

УДК 662.73; 547.992.2; 631.811.98

DOI: 10.15372/ChUR2021329

## Биологическая активность гуминовых препаратов, содержащих макро- и микроэлементы

С. И. ЖЕРЕБЦОВ<sup>1</sup>, Н. В. МАЛЫШЕНКО<sup>1</sup>, К. С. ВОТОЛИН<sup>1</sup>, К. М. ШПАКОДРАЕВ<sup>1</sup>, З. Р. ИСМАГИЛОВ<sup>1</sup>,  
Д. А. СОКОЛОВ<sup>2</sup>, В. А. АНДРОХАНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,  
Кемерово (Россия)

<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,  
Новосибирск (Россия)

E-mail: sizh@yandex.ru

### Аннотация

На основе гуминовых кислот, выделенных из бурого угля Тисульского месторождения Канско-Ачинского угольного бассейна, получены образцы гуминовых препаратов, содержащие макро- и микроэлементы питания растений. Проведено тестирование биологической активности гуминовых препаратов в лабораторных и полевых условиях каменистых и суглинистых почв с использованием семян пшеницы сортов Ирень и Новосибирская 89. Проведена сравнительная оценка влияния содержания микроэлементов кобальта, марганца, меди и цинка в гуминовых препаратах на ростовые показатели пшеницы. Показано, что эффективность применения гуминовых препаратов зависит от концентрации всех компонентов, способа их внесения, а также от эдафических факторов почвенных субстратов.

**Ключевые слова:** гуминовые кислоты, биологическая активность, индекс фитоактивности

### ВВЕДЕНИЕ

Гуминовые кислоты (ГК) являются сырьем для получения высокоэффективных гуминовых препаратов (ГП) – стимуляторов роста растений пролонгированного действия. Способность ГК стимулировать рост растений подтверждена исследованиями, проводимыми с использованием множества видов растений, культивируемых в различных условиях [1–2]. Благоприятное влияние ГК на развитие растений проявляется как на росте корней и проростков, так и на урожайности. При использовании ГК в сельском хозяйстве в виде растворимых гуматов увеличивается урожайность зерновых, кормовых и овощных культур в среднем на 10–30 %; повышается всхожесть семян и их прорастание; улучшается обмен веществ у растений; усиливается корнеобразование. Гуминовые кислоты содержат ароматические и алифатические домены, пред-

ставляющие O-, N- и S-содержащие функциональные группы с высокой биологической и химической активностью, которые могут влиять на активность ферментов, стимуляцию роста корней, увеличение биомассы. Фрагменты ГК с большей лабильностью могут достигать поверхности корней и взаимодействовать с клеточной мембраной, регулировать клеточный метаболизм [3]. Увеличение проницаемости клеточной мембраны облегчает проникновение питательных веществ и микроэлементов внутрь клетки и ускоряет дыхание растений, синтез хлорофилла, сахаров, витаминов, аминокислот [4]. После применения ГП в листьях растений обнаружено повышенное содержание аминокислот (глутамат, аспартат, серин, глицин, метионин) [5]. Поступление ГК в растворенном состоянии в растительную клетку сопровождается усилением окислительно-восстановительных реакций согласно теории Баха–Паладина–Сент-Дьерди:

бианион гидрохинона ↔ анион-радикал ↔ бензохинон. Наличие свободных радикалов способствует увеличению запаса энергии и активности ферментативной системы в растительной клетке, повышая ее общий метаболизм. Можно предположить, что действие ГК на растения является результатом одновременно протекающих многих биологических и химических процессов, которые зависят в первую очередь от свойств гуминовых веществ (ГВ), химических и биологических свойств почвы и самих растений.

Применение ГП повышает резистентность растений к различным заболеваниям, позволяет не только снизить нормы внесения минеральных удобрений в почву, но и минимизировать угнетающее действие их высоких доз. Кроме того, ГП ослабляют отрицательное действие токсических веществ в почве, тяжелых металлов, снижают токсикоз почв [6].

