

УДК 631.811
AGRIS F40

РОСТ РАСТЕНИЙ СОРГО (*SORGHUM VULGARE L.*) В ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ

©Заманова А. П., канд. с.-х. наук,
Институт почвоведения и агрохимии НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

GROWTH OF SORGHUM PLANTS (*SORGHUM VULGARE L.*) IN TECHNOGENICALLY CONTAMINATED SOILS

©Zamanova A., Ph.D., Institute Soil science and Agrochemistry of Azerbaijan NAS,
Baku, Azerbaijan

Аннотация. В слабо техногенно загрязненных почвах Апшеронского полуострова, Азербайджана (п. Кала) были проведены полевые эксперименты с использованием сорго (*Sorghum vulgare L.*). В фиторемедиационных экспериментах, по своим физиологическим особенностям растение сорго (*Sorghum vulgare L.*) занимает особое место. Для посадки и выращивания сорго (*Sorghum vulgare L.*) были определены 2 площадки с размерами $5 \times 5 \text{ м} = 25 \text{ м}^2$. Первая площадка была предназначена для контрольного варианта. Почва второй площадки была обработана специальным биоудобрением с расчетом 29–30 кг на 25 м^2 площади. В процессе вегетации растений сорго (*Sorghum vulgare L.*) на второй площадке было проведено опрыскивание биологически активными жидкими препаратами «Baktovit» и «Biomax» с расчетом 1 л на 25 м^2 . Период вегетации растения сорго (*Sorghum vulgare L.*) продлилось 140 дней. В процессе роста было проанализировано в интегральном приближении, по весу зеленой массы растений убранного с каждого 1 м^2 . Площадки были выбраны случайным образом. Выбор и взвешивание зеленой массы проводилось на 5, 30, 50, 70, 90, 120 дни вегетационного периода растений сорго (*Sorghum vulgare L.*). Рост растений в контексте интегрального приближения был проанализирован в рамках двух субстратной моделей роста растений, и было выявлено, что в рост растения сорго (*Sorghum vulgare L.*) с достаточно определенной точностью описывается с помощью экспоненциальной функцией. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что процесс роста растений показал его устойчивость по отношению к слабо техногенно загрязненным почвам и может сыграть важную роль при биологической реабилитации таких почв. Динамика роста растений в вегетационном периоде в рамках приближении веса зеленой массы удовлетворительно описывается двухсубстратной моделью роста растений, которая демонстрирует способность адаптации данного растения к недостатку питательных веществ в почвенной среде.

Abstract. In the poorly man-caused polluted soils of the Absheron Peninsula, Azerbaijan (Kala settlement), field experiments were carried out with the help of Sorghum plants (*Sorghum vulgare L.*). In phytoremediation experiments, the Sorghum plant (*Sorghum vulgare L.*) occupies a special place in its physiological characteristics. For the planting and cultivation of Sorghum (*Sorghum vulgare L.*), 2 sites with dimensions of $5 \times 5 \text{ m} = 25 \text{ m}^2$ were identified. The first site was intended for the control option. The soil of the second site was treated with a special biofertilizer with a calculation of 29–30 kg per 25 m^2 of area. In addition, in the process of growing Sorghum plants

(*Sorghum vulgare* L.) on the second site, it was exposed to spraying with biologically active liquid preparations Baktovit and Biomax with a calculation of 1 litre from each preparation for a site with a size of 25m². The vegetative period of the Sorghum plant (*Sorghum vulgare* L.) lasted 140 days. The growth process was analyzed in the integral approximation, by the weight of the green mass of the plants taken from each 1 m² of the site, which was chosen at random. The choice and weighing of the green mass were carried out 5 times, 30, 50, 70, 90, 120th days of the vegetation period of Sorghum plants (*Sorghum vulgare* L.). The growth of plants in the context of the integral approximation was analyzed within the framework of two substrate model of plant growth. It was revealed that, in the framework of this approximation, the growth of the Sorghum plant (*Sorghum vulgare* L.) is described with sufficient accuracy by an exponential function. Analysis of the obtained data allows the following conclusions. The growth process of Sorghum plants (*Sorghum vulgare* L.) has shown its stability against poorly technogenically polluted soils and can play an important role in the biological rehabilitation of such soils. The growth dynamics of Sorghum plants (*Sorghum vulgare* L.) during the growing season as part of the approximate weight of the green mass is satisfactorily described by the two-substrate model of plant growth, which demonstrates the ability of the plant to adapt to the shortages of nutrients in the soil environment.

