., Zherebtsov S.I., Malysenko N.V., Votolin K.S., Dugarzhav Zh. Assessment of the structural-group composition of humic acid from brown coals impact on their biological activity in conditions of technogenic landscapes, *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2018, No.5 (129), p.90–99. (in Russian) DOI: [10.26730/1999-4125-2018-5-90-99](https://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-5-90-99)
- Filippova O. I., Kulikova N. A., Bychkova Ya. S., Volikov A. B., Perminova I. S. Slow release of nitrogen from humic substances, modified with aminoorganosilanes, *Problemy argrohimii i ekologii*, 2015, No.1, p.42–47. (in Russian)
- Conselvan G.B., Pizzeghello D., Francioso O., Foggia M.D., Nardi S., Carletti, P. Biostimulant activity of humic substances extracted from leonardites, *Plant Soil*, 2017, Iss.420. P.2–6. DOI:[10.1007/s11104-017-3373-z](https://doi.org/10.1007/s11104-017-3373-z)
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2019. Safeguarding against economic slowdowns and downturns. Rome, FAO. 2019.
- Gisladottir G., Stocking M. Land degradation control and its global environmental benefits, *Land Degradation and Development*, 2005, No2(16), p.99–112. DOI:[10.1002/ldr.687](https://doi.org/10.1002/ldr.687)
- Kumar B.M. Mining waste contaminated lands: an uphill battle for improving crop productivity, *Journal of Degraded and Mining Land Management*, 2013, Vol.1, No.1, p.43–50. DOI:[10.15243/jdmlm.2013.011.043](https://doi.org/10.15243/jdmlm.2013.011.043)
- Mattiske A. Mine rehabilitation in the Australian minerals industry. Mineral Council of Australian, Industrial report. 2016. 48 p.
- Mborah C., Bansah K.J., Boateng M.K. Evaluating alternate post-mining land-uses: A review, *Environment and Pollution*, 2016, No.1(5), P.14–22.
- Stringer L.C., Schuster M.A., Marques M.J., Amiraslani F., Quatrini S., Abraham, E.M. Combating land degradation and desertification and enhancing food security: Towards Integrated Solutions, *Annals of Arid Zone* 50 (3 and 4), 2011, P.1–23.
- Tsetsegmaa G., Akhmadi K., Cho W., Lee S., Chandra R., Jeong C.E., Chia R.W., Kang, H. Effects of Oxidized Brown Coal Humic Acid Fertilizer on the Relative Height Growth Rate of Three Tree Species, *Forests*, 2018, Iss.9, No6, p.2–10. DOI: [10.3390/f9060360](https://doi.org/10.3390/f9060360)
- Wang J., Zhao F., Yang J., Li X. Mining site reclamation planning based on land suitability analysis and ecosystem service evaluation: A case study in Liaoning Province, China, *Sustainability*, 2017, Iss.9. No6, 890, p.1–19. DOI: [10.3390/su9060890](https://doi.org/10.3390/su9060890)

Received 23 April 2021

Accepted 15 May 2021

Published 30 May 2021

About the authors:

Fisha Phuti C. – Master's student of the Novosibirsk State Agrarian University; Phuticedric@mail.ru

Budina Ekaterina V. – Master's student of the Novosibirsk State Agrarian University; katya_nemirskaya@mail.ru

Zherebtsov Sergey I. – Doctor of Chemical Sciences, Head of the Laboratory of Brown Coal Chemistry, The Federal Research Centre of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russia; sizh@yandex.ru

Malysenko Natalya V. – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Supramolecular Chemistry of Polymers, The Federal Research Centre of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russia; profkemsc@yandex.ru

Gossen Igor N. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil Reclamation, the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; gossen@issa-siberia.ru

Klekovkin Sergey Yu. – Leading Engineer of the Soil Reclamation Laboratory, the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; klekovkin@issa-siberia.ru

Sokolov Denis A. – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Soil Reclamation, the Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; sokolovdenis@issa-siberia.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)