Биологическую активность ГП можно усилить внедрением в гуматы макро- и микроэлементов питания растений. Макроэлементы, к которым относятся содержащиеся в почве и растениях в значительных количествах азот, фосфор, калий, сера, магний, железо, представляют особую важность для роста и развития растений на всех стадиях жизненного цикла. Каждый элемент минерального питания растений выполняет специфические функции. Основное значение микроэлементов – повышение активности различных ферментов, катализирующих многие биохимические процессы [7]. Микроэлементы стимулируют дыхание растений и повышают скорость окислительно-восстановительных процессов (Mn, Zn, Cu, Mo); участвуют

в образовании органических кислот и других соединений, необходимых для синтеза высокомолекулярных веществ в растениях, таких как белки, клетчатка, лигнин и т. д. (Mn, Cu, B); влияют на синтез хлорофилла в листьях и повышают интенсивность фотосинтеза (Mn, Zn, Cu, Mo, Co, B); активизируют ферменты белкового обмена (Mn, Zn, Co, Fe).

Недостаток, также как и избыток усвояемых макро- и микроэлементов в почве нарушает обмен веществ, вызывает различные заболевания, что приводит к снижению урожайности.

Цель данной работы – исследование влияния биологической активности комплексных гуминовых препаратов на основе гумата натрия (ГумNa), содержащих макро- и микроэлементы, на ростовые показатели и урожайность пшеницы в лабораторных и полевых условиях.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### Материалы

Для изучения выбраны ГК из гумусовых бурых углей Тисульского месторождения Канско-Ачинского бассейна. Биологическую активность ГК исследовали в виде растворимых гуматов натрия (ГумNa), полученных щелочной экстракцией 1 % раствором NaOH по стандартной методике [8].

Для проведения тестов были приготовлены исходные водные растворы ГП, содержащие макро- и микроэлементы: комплексные (ГП 1 и ГП 2), кобальт (ГП 3), марганец (ГП 4), медь (ГП 5) и цинк (ГП 6) в соответствии с табл. 1.

ТАБЛИЦА 1

Гуминовые препараты, содержащие макро- и микроэлементы

Содержание компонента, %	ГП 1 (комплексный)	ГП 2 (комплексный)	ГП 3 (Co)	ГП 4 (Mn)	ГП 5 (Cu)	ГП 6 (Zn)
ГумNa	2.320	2.420	2.74	2.74	2.74	2.74
N	3.375	3.690	–	–	–	–
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.380	–	–	–	–	–
K <sub>2</sub> O	3.570	1.690	–	–	–	–
CaO	0.380	–	–	–	–	–
S	–	0.640	–	–	–	–
B	0.025	0.025	–	–	–	–
Mo	0.046	0.044	–	–	–	–
Mn	0.037	0.037	–	0.037	–	–
Co	0.021	0.021	0.021	–	–	–
Zn	0.006	0.006	–	–	–	0.006
Cu	0.006	0.006	–	–	0.006	–

Для приготовления препаратов использовали карбамид, сульфат калия, нитрат кальция (селитра кальциевая), метаборат натрия, молибдат аммония (аммоний молибденовокислый), сульфат марганца, нитрат меди, нитрат кобальта и нитрат цинка. Навески веществ, добавляемых к раствору гуматов, рассчитывали из общего процентного содержания действующих компонентов с учетом предложенных в работе [7] форм и доз удобрений, содержащих макро- и микроэлементы (см. табл. 1).

#### *Методики исследования*

Эксперименты проводились по методикам [9, 10] в соответствии с ГОСТ 12038–84 и ГОСТ Р 54221–2010 [11, 12]. Биологическая активность оценивалась методом фитотестирования, для которого были выбраны растения широко распространенной однолетней сельскохозяйственной культуры семейства злаковых – пшеницы сортов Новосибирская 89 и Ирень. Использование в экспериментальных опытах семян пшеницы позволяет получить надежные количественные и качественные данные как в лабораторных условиях, так и в полевых. Кроме того, именно злаковые растения используют для закрепления (задернения) поверхности почв в борьбе с опустыниванием.