Ключевые слова: слаботехногенное загрязнение, специальная биодоброения, зеленая масса, двухсубстратный модель роста.

Keywords: poor man-made pollution, special biofertilizers, green mass, two-sided model of growth.

Сорго (лат. *Sorghum*, от лат. *sorgus* — возвышаться) — род однолетних и многолетних травянистых растений семейства Злаки, или Мятликовые (Poaceae). Включает около 30 видов, которые произрастают в Азии, Африке, Южной и Северной Америке, Европе и Австралии. Ряд видов сорго выращивается как культурное растение — хлебное, техническое и кормовое [1–6].

По биологическим характеристикам, больших различий между группами сорго нет. Сорго — культура теплолюбивая, жаро- и засухоустойчивая. Оптимальная температура для прорастания семян, роста и развития растений составляет +20 ... +30 °С. Растения не переносят заморозков в любой фазе развития. Весенние заморозки могут полностью уничтожить или значительно изредить посеы, поэтому не стоит торопиться со сроками посева. Похолодание во время цветения, даже при положительных температурах, может привести к череззернице. Места произрастания Общая характеристика культуры. Для полного вызревания большинства сортов сорго сумма положительных температур должна составлять 3000–3800 °С. Сорго не требовательно к влаге. Количество воды, необходимое для набухания семян сорго, составляет 35% от общего веса семян (для кукурузы — 40%, чумизы — 42%, могоара — 58%, пшеницы — 60%). Установлено также, что на образование единицы сухого вещества сорго расходует 300 частей воды (суданская трава — 340, кукуруза — 338, пшеница — 515, ячмень — 534, овес — 600, горох — 730, люцерна — 830, подсолнечник — 895, клещевина — 1200).

Исследования анатомического строения, биологических и физиологических особенностей сорго показали его высокую ксерофитность, которая обусловлена не только мощностью и избирательной способностью корневой системы, но и особенностями строения листовой поверхности, устьичного аппарата, наличием плотного эпидермиса и белого воскового налета [7]. Особенностью сорго является низкая скорость роста в его начальном

периоде, а также способность приостанавливать свой рост в период неблагоприятных условий для роста и развития и оставаться в анабиотическом состоянии до тех пор, пока не наступят благоприятные условия [8].

При применении орошения наиболее экономически выгодным является скашивание суданской травы в фазу «начало взметывания», дает возможность сократить межкуосный период. Несмотря на высокую засухоустойчивость, сорго сильно реагирует на влагообеспеченность и дает большую прибавку урожая. Сорго — светлюбивое растение короткого дня. Это обусловлено, приспособлением его к высокому солнцестоянию и связано с большой требовательностью к напряженности коротковолновой радиации [9].

Сорго довольно неприхотливая культура к почвам и может произрастать более трудных почвенных условиях рекультивированных земель. Кроме того, обладая мощной корневой системой, сорго может давать удовлетворительные и хорошие урожаи в течение ряда лет на обедненной и истощенной для других злаков почве. Сорго не переносит только холодных, заболоченных почв и плохо растет на кислых почвах [10].

