

А. Ж. БЕЙСЕНОВА, Б. А. САРСЕНБАЕВ, С. Д. АТАБАЕВА

## ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ НА ВЫНОС КАДМИЯ ИЗ ПОЧВЫ РАСТЕНИЯМИ *AGROPYRON REPENS* L.

(Институт биологии и биотехнологии растений МОН РК, г. Алматы)

Представлены результаты изучения влияния гуминовых кислот на рост и накопление кадмия в отдельных органах пырея ползучего (*A. repens* L.) выращенных в полевых условиях. Показано, что гуминовые кислоты стимулируют рост и накопление биомассы надземных органов и корней пырея ползучего, тогда как кадмий подавляет эти процессы, особенно корней. Гуминовые кислоты в низкой концентрации несколько снижают токсическое действие кадмия на растения. Результаты исследований являются научной основой для разработки технологии фиторемедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами.

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) в окрестностях крупных промышленных центров стало одной из наиболее актуальных экологических проблем в Казахстане. Использование в пищу в течение многих лет сельскохозяйственных культур, выращенных в условиях загрязнения ТМ и содержащих опасное количество ТМ, чревато негативными последствиями для здоровья людей вследствие постоянной аккумуляции ТМ в организме [1, 2]. Одним из необходимых шагов на пути предотвращения токсического действия ТМ на животных и человека является очистка почв с помощью растений, т.е. фиторемедиации. По сравнению с физическими и химическими методами, этот способ является менее дорогостоящим, эффективным и безопасным. Термин «гипераккумулятор» относится к видам растений, которые аккумулируют в 10-100 раз больше металлов, чем обычные растения. Эти растения могут быть использованы для извлечения токсикантов из почвы и таким образом могут способствовать восстановлению плодородия загрязненных земель. Растения-гипераккумуляторы ТМ являются эндемичными для тех почв, которые загрязнены ТМ и не конкурируют с другими видами на незагрязненных почвах. Аккумуляция металлов

растениями в нетоксической форме является одной из стратегий, используемых растениями для выживания в условиях сильного загрязнения среды [3].

По литературным данным стоимость консервативных способов (химические и физические методы) очистки почвы составляет до \$350 на гектар, а стоимость очистки почв с помощью растений составляет около \$160 на гектар [3]. Согласно оценкам в литературе, стоимость простого удаления 50 см слоя загрязненной почвы и захоронения обычными способами стоит 960 000\$ на гектар. Это не включает стоимость перевозки, сортировки выкопанного слоя. В противоположность этому очистка этой же почвы биологическими методами будет стоить от 144 000\$ до 240 000\$ на гектар [4]. По другим оценкам, технология ремедиации как выкапывание или промывание почвы стоит от 30 до 300\$ на м<sup>3</sup>. Соответственно, стоимость фиторемедиации – менее 0,05\$ на м<sup>3</sup> [5].

Для 1000 га загрязненных Zn и Cd почв стратегия, комбинирующая использование энергии растительной биомассы, использованной для фиторемедиации и экстракции металлов, могла бы приносить валовый годовой доход до 400 000\$ от продукции электричества и продажи извлеченных

металлов по рыночной цене. Продукция электричества и извлечение металлов из загрязненных Ni территорий превышает эту цифру. Это сравнимо с доходом от выращивания пшеницы на 1000 га территории в США.

Уровень извлечения ТМ из почвы зависит от биомассы и концентрации металлов в надземной части. Основная проблема фиторемедиации заключается в том, что гипераккумуляторы имеют малую биомассу и малые размеры листьев. Успех фиторемедиации зависит в конечном счете от агрономических приемов, применяемых на месте. Применение минеральных удобрений необходимо для наибольшего накопления биомассы растениями, соответственно для увеличения количества экстрагируемых металлов. Поглощение металлов растениями может лимитироваться низкой растворимостью металлов в почве. Для этого необходимо использовать синтетические хелаторы, увеличивающие подвижность металлов в почве.