Биологическую активность оценивали по величине индекса фитоактивности (ИФ) с учетом тест-функций: энергии прорастания семян (ЭП), длины корня (ДК) – показателя, отражающего отзывчивость растения по отношению к содержанию биогенных элементов, и высоты проростка (ВП) – показателя, позволяющего оценивать фитогормональное действие препарата. Опыты проводили в трехкратной повторности.

Индекс фитоактивности является обобщающим показателем, отражает отклонения величин тест-функций от контроля и вычисляется в долях единицы:

$$\text{ИФ} = \frac{(\text{ЭП} + \text{ДК} + \text{ВП})}{300}$$

где ЭП, ДК и ВП – средние величины, % к контролю [9].

Одновременно в качестве контроля семена пшеницы замачивали в дистиллированной воде в тех же условиях. В части опытов дополнительно измеряли количество корней (КК). Все партии семян предварительно проверяли на всхожесть. Для опытов отбирали партии со всхожестью семян не менее 90 %.

Поскольку концентрированный раствор гуматов может негативно влиять на рост и раз-

витие растений, его концентрацию разбавляли до 0.02 %. При этом содержание всех макро- и микроэлементов изменялось пропорционально разбавлению. Величина рН растворов составляла 6.5–8.2 и находилась в допустимых пределах для использованной культуры.

#### *Лабораторные испытания*

В лабораторных условиях семена пшеницы в количестве 20 шт. помещали в сосуды (чашки Петри), на дно которых предварительно выкладывались диски из фильтровальной бумаги, и заливали тестируемыми растворами (ГП 1 – ГП 4) или водой (в случае контрольного теста). Растворы препаратов в сосуды вносились с тем расчетом, чтобы жидкость полностью перекрывала семена, но не более чем на 3 мм. После этого сосуды переносились в термостат (26 °С), где находились 72 ч в темноте.

#### *Вегетационный опыт*

Следующим этапом испытания ГП служил вегетационный опыт. В этом эксперименте семена пшеницы высевали в сосуды, наполненные субстратом плодородного слоя каштановых почв Южной Сибири, аналогичным по своим свойствам почвам Монголии. Вегетационный опыт закладывался в теплице, в которой контролировалась температура воздуха и количество осадков, вносимых с поливом. Внесение ГП осуществлялось в двух вариантах: в первом – при предпосевном замачивании семян (за сутки до посева), во втором – при поливе всходов.

Оценка действия ГП базировалась на количественных и качественных параметрах. При этом еженедельно и с привязкой к фазам развития пшеницы измерялась ВП. В конце вегетации измерялись следующие показатели: величина надземной фитомассы, количество и масса семян. Все варианты опыта, как с ГП, так и со способами их внесения, проводились в трехкратной повторности. В контрольных тестах, которые также выполнялись в трехкратной повторности, использовалась дистиллированная вода.

#### *Полевые испытания*

Полевые испытания ГП выполнялись в двух вариантах: при предпосевной обработке семян и при поливе всходов (0.02 % по ГумNa). Исследования проводились на участках техногенных ландшафтов, отвалов угольного разреза “Заречный” АО “СУЭК-Кузбасс”. Выбор участков

для полевых экспериментов определяли, исходя из тех свойств, которые соответствуют аридным экстраконтинентальным районам Монголии. Поэтому при закладке экспериментальных площадок были выбраны субстраты, представленные техногенным элювием плотных углевещующих пород, аналогичных каменистым почвам Монголии, а также лессовидные карбонатные суглинки – рыхлые осадочные породы, выступающие в качестве модели суглинистых и глинистых почв аридных областей. Использование этих субстратов благодаря незначительному содержанию в них углерода органических веществ (до 3 %) позволяет более достоверно оценить эффект от действия ГП.