Наиболее дефицитным питательным веществом для сорго является азот, который за счет естественного плодородия удовлетворяет эту культуру только на 38,7%, фосфор — 53,2%, а калий — 93%. Наибольшее потребление азота растениями сорго отмечается в фазе интенсивного роста и формирования генеративных органов, особенно за 10...15 дней до начала взметывания и 10...15 дней после цветения [11]. Поглощение фосфора корнями начинается с первых дней вегетации и к фазе взметывания растения усваивают 50% общего количества фосфора. Калий поглощается растениями равномерно на протяжении всего вегетационного периода. Однако внесение избыточных доз азота может привести к нежелательным последствиям — проявление нитратных и нитратных форм особенно в зеленой массе. Кроме того, при высоких дозах азотного питания у сорго ослабляется засухоустойчивость, увеличивается вегетационный период [12].

Для исследования роста сорго (*Sorghum vulgare* L.) в техногенно загрязненных почвах использована математическая модель роста растений [13–20].

Простая функция роста, связывающая в общем виде сухую массу вещества W и время t записывается как:

$$W = f(t) \tag{1}$$

где f — определенная функциональная связь.

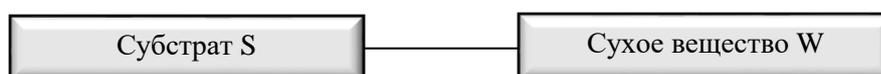
Динамика количества сухого вещества W анализируется с помощью показателей так называемого темпа роста, которая описывается с помощью следующего выражения:

$$\frac{dW}{dt} = h(W) \tag{2}$$

где h — некоторая функция.

В данном случае за единицу измерения принят день. А за единицу измерения массы — килограмм.

Замкнутая двухкомпонентная модель роста схематически изображена таким образом:



Система замкнута, поскольку не имеет ни входов, ни выходов. Предполагается, что в процессе роста преобразование материала первого компонента (субстрата) в материал второго компонента (сухое вещество) происходит без потерь. Если допустить, что, на рассматриваемом отрезке времени система не получает из внешней среды и не теряет никакого материала, то, справедливо следующие выражение:

$$\frac{dW}{dt} = -\frac{dS}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{dW}{dt} + \frac{dS}{dt} = \frac{d}{dt}(w + s) = 0 \quad (4)$$

так что,

$$w + S = const = W_0 + S_0 = W_f + S_f = C \quad (5)$$

где W_0 и S_0 — исходные значения W и S в момент $t=0$. W_f и S_f — значение к которому приближаются эти параметры при $t \rightarrow \infty$ (в допущении что, система со временем приходит в стабильное состояние), c — постоянная величина.

Одновременно темп роста можно представить в виде:

$$\frac{dW}{dt} = v(w, s) \quad (6)$$

где V — некоторая двухпеременная функция, поскольку из уравнении (5) следует что:

$$S = C - W \quad (7)$$

и путем постановки S в уравнении (6) можно получить

$$\frac{dW}{dt} = v(w, c - w) = hw \quad (8)$$

где h — функция только одной переменной W .

В данной работе использована простая экспоненциальная модель роста растений с резкой отсечкой. В рамках данной модели приняты следующие допущение количества энергии роста пропорционально количеству сухой массе W ; механизм роста «работает» с максимальным темпом на протяжении всего времени; пока существует питательная среда, процесс роста необратим и прекращается, как только истощается питательная среда. Тогда уравнение (6) приобретает вид:

$$\frac{dW}{dt} = \mu w \quad (9)$$

где μ — параметр, определяющий удельный или относительный темп роста.

Параметр μ зависит, во-первых, от вида сухой массы W , соответствующей (в заданной пропорции) ресурсам питательной среды и, во-вторых, — от производительности или скорости, с которой «работает» механизм роста.