Chaney с сотр. исследовал закисление почв для фитоэкстракции Zn и Cd и предложил использовать  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  в виде почвенной добавки, что обеспечивает азотом и серой растения для получения высокого урожая и закисляет почву для большей доступности элементов для растений [6]. Существует и негативный эффект, который может проявиться в выщелачивании металлов и попадании их в грунтовые воды. Автор предлагает известкование почв для повышения pH почвы. Но известкование может препятствовать фитоэкстракции из-за связывания металлов. Подобный эффект ожидается и от органических удобрений. Повышение pH может стимулировать образование гидроксильных ионов, как  $\text{ZnOH}^+$ , которые более сильно сорбируются твердыми частями почвы. Поэтому применение гуминовых кислот для повышения фитоэкстракции тяжелых металлов является наиболее перспективным.

Гуминовые кислоты (ГК) - высокомолекулярные темноокрашенные органические вещества, строение которых окончательно не установлено. Они являются физиологически активными соединениями, находятся в органическом веществе почвы и определяют ее плодородие. В почвах максимальное количество гуминовых кислот содержится в черноземе (до 10%). Строение ГК определяется наличием слабоконденсированных и замещенных ароматических ядер, связанных

между собой участками неароматического характера. В состав молекул входят карбоксильные и карбонильные группы, спиртовые и фенольные гидроксины, иногда метоксильные группы [7]. Они могут связывать многие радионуклиды, детергенты, пестициды, тяжелые металлы. ГК способны переводить их в неактивные формы, которые с течением времени распадаются на нетоксичные соединения и таким образом выводят их из сферы прямого контакта с живыми организмами, почвами, почвенно грунтовыми водами, атмосферой [8].

**Материалы и методы.** Растения выращивали на делянках, размером 1x1 м. Семена растений пырея ползучего (*Agropyron repens* L.) высевали глубокой осенью. В почву вносили кадмий в виде соли  $\text{CdSO}_4$  в концентрации 250 мг Cd /кг почвы. Гуминовые кислоты вносили в количестве 2,5 г/м<sup>2</sup> (ГК1) и 5,0 г/м<sup>2</sup> (ГК2). Как источник гуминовых кислот (ГК), применяли препарат «Гумат калия. Торфяной жидкий «Кондрашка» (ТОО АСК «Кайрат и К»), который содержал 8 г/л гуминовых кислот.

Определение биометрических параметров (длины и биомассы надземных органов и корней) проводили по общепринятой методике.

Для определения тяжелых металлов в органах растений, растительные образцы расчленяли на надземные органы и корни, высушивали в течение 3 ч при температуре 105 °C и тонко размалывали. Затем образцы подвергали мокрому озолению в смеси азотной и серной кислот и анализировали на содержание ТМ на атомно-абсорбционном спектрофотометре (AAS-1).

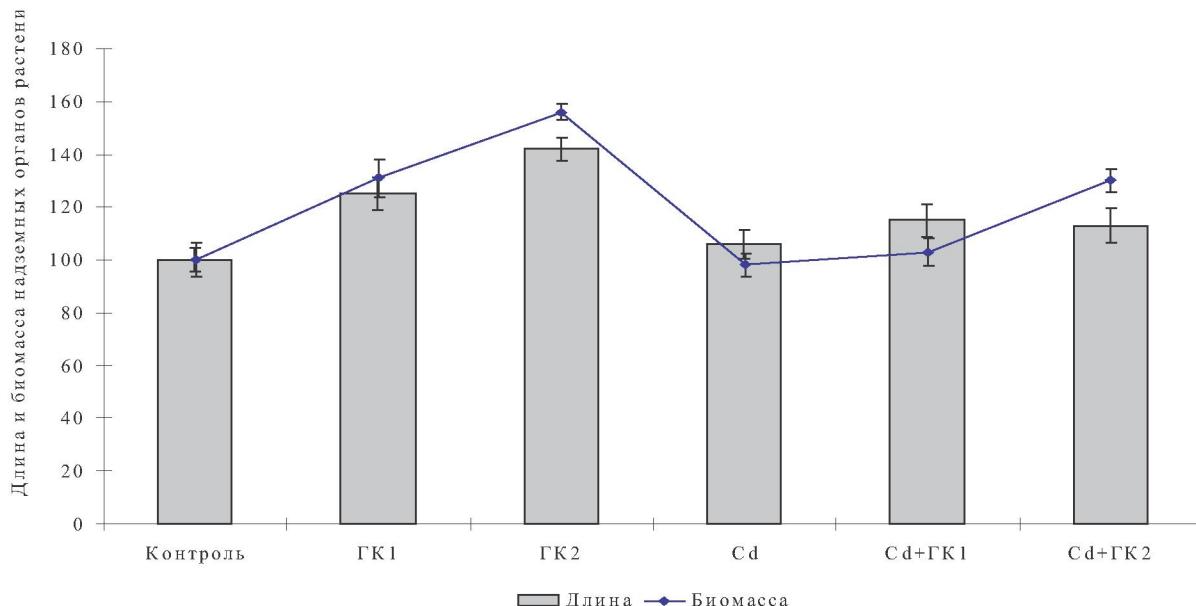
#### Результаты и их обсуждение.