В вариантах с обработкой семян их замачивали в растворах препаратов в течение 1 сут, а затем высевали. В вариантах с обработкой всходов полив производили через 2 недели после посева. Опыт закладывали в пятикратной повторности на делянках площадью 2 м<sup>2</sup>. В качестве контрольных вариантов вместо растворов гуматов использовали дистиллированную воду в тех же объемах, как и в вариантах с препаратами. Во всех вариантах результирующее действие ГП оценивали по их влиянию на урожайность злаковых растений, которую определяли в конце вегетационного периода по величине сухой фитомассы. В качестве культуры была выбрана яровая пшеница сорта Новосибирская 89.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

### Лабораторные испытания

Результаты лабораторных испытаний показали, что все оцениваемые препараты оказывают положительное влияние на ЭП семян пшеницы (табл. 2). Максимальной биологической активностью по отношению к этому показателю обладают ГП с добавлением кобальта (ГП 3) и марганца (ГП 4). Эти препараты также показали максимальный положительный эффект на

ДК. Отрицательный эффект на ДК был получен с применением комплексного препарата ГП 2. Ряд эффективности препаратов выстраивается следующим образом: ГП 3 > ГП 4 > ГП 2 > ГП 1. Максимальную биологическую активность проявляют препараты, в растворе которых присутствует либо кобальт, либо марганец. Минимальные значения ИФ свойственны препаратам ГП 1 и ГП 2, обогащенным как макро-, так и микроэлементами. Вероятно, доступность биогенных элементов, с одной стороны, не стимулирует развитие корневых систем растений, а с другой – кальций, содержащийся в препарате ГП 1, способствует нейтрализации действия ГК [13].

Для установления зависимости ИФ от концентрации из исходных растворов были приготовлены растворы ГП разных концентраций – 0.0005, 0.005 и 0.01 % (по ГумNa). В данном эксперименте семена пшеницы Ирень замачивали в растительных-лотках по 50 шт. Полученные данные фитотестирования приведены в табл. 3.

Сравнивая данные табл. 2 и 3 можно сделать вывод, что использование препарата ГП 1 концентрации 0.02 и 0.01 % практически не различаются между собой и близки к контролю. Кроме того, в обоих случаях препараты оказывают угнетающее действие на ВП, а при концентрации 0.01 % – еще и на ДК. Максимально положительное влияние на прорастание семян проявляет препарат ГП 1 при минимальной концентрации (0.0005 %). Прирост ДК и ВП составляет соответственно 17 и 11 % к контролю. Значения ИФ превышают контроль на 12 %. Возможно, при снижении содержания СаО снижается степень нейтрализации ГК. Максимальное положительное влияние препаратов ГП 3 и ГП 4 проявилось при концентрации 0.005 % по ГумNa (ИФ = 1.22 и 1.24 соответственно). Высота проростков при использовании этих препаратов превысила контроль на 52 и 53 %.

Для проведения дальнейших экспериментов были приготовлены растворы ГумNa (0.005 %), содержащие катионы кобальта, марганца, меди и цинка, концентрация которых варьировалась от 0.001 до 0.1 %. Результаты экспериментов, приведенные в табл. 4, свидетельствуют о положительном влиянии ГумNa (0.005 %) на ростовые показатели семян пшеницы (ИФ превышает контроль на 39 %). Максимальную биологическую активность проявляют препараты ГП 5 (содержание меди 0.001 %) и ГП 6 (содержание цинка 0.001 %). Индексы фитоактивности в этих случаях равны 1.91 и 1.95 соответственно.