Методика проведения эксперимента

Эксперименты проводились в поселке Кала Апшеронского полуострова на экспериментальном полигоне Института почвоведения и агрохимии НАНА. Для проведения эксперимента был выбран слаботехногенно загрязненный участок. Сам экспериментальной полигон НАНА находится на бывшей эксплуатационной территории SOCAR. В данном случае слаботехногенная загрязненность соответствует 7–8% нефтезагрязненности. Особенность такого загрязнения (ее отличие от свежего нефтезагрязнения) заключалась в том, что, на данном участке нефтепромысловый процесс был остановлен примерно 25–30 лет назад. Начался процесс разложения нефтяных загрязнителей со стороны почвенной биоактивной среды, загрязнители потеряли гомогенную структуру, образовались «маленькие шарики», между которыми появилось свободное пространство. Появилась возможность «хорошей работы» корневых систем некоторых растений. Надо отметить, что растения сорго имеют мощную корневую систему. Эффективная поверхностная площадь у растений приобретает большое значение по отношению к другим растениям и имеет большой фиторемедиационный потенциал. Мощная корневая система обеспечивает стойкость данного растения к засухе и к сильной заселенности почв, характерной для Апшеронского полуострова.

Для проведения эксперимента были выбраны два экспериментальных участка $5 \text{ м} \times 5 \text{ м} = 25 \text{ м}^2$, находящиеся на близком расстоянии друг от друга. Первый участок был выбран как контрольный вариант.

На втором участке были проведены полевые эксперименты. В начале — проведена вспашка участка, идентично как на контрольном варианте. После этого — экспериментальное поле было обработано с помощью специального биоудобрения с расчетом на 30 кг на участок 25 м^2 . После этого — посажены семена сорго.

Используемая технология подготовки семян сорго к посадке для контрольного и экспериментального участка была одинаковым применена также одинаковая схема посадки семян для экспериментального и контрольного варианта.

Другие агротехнические мероприятия для экспериментального и контрольного варианта тоже были одинаковы. Единственные отличия в ходе проведения агротехнических мероприятий для контрольного и экспериментального варианта заключались в том, что в экспериментальном варианте растение подвергали опрыскиванию с помощью биологически активных препаратов жидкой формы «Baktovit» и «Biomax». Для этой цели было использовано 1 л препарата «Baktovit» и 1 л «Biomax».

Вегетационный период сорго — 140 дней. Рост растений был рассмотрен в контексте интегрального приближения. Принято, что рост данного растения прямо пропорционален зеленой массе. Срез растений в процессе уборки производилась одинаковым образом для всех растений — 5 см от поверхности почвы. Срез проводился 5 раз на 30, 50, 70, 90, 120 дни вегетационного периода.

В определении веса зеленой массы применялась методика относительной шкалы. При этом вес зеленой массы контрольного варианта для вегетационного периода на 30 дней был взят как отправная точка и приравнивался к единице.

Результаты эксперимента

Результаты проводимых экспериментов представлены в Таблице.

Таблица.

ДАННЫЕ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ПЛОЩАДКАМ

Варианты	Вес зеленой массы в относительных единицах (вес стопки зеленой массы срезанного с 1 м ² в контрольном варианте, в вегетационном периоде 30 дней (первая стопка) была принята как 1.0 и веса остальных стопок определена как отношение веса i-ой стопки к весу первой стопки)				
	30 дней	50 дней	70 дней	90 дней	120 дней
Контроль	1	1,7	2,5	2,8	3,6
Эксперимент	1,2	2,4	3,6	4,6	5,2

Как видно из данных Таблицы, вес зеленой массы в экспериментальном варианте стал относительно больше, чем в контрольном варианте. Это связано с тем, что биологически активные, питательные вещества, которые использовались в экспериментальном варианте, увеличивали процесс роста данного растения.

Полученные данные графически представлены на Рисунке.

Графическое представление данной зависимости показывает, что в экспериментальном варианте указанная зависимость гораздо ближе к модели экспоненциального роста растения, т. е. рост растений в слаботехногенных почвах является устойчивым процессом и фиторемедиационный потенциал данного растения сохраняется по всему вегетационному периоду.