**1. Влияние гуминовых кислот на ростовые параметры растений в условиях загрязнения среды ионами кадмия.** Изучение влияния гуминовых кислот в концентрациях 2,5 и 5 г на 1 кв.м на рост растений пырея ползучего (*Agropyron repens*) в полевых условиях показало, что гуминовые кислоты стимулируют рост надземных органов и корней. Так, при концентрации гуминовых кислот 2,5 г/м<sup>2</sup> (ГК1) длина надземных органов и корней увеличивалась примерно в одинаковой степени (на 25 и 24%, соответственно). Накопление биомассы надземными органами и корнями увеличивалось на 31 и 15%, соответственно. При увеличении концентрации гуминовых кислот до 5,0 г/м<sup>2</sup>. Стимулирующий

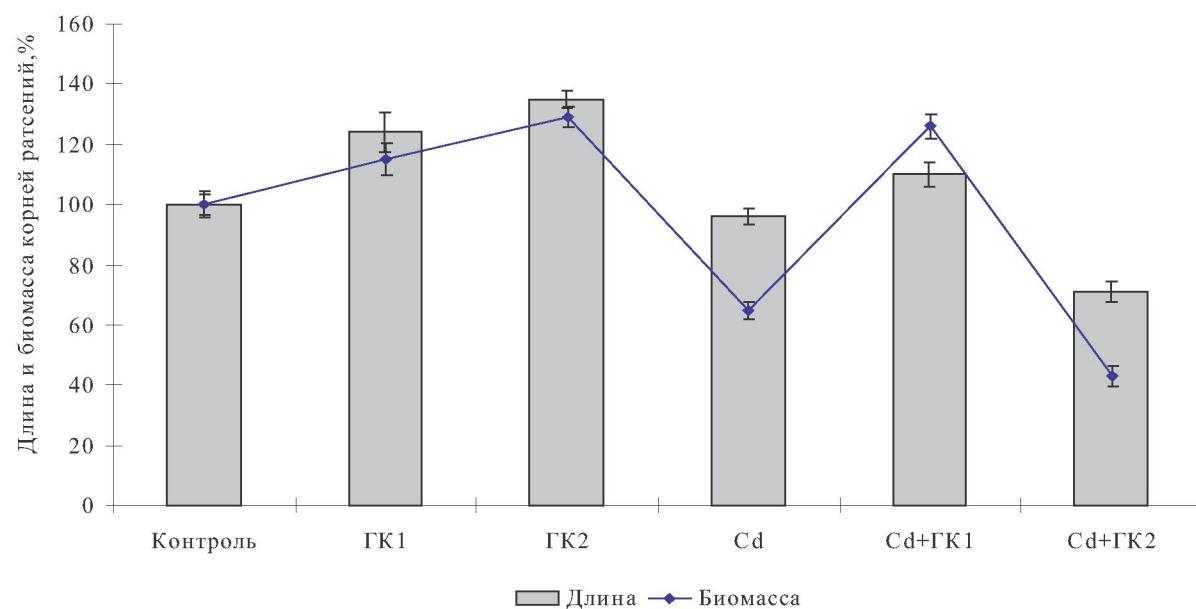
эффект повышался. Длина и биомасса надземных органов повышались на 42 и 56%, соответственно; для корней стимуляция составила 35 и 29%, соответственно.

При действии кадмия в концентрации 250 мг/кг почвы рост надземных органов был почти на уровне контроля (106 и 98%), а длина корней снижалась на 4%, а накопление биомассы корнями уменьшалось на 35% (рис. 1, 2).