ТАБЛИЦА 2

Величины тест-функций фитоактивности гуминовых препаратов, % к контролю (концентрация ГумNa 0.02 %)

Препарат	ДК	ВП	ЭП	ИФ
ГП 1 (комплексный)	104.4	93.6	105.1	1.01
ГП 2 (комплексный)	98.9	104.5	120.6	1.08
ГП 3 (Co)	132.2	110.0	141.5	1.28
ГП 4 (Mn)	132.0	97.1	127.5	1.19

ТАБЛИЦА 3

Влияние концентрации гуминовых препаратов на индекс фитоактивности

Препарат	Концентрация по ГумNa, %	% к контролю				ИФ
		ВП	ДК	ЭП	КК	
ГП 1 (комплексный)	0.0005	111	117	107	106	1.12
>>	0.005	103	117	107	106	1.08
>>	0.01	99	99	104	103	1.01
ГП 3 (Co)	0.0005	108	104	106	103	1.06
>>	0.005	153	114	98.7	104	1.22
>>	0.01	109	107	92.6	106	1.03
ГП 4 (Mn)	0.0005	116	97	103	105	1.05
>>	0.005	152	118	103	103	1.24
>>	0.01	102	113	100	108	1.05

ТАБЛИЦА 4

Величины тест-функций фитоактивности гуминовых препаратов, содержащих микроэлементы (концентрация ГумNa 0.005 %)

Препарат	% к контролю				ИФ
	ДК	ВП	ЭП	КК	
ГумNa	164.7	147.8	105.1	105.0	1.39
ГумNa + Co <sup>2+</sup> (0.001 %)	178.7	165.9	107.6	110.2	1.51
ГумNa + Co <sup>2+</sup> (0.01 %)	162.7	155.1	100.0	106.3	1.39
ГумNa + Co <sup>2+</sup> (0.05 %)	79.4	122.7	100.0	101.1	1.01
ГумNa + Co <sup>2+</sup> (0.1 %)	28.1	73.0	93.8	103.8	0.65
ГумNa + Mn <sup>2+</sup> (0.001 %)	186.3	149.2	112.1	105.8	1.49
ГумNa + Mn <sup>2+</sup> (0.01 %)	184.3	142.6	108.0	102.6	1.45
ГумNa + Mn <sup>2+</sup> (0.05 %)	151.3	162.5	103.2	102.4	1.39
ГумNa + Mn <sup>2+</sup> (0.1 %)	126.3	127.3	100.0	102.8	1.18
ГумNa + Cu <sup>2+</sup> (0.001 %)	235.5	198.6	138.1	103.9	1.91
ГумNa + Cu <sup>2+</sup> (0.01 %)	190.9	199.3	129.1	107.1	1.73
ГумNa + Cu <sup>2+</sup> (0.05 %)	82.5	116.9	127.0	111.0	1.10
ГумNa + Cu <sup>2+</sup> (0.1 %)	20.2	41.9	66.1	35.3	0.43
ГумNa + Zn <sup>2+</sup> (0.001 %)	358.2	118.8	107.3	110.2	1.95
ГумNa + Zn <sup>2+</sup> (0.01 %)	331.9	121.6	103.2	107.5	1.86
ГумNa + Zn <sup>2+</sup> (0.05 %)	243.9	112.5	108.0	112.6	1.55
ГумNa + Zn <sup>2+</sup> (0.1 %)	146.0	102.7	108.0	113.0	1.19

Эти препараты оказывают положительное влияние на все тест-функции, особенно на ДК. Превышение над контролем ДК в случае применения препарата ГП 5 более чем в два раза, в случае ГП 6 – в три. Для препаратов ГП 3 и ГП 4, содержащих кобальт и марганец при концентрации 0.001 %, ИФ равен 1.51 и 1.49 соответственно; все тест-функции превышают контроль. При повышении концентрации микроэлементов в препаратах наблюдается снижение биологической активности и всех тест-функций. Самые низкие показатели наблюдаются в экспериментах при использовании препаратов с содержанием микроэлементов 0.1 %. Малоэф-

фективными оказались препараты с кобальтом (0.1 %); все показатели ниже, чем в контрольных опытах с водой. Индекс фитоактивности составил всего 0.65. Самые низкие показатели наблюдались для препарата с содержанием меди 0.1 % (ДК = 20.2, ВП = 41.9, ЭП = 66.1, ИФ = 0.43). Этот препарат (ГП 5), в отличие от других, показал угнетающее действие на развитие корневой системы (КК более чем в два раза ниже контрольных). Избыток микроэлементов в препаратах, также как недостаток, нарушает клеточный метаболизм, равновесие биохимических процессов в растениях, что приводит к заболеваниям (хлороз, некроз). В частности,