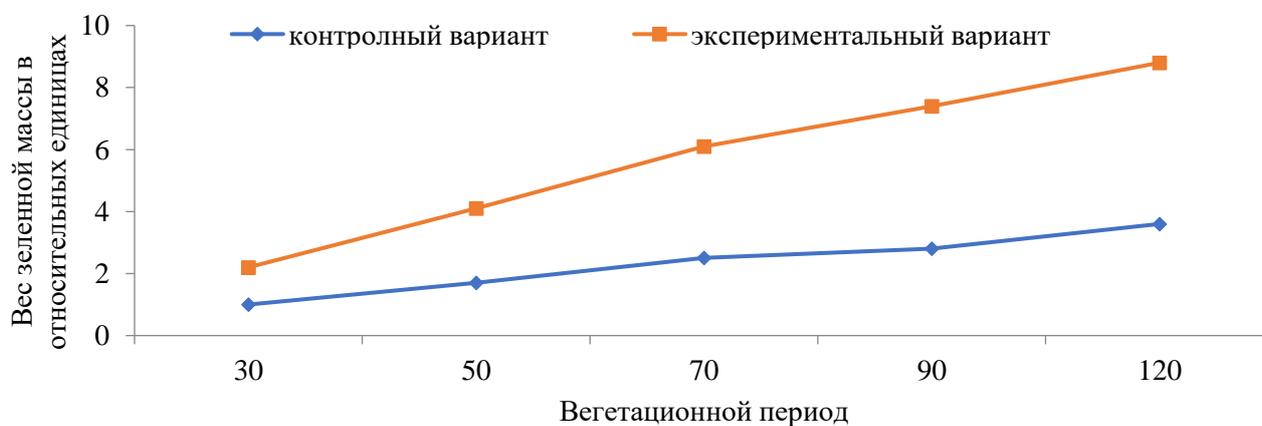


Рисунок. Изменения зеленой массы *Sorghum vulgare* L. в течение всего вегетационного периода.

Выводы

Процессы роста и развития растений неразрывно связаны между собой. Рост — необратимое увеличение размеров и массы клетки, органа и всего организма, а развитие — это качественные изменения в структуре и функциональной активности растения и его частей. Если рост можно охарактеризовать как количественное явление, то развитие — это качественные изменения.

Исследование динамики роста сорго в контрольном и экспериментальном варианте (исследование динамики веса зеленой массы в разных значениях вегетационного периода) позволило сделать следующие выводы:

–существует слабая корреляция в растении сорго между процессами роста и развития;

–энергия, расходуемая на развитие в контрольном и экспериментальном варианте — одинакова и имеет слишком малое значение по сравнению с энергией, расходуемой на процесс роста.

–в рамках двух субстратных моделей роста (углерод и азот) материал первого компонента (субстрата) полностью преобразуется в материал второго компонента (вес зеленой массы).

Трофическое представление зависимости веса зеленой массы от вегетационного периода и для экспериментального и для контрольного варианта показало, что рост растения в обоих вариантах в слабо технозагрязненных почвах является устойчивым процессом. Исследование анатомического строения биологической и физиологической особенности сорго показывает его высокую ксерофитность, т.е. способность переносить продолжительную засуху и воздействия высоких температур. Высокая ксерофитность сорго обусловлена не только мощностью и избирательной способностью корневой системы, но и особенностями строения листовой поверхности. С ростом растений сорго развивается одновременно и его корневая система. С увеличением суммарного значения эффективной площади поверхности корневой системы, уместается эффект взаимодействия токсичных металлов и других компонентов техногенного загрязнения, тормозящих процесс роста с поверхности корневой системы сорго.

Анализ экспериментальных данных показал, что процесс роста растения в контрольном варианте близок к прямолинейной зависимости, а в случае экспериментального варианта кривая близка к экспоненциальной зависимости.