При совместном действии кадмия и ГК1 рост надземных органов и корней стимулировался по сравнению с вариантом «Cd». Длина и биомасса надземных органов увеличивались на 15 и 3%, а корней – на 10 и 26%, соответственно. При увеличении концентрации ГК (ГК2) рост надземных органов стимулировался – еще больше. Например, высота растений увеличивалась на 13, а накопление биомассы возросло на 30%, а рост



**Рис. 1.** Влияние кадмия и гуминовых кислот на рост и накопление биомассы надземных органов пырея ползучего (*Agropyron repens* L.)

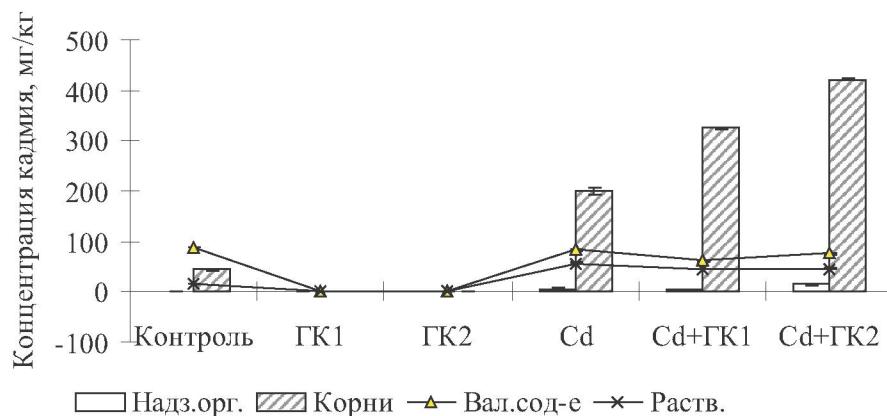


**Рис. 2.** Влияние кадмия и гуминовых кислот на рост и накопление биомассы корней пырея ползучего (*Agropyron repens* L.)

корней значительно подавлялся. Длина корней снижалась на 29%, а биомасса – на 57%.

Таким образом, присутствие гуминовых кислот в концентрации 2,5 г на кв.м стимулировал ростовые процессы, а повышение концентрации гуминовых кислот в 2 раза снижала рост и накопление биомассы корнями растений в присутствии кадмия.

**2. Влияние гуминовых кислот на содержание кадмия в почве и органах растений.** При определении содержания кадмия (валовое и растворимые формы) в почве в присутствии гуминовых кислот (ГК1 и ГК2), установлено, что количество кадмия имеет тенденцию к снижению. В контрольном варианте обнаружены следовые количества кадмия в почве, а в вариантах с ГК1 и ГК2 кадмий вовсе отсутствовал. По-видимому, фоновое количество Cd было поглощено растениями интенсивно растущими растениями за счет внесения ГК (рис. 3).



**Рис. 3.** Содержание кадмия в почве и влияние гуминовых кислот на поглощение кадмия органами растений пырея ползучего (*Agropyron repens* L.)

параметров в варианте Cd+ГК2 соответствует наибольшему накоплению кадмия в органах растений по сравнению с вариантом с кадмием, но без гуминовых кислот. Данный факт указывает на то, что гуминовые кислоты способствуют большей фитоэкстракции кадмия из почвы и усилиению поглощения корнями и транспорту его в надземные органы растений.

Итак, гуминовые кислоты в отсутствии тяжелых металлов стимулировали ростовые процессы у пырея ползучего. Взятая нами концентрация кадмия (250 мг/кг) не вызывала ингибирующего эффекта на надземные органы растений, но значительно подавлялся рост корней.

Содержание растворимых форм кадмия в почве в варианте ГК1 составило 62%, а в варианте ГК2 – 64% от содержания его в контролльном варианте. Валовое содержание ионов кадмия в почве при их искусственном внесении снижается в вариантах с гуминовыми кислотами (на 26 и 10% при ГК1 и ГК2, соответственно) по сравнению с вариантом с кадмием, но без гуминовых кислот. Содержание растворимых форм кадмия в варианте Cd+ГК1 снижалось на 21%, в варианте Cd+ГК2 – на 20%.