ТАБЛИЦА 5

Высота пшеницы по фазам развития по сравнению с контрольными вариантами, %

Препарат	Фазы развития				
	Третьего листа	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Полная спелость
Замачивание семян					
ГП 1 (комплексный)	93.8	96.3	93.1	94.6	98.7
ГП 2 (комплексный)	99.7	96.9	88.8	91.1	98.0
ГП 3 (Со)	95.8	94.6	90.5	96.5	98.2
ГП 4 (Mn)	100.4	100.6	93.6	95.9	98.0
Полив посевов					
ГП 1 (комплексный)	100.9	106.9	99.0	103.7	104.8
ГП 2 (комплексный)	101.5	107.2	101.4	104.7	101.5
ГП 3 (Со)	107.6	107.8	92.8	96.6	105.7
ГП 4 (Mn)	90.1	97.7	96.6	98.8	95.9

избыток меди приводит к торможению развития растений и к дальнейшему их отмиранию.

Следует отметить, что препараты, содержащие кобальт и цинк, положительно влияют на развитие корневой системы, т. е. способствуют увеличению количества корней, в то время как препараты, содержащие марганец, оказывают положительное влияние на образование и развитие боковых корней. Применение препаратов на основе ГумNa, в том числе дополнительно содержащих катионы кобальта, цинка и марганца, способствует развитию корневой системы растений, что является важным фактором для укрепления структуры почвы.

#### Вегетационный опыт

Результаты, полученные при наблюдении фаз развития пшеницы, показывают, что в варианте с замачиванием семян препаратами ГП 1 – ГП 4 высота растений существенно не различалась (табл. 5) и была близка к контрольным вариантам. В варианте с поливом всходов различия в высоте растений проявлялись более наглядно. На самом раннем этапе обозначилась тенденция задержки в развитии посевов при поливе раствором препарата с марганцем (ГП 4). Более высокие показатели наблюдались при поливе ростков пшеницы комплексными препаратами ГП 1 и ГП 2, содержащими макро- и микроэлементы.

В целом, в вариантах с различными препаратами высота пшеницы оставалась в пределах пятипроцентного интервала по сравнению с контролем. При замачивании семян она была ниже контрольных вариантов, при поливе – выше. Отмеченное в лабораторном опыте отрицательное влияние препарата ГП 1 сказывается на по-

ТАБЛИЦА 6

Параметры урожайности пшеницы по результатам вегетационного опыта, % к контролю

Препарат	Показатель		
	Надземная фитомасса	Количество семян	Масса семян
Замачивание семян			
ГП 1 (комплексный)	102.2	72.5	66.1
ГП 2 (комплексный)	90.9	90.8	86.7
ГП 3 (Со)	95.5	81.0	75.2
ГП 4 (Mn)	108.8	97.2	97.6
Полив всходов			
ГП 1 (комплексный)	91.1	130.6	134.1
ГП 2 (комплексный)	96.6	138.1	139.1
ГП 3 (Со)	96.2	111.3	121.8
ГП 4 (Mn)	95.5	107.5	112.8

следующем этапе развития, т. е. на высоте растений (см. табл. 5).

Оценивая итоговые результаты возделывания пшеницы в условиях вегетационного опыта, также можно отметить разнонаправленную тенденцию действия ГП, используемых при замачивании семян и при поливе (табл. 6). Так, величина надземной фитомассы пшеницы как при замачивании семян, так и при поливе растений практически во всех вариантах оставалась ниже контрольных значений.

Качественные показатели урожайности, оцениваемые по количеству и массе полученных семян, оказались ниже контрольных вариантов на 2.4–33.9 % при замачивании и выше на 7.5–39.1 % – при поливе. Примечательно, что препараты, модифицированные макроэлементами ГП 1 и ГП 2 (в особенности с добавлением Са), при поливе были наиболее эффективными.