Избирательная способность мощной корневой системы сорго в контрольном варианте быстро адаптируется к нехватке питательных элементов в почве; и значение данной адаптивной функции сохраняется в вегетационный период. А в экспериментальном варианте увеличение концентрации питательных элементов в почве и возможность получения дополнительных питательных элементов через листовой аппарат уменьшает значение функции адаптации растения к нехватке питательных элементов.

В связи с этим в экспериментальном варианте процесс роста в начальном периоде вегетации идет относительно быстрее, чем в контрольном варианте и процесс роста замедляется к концу вегетационного процесса. Данное обстоятельство полностью согласуется с теоретическими предпосылками экспоненциальной модели роста растений.

Работа выполнена с финансовой помощью Фонда развития науки при Президенте Азербайджанской Республики - Grant no. EIF-KETPL-2-2015-1(25)-56/38/3-M-38.

This work has been executed in Institute of Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Azerbaijan and was supported by the Science Development Foundation under the President of the Republic of Azerbaijan - Grant no. EIF-KETPL-2-2015-1(25)-56/38/3-M-38.

Список литературы:

1. Blum A., Ritchie J. T. Effect of soil surface water content on sorghum root distribution in the soil // Field Crops Research. 1984. V. 8. P. 169-176.

2. Oh K., Cao T., Cheng H., Liang X., Hu X., Yan L., Takahi S. Phytoremediation potential of sorghum as a biofuel crop and the enhancement effects with microbe inoculation in heavy metal contaminated soil // Journal of Biosciences and Medicines. 2015. V. 3. №06. P. 9. DOI: 10.4236/jbm.2015.36002.
3. Soudek P., Jakub N., Lukas P., Petrova S. The Sorghum Plants Utilization for Accumulation of Heavy Metals // Proceedings of the 3rd International Conference on Energy and Environmental Science (ICEES 2013). 2013.
4. Zhuang P., Shu W., Li Z., Liao B., Li J., Shao J. Removal of metals by sorghum plants from contaminated land // J Environ Sci. 2009. V. 21. №10. P. 1432-1437.
5. Pinto A. P., Mota A. M., De Varennes A., Pinto F. C. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants // Science of the total environment. 2004. V. 326. №1-3. P. 239-247.
6. Metwali M. R., Gowayed S. M., Al-Maghrabi O. A., Mosleh Y. Y. Evaluation of toxic effect of copper and cadmium on growth, physiological traits and protein profile of wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.) // World Applied Sciences Journal. 2013. V. 21. №3. P. 301-304.
7. Thornley J. H. B. Respiration, growth and maintenance in Plants // Nature. 1976. V. 227. P. 233.
8. Kang M. Z., Cournede P. H., Mathieu A., Letort V., Qi R., Zhan Z. G. A Functional-Structural Plant Model - Theories and Its Applications in Agronomy // Crop Modeling and Decision Support. Berlin-Heidelberg: Springer, 2009. P. 148-160.
9. Kang M. Z., Cournede P. H., De Reffye P., Auclair D., Hu B. G. Analytical study of a stochastic plant growth model: Application to the GreenLab model // Mathematics and Computers in Simulation. 2008. V. 78. №1. P. 57-75.
10. Letort V., Cournede P. H., Lecoeur J., Hummel I., De Reffye P., Christophe A. Effect of topological and phenological changes on biomass partitioning in *Arabidopsis thaliana* inflorescence: a preliminary model-based study // Plant Growth Modeling and Applications. 2006. PMA'06. Second International Symposium on IEEE, 2006. P. 65-69.
11. Ma Y., Wen M., Guo Y., Li B., Cournede P. H., De Reffye P. Parameter optimization and field validation of the functional-structural model GREENLAB for maize at different population densities // Annals of botany. 2007. V. 101. №8. P. 1185-1194.
12. Cournede P. H., Mathieu A., Houllier F., Barthelemy D., De Reffye P. Computing competition for light in the GREENLAB model of plant growth: a contribution to the study of the effects of density on resource acquisition and architectural development // Annals of Botany. 2007. V. 101. №8. P. 1207-1219.
13. Dong Q., Louarn G., Wang Y., Barczi J. F., De Reffye P. Does the structure-function model GREENLAB deal with crop phenotypic plasticity induced by plant spacing? A case study on tomato // Annals of botany. 2008. V. 101. №8. P. 1195-1206.
14. Kang M. Z., Cournede P. H., Mathieu A., Letort V., Qi R., Zhan Z. G. A Functional-Structural Plant Model - Theories and Its Applications in Agronomy // Crop Modeling and Decision Support. Berlin-Heidelberg: Springer, 2009. P. 148-160.
15. Zhu X., Zhang G., Tholen D., Wang Y., Xin C., Song Q. The next generation models for crops and agro-ecosystems // Science China Information Sciences. 2011. V. 54. №3. P. 589-597.
16. Zamanova A. P., Mamedov T. S., Abbasova Z. H., Namazova C. T., Hasanova M. Y. Research of transport effects of heavy metals in plants of *Opuntia vulgaris* Mill grown in the technogenic contaminated soils // Global Journal of Biology, Agriculture and Health Sciences. 2015. V. 4. №4. P. 7-9.