Содержание кадмия в надземных органах при ГК1 (2,5 г на м<sup>2</sup>) была сравнима с контролем, а в корнях увеличивалось более, чем в 1,5 раза. При ГК2 (5,0 г на м<sup>2</sup>) в надземных органах и корнях растений содержание кадмия увеличивалось более, чем в 2 раза. Если сравнить эти данные с ростовыми параметрами, то можно отметить, что рост корней растений подавлялся в большей степени в варианте Cd+ГК2. Подавление ростовых

Совместное действие кадмия и гуминовых кислот в концентрации 2,5 г/м<sup>2</sup> (ГК1) вызывала стимуляцию роста растений, увеличивалась длина и биомасса корней и надземных органов растений. При ГК2 наблюдалось существенное подавление роста и накопления биомассы корнями растений. Этот факт можно объяснить увеличением фитоэкстракции кадмия из почвы и повышением концентрации кадмия в органах растений.

Исследователями было установлено, что ионы кадмия в основном связываются с низкомолекулярными фракциями ГК (< 1000 D). Низкомолекулярные вещества более легче переносятся через клеточные мембранны, чем высоко-

молекулярные субстанции, что может служить причиной биодоступности кадмия в присутствии ГК [9].

Таким образом, применение гуминовых кислот может повысить фитоэкстракцию тяжелых металлов из почвы, не нарушая структуру почвы. Оптимизация процессов фиторемедиации с использованием гуминовых кислот в качестве хелатирующих агентов является наиболее перспективной и безопасной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жансерикова А.Ж. Гигиеническая оценка и прогнозирование качества почвы в зоне Карапшыганакского нефтегазоконденсаторного месторождения: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Алматы, 1998. 25 с.

2. Ильин В.Б., Гармаш Г.А. Влияние тяжелых металлов на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур // Агрохимия. 1985. № 6. С. 90-100.

3. Chaney R.L., Yin Ming Li, Scott J. Angle. Improving metal hyperaccumulator wild plants to develop commercial phytoextraction systems: Approaches and Progress. New York, 1998. 37 p.

4. Mining Environmental management. V. 3. N. 3. September 1995. P. 3.

5. Cunningham S.D., et al. // "Phytoremediation of Soil and Water contaminants" Krueger E.L. et al., Eds. American Chemical Society. 1974.

6. Chaney R.L., Brown S.L., Li Y-M. Angle J.S., Stuczynski T.I., Daniels W.L., Henry C.L. // "Progress in Risk Assessment for soil metals and in situ remediation and phytoextraction of metals from hazardous contaminated soils. U.S-EPA "Phytoremediation^ State of Science" May-1-2 2000. Boston. MA.

7. Vassil A., Kapulnik Y., Raskin I., Salt D.E. The role of EDTA in leadtransport and accumulaation by Indian mustard // Plant Physiol. 1998. P. 117. P. 447-453

8. Стадников Г.Л. Происхождение углей и нефти. 3-е изд. М.; Л., 1973. 80 с.

9. Grzybowsky W. Comparison between stability constants of cadmium and less complexes with humic substances of DL. Erent molecular weight isolated from Baltic Sea water // Oceanologia. 2000. V. 42(4). P. 473-482.

#### Резюме

Дала жағдайында өсірілген жатаған бидайық (*A. repens* L.) өсімдігінің өсуі мен жеке мүшелерінде кадмийдің жинақталуына гумин қышқылдарының өсерін зерттеу нәтижелері көлтірілген. Гумин қышқылдары жатаған бидайық өсімдігінің жер үсті мүшелері мен тамырының өсуі мен биомасса жинақтауын артыrsa, ал кадмий бұл процестерді өсірепе тамырда тежеді. Гумин қышқылдарының тәмен концентрациясы кадмийдің өсімдікке улы өсерін баяулатты. Зерттеу нәтижелері ауыр металдармен ластанған топырақты фиторемедиациялау технологиясы үшін ғылыми негіз болып табылады.

#### Summary

The article was presented the results to investigated of effect of humic acids on growth and accumulation of cadmium in separate of above-ground organs of *Agropyron repens* L. grown in field conditions. The experiments showed that the humic acids stimulated of growth and accumulation of biomass of above-ground organs and the root of *A. repens* L while of cadmium crushed these processes especially of root. The humic acids in low concentration a few to suppressed toxic effect on plants. The results of this studies substantiate scientifically the development of the technology for phytoremediation of soils contaminated by HM.