Таким образом, применение ГП при замачивании семян негативно сказывается на развитии и показателях урожайности пшеницы. Наоборот, положительное влияние при поливе всходов пшеницы наблюдается как на высоте ростков, так и на показателях урожайности. Максимальный эффект выявлен при поливе препаратами ГП 1 и ГП 2, содержащими макро- и микроэлементы (кобальт, марганец, медь и цинк). При этом количество и масса семян превышает контроль на 30–40 %.

#### Полевые испытания

Результаты полевых испытаний показали, что влияние препаратов на величину фитомассы злаковых растений проявляется неодинаково и находится в зависимости от эдафических факторов (физических и химических свойств субстратов участков). Урожайность сухой фитомассы на участках полевого опыта была невысокой и составила от 2 до 8 ц/га. По отношению к контрольным вариантам, в которых использовалась дистиллированная вода, влияние препаратов в ряде опытов оказало положительное действие (рис. 1).

Наиболее выраженный эффект ГП проявили на субстратах, представленных каменистыми породами. Следует отметить, что в условиях дефицитного увлажнения, свойственных этим породам, одними из наиболее эффективных препаратов являются ГП 3 и ГП 4, содержащие кобальт и марганец соответственно. Практически на этом же уровне эффективности проявилось действие ГП 1, что, по всей видимости, помимо влияния Co и Mn обусловлено также наличием макроэлементов, сбалансированных по составу (N, P, K и Ca). В случае с ГП 2, также обогащенным Co, Mn, N и K, но без P и Ca, влияние препарата оказалось минимальным.

В целом, влияние ГП на значения фитомассы пшеницы, выращенной на каменистых породах, было аналогичным как для вариантов с замачиванием семян, так и для площадок, где внесение препаратов осуществлялось с поливом.

На опытных площадках, сложенных суглинистыми породами, действие препаратов проявилось неодинаково. В условиях большего увлажнения отрицательный эффект от действия препаратов был зафиксирован при использовании ГП 3 и ГП 4 (см. рис. 1). Также отрицательная, но менее выраженная, результативность от применения ГП 1 была отмечена в вариантах с

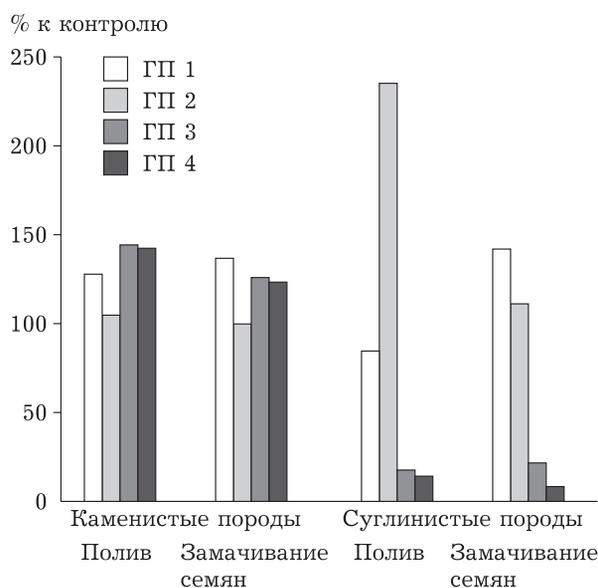


Рис. 1. Урожайность фитомассы пшеницы на площадках рекультивации по отношению к контролю, %

поливом. В этих же условиях, максимальное положительное влияние на фитомассу пшеницы оказал препарат ГП 2. Очевидно, что отмечаемый эффект связан с присутствием серы в данной модификации, а также наиболее высоким содержанием азота (см. табл. 1). Отсутствие фосфора и калия в препарате ГП 2, вероятно, компенсируется их наличием в субстратах делянок. В вариантах при замачивании семян эффект от действия ГП 2 был ниже по сравнению с эффектом при применении ГП 1. Тем не менее, значения урожайности в данном случае превысили контрольные в среднем на 13 %.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что влияние препаратов на основе ГумNa, содержащих макро- и микроэлементы, на развитие и показатели урожайности пшеницы зависит от нескольких факторов. В ходе лабораторных испытаний выявлено, что биологическая активность (ИФ) зависит от концентрации используемых препаратов и концентрации присутствующих макро- и микроэлементов. Максимальную биологическую активность проявляют препараты (0.005 % по гумату), содержание микроэлементов (кобальт, марганец, медь, цинк) в которых не превышает 0.001 %.