17. Orudzheva N. I., Babayev M. P., Isgandarov S. M. Dependence of the Plant Productivity on Optimal Food Regime and Density // *American Journal of Plant Sciences*. 2014. V. 5. №04. P. 436.

18. Orudzheva M., Babayev P., Isgandarov S. M., Alizade A. Influence of the Plant Density on Productivity // *Soil-Water Journal*. 2013. V. 2. P. 1021-1028.

19. Alizade A., Zamanov P., Zamanova A., Iskenderov S. Dependence of the Yield of Alfalfa on Plant Density and Diet // *American Journal of Plant Sciences*. 2017. V. 8. №11. P. 2722-2731. DOI: 10.4236/ajps.2017.811183.

20. Alizade A. M., Zamanova A. P. The effect of Heavy Metals Transport from Contaminated Soil to “Opuntia Vulgaris Mill” with the Use of Biologics // *American Journal of BioScience*. 2018. V. 6. №1. P. 1-5. DOI: 10.11648/j.ajbio.20180601.11.

References:

1. Blum, A., & Ritchie, J. T. (1984). Effect of soil surface water content on sorghum root distribution in the soil. *Field Crops Research*, 8, 169-176.

2. Oh, K., Cao, T., Cheng, H., Liang, X., Hu, X., Yan, L., ... & Takahi, S. (2015). Phytoremediation potential of sorghum as a biofuel crop and the enhancement effects with microbe inoculation in heavy metal contaminated soil. *Journal of Biosciences and Medicines*, 3(06), 9.

3. Soudek, P., Jakub, N., Lukas, P., & Petrova, S. (2013). The Sorghum Plants Utilization for Accumulation of Heavy Metals. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Energy and Environmental Science (ICEES 2013)*.

4. Zhuang, P., Shu, W., Li, Z., Liao, B., Li, J., & Shao, J. (2009). Removal of metals by sorghum plants from contaminated land. *J Environ Sci*, 21(10), 1432-1437.

5. Pinto, A. P., Mota, A. M., De Varennes, A., & Pinto, F. C. (2004). Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Science of the total environment*, 326(1-3), 239-247.

6. Metwali, M. R., Gowayed, S. M., Al-Maghrabi, O. A., & Mosleh, Y. Y. (2013). Evaluation of toxic effect of copper and cadmium on growth, physiological traits and protein profile of wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *World Applied Sciences Journal*, 21(3), 301-304.

7. Thornley, J. H. B. (1976). Respiration, growth and maintenance in Plants. *Nature*, (227), 233.

8. Kang, M. Z., Cournède, P. H., Mathieu, A., Letort, V., Qi, R., & Zhan, Z. G. (2009). A Functional-Structural Plant Model - Theories and Its Applications in Agronomy. In: *Crop Modeling and Decision Support*. Berlin, Heidelberg, Springer, 148-160.

9. Kang, M. Z., Cournède, P. H., De Reffye, P., Auclair, D., & Hu, B. G. (2008). Analytical study of a stochastic plant growth model: Application to the GreenLab model. *Mathematics and Computers in Simulation*, 78(1), 57-75.

10. Letort, V., Cournède, P. H., Lecoœur, J., Hummel, I., De Reffye, P., & Christophe, A. (2006, November). Effect of topological and phenological changes on biomass partitioning in *Arabidopsis thaliana* inflorescence: a preliminary model-based study. In: *Plant Growth Modeling and Applications, 2006. PMA'06. Second International Symposium on IEEE*, 65-69.

11. Ma, Y., Wen, M., Guo, Y., Li, B., Cournède, P. H., & De Reffye, P. (2007). Parameter optimization and field validation of the functional-structural model GREENLAB for maize at different population densities. *Annals of botany*, 101(8), 1185-1194.

12. Cournède, P. H., Mathieu, A., Houllier, F., Barthélémy, D., & De Reffye, P. (2007). Computing competition for light in the GREENLAB model of plant growth: a contribution to the

study of the effects of density on resource acquisition and architectural development. *Annals of Botany*, 101(8), 1207-1219.

13. Dong, Q., Louarn, G., Wang, Y., Barczi, J. F., & De Reffye, P. (2008). Does the structure–function model GREENLAB deal with crop phenotypic plasticity induced by plant spacing? A case study on tomato. *Annals of botany*, 101(8), 1195-1206.

14. Kang, M. Z., Cournède, P. H., Mathieu, A., Letort, V., Qi, R., & Zhan, Z. G. (2009). A Functional-Structural Plant Model - Theories and Its Applications in Agronomy. In: *Crop Modeling and Decision Support*. Berlin, Heidelberg, Springer, 148-160.

15. Zhu, X., Zhang, G., Tholen, D., Wang, Y., Xin, C., & Song, Q. (2011). The next generation models for crops and agro-ecosystems. *Science China Information Sciences*, 54(3), 589-597.

16. Zamanova, A. P., Mamedov, T. S., Abbasova, Z. H., Namazova, C. T., & Hasanova, M. Y. (October-december, 2015). Research of transport effects of heavy metals in plants of *Opuntia Vulgaris* Mill grown in the technogenic contaminated soils. *Global Journal of Biology, Agriculture and Health Sciences*, 4(4), 7-9.

17. Orudzheva, N. I., Babayev, M. P., & Isgandarov, S. M. (2014). Dependence of the Plant Productivity on Optimal Food Regime and Density. *American Journal of Plant Sciences*, 5(04), 436.

18. Orudzheva, M., Babayev, P., Isgandarov, S. M., & Alizade, A. (2013). Influence of the Plant Density on Productivity. *Soil-Water Journal*, 2, 1021-1028.

19. Alizade, A., Zamanov, P., Zamanova, A., & Iskenderov, S. (2017). Dependence of the Yield of Alfalfa on Plant Density and Diet. *American Journal of Plant Sciences*, 8(11), 2722-2731. doi:10.4236/ajps.2017.811183.

20. Alizade, A. M., & Zamanova, A. P. (2018). The effect of Heavy Metals Transport from Contaminated Soil to *Opuntia Vulgaris* Mill with the Use of Biologics. *American Journal of BioScience*, 6(1), 1-5. doi:10.11648/j.ajbio.20180601.11.

Работа поступила
в редакцию 11.10.2018 г.

Принята к публикации
16.10.2018 г.

Ссылка для цитирования:

Заманова А. П. Рост растений сорго (