Опыты по вегетации показали, что полив ростков пшеницы, как способ внесения препаратов для обеспечения высоких ростовых по-

казателей и урожайности, оказался более эффективным по сравнению с замачиванием семян. Высокие результаты получены при поливе ростков пшеницы препаратами ГП 1 и ГП 2, содержащими как макро-, так и микроэлементы. Количество и масса семян в случае их применения превышает контроль на 30–40 %.

Полевые испытания показали, что выбор ГП, используемых в борьбе против опустынивания, должен осуществляться с учетом эдафических и климатических условий территории их применения. При этом наибольший эффект от использования растворов ГП проявляется на каменистых почвах, испытывающих острый дефицит увлажнения, где практически все исследуемые препараты оказывают положительное действие.

Таким образом, сбалансированное содержание макро- и микроэлементов в ГП, учет химического, биологического состава и структуры почвы, а также правильно выбранный способ внесения ГП позволит сделать их применение наиболее эффективным.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-55-91033 Монг\_оми) и в рамках государственного задания ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН (проект № 121031500124-2).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Olaetxea M., De Hita D., Garcia C. A., Fuentes M., Baigorri R., Mora V., Garnica M., Urrutia O., Erro J., Zamarreno A. M., Berbara R. L., Garcia-Mina J. M. Hypothetical framework integrating the main mechanisms involved in the promoting action of rhizospheric humic substances on plant root- and shoot-growth // *Applied Soil Ecology*. 2018. Vol. 123. P. 521–537.
- Dobbs L. B., Canellas L. P., Olivares F. L., Aguiar N. O., Peres L. E., Azevedo M., Spaccini R., Piccolo A., Facanha A. R. Bioactivity of chemically transformed humic matter from vermicompost on plant root growth // *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 2010. Vol. 58. P. 3681–3688.
- Garcia A. C., Van Tol De Castro T. A., Santos L. A., Tavares O. C., Castro R. N., Berbara R. L., Garcia-Mina J. M. Structure-property-function relationship of humic substances in modulating the root growth of plants: A review // *Journal of Environmental Quality*. 2019. Vol. 48, No. 6. P. 1622–1632.
- Щербан В. С., Луковников А. В. Безопасность жизнедеятельности в сельскохозяйственном производстве. М.: Колос, 2004. 495 с.
- Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. Agricultural uses of plant biostimulants // *Plant Soil*. 2014. Vol. 383. P. 3–41.
- Senesi E. N., Miano T. M. Humic Substances in the Global Environment and Implication on Humin Health. Amsterdam: Elsevier Sci., 1994. 910 p.
- Пейве Я. В. Руководство по применению микроудобрений. М.: Сельхозиздат, 1963. 224 с.
- Тайц Е. М., Андреева И. А. Методы анализа и испытания углей. М.: Недра, 1983. 301 с.
- Воронина Л. П., Якименко О. С., Терехова В. А. Оценка биологической активности промышленных гуминовых препаратов // *Агрохимия*. 2012. № 6. С. 50–57.
- Вавилов П. П., Гриценко В. В., Кузнецов В. С. Практикум по растениеводству. М.: Колос, 1983. 352 с.
- ГОСТ 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Изд-во стандартов, 1984. 30 с.
- ГОСТ Р 54221–2010. Гуминовые препараты из бурых и окисленных каменных углей. Методы испытания. М.: Стандартинформ, 2012. 10 с.
- Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). Л.: Наука, 1980. 222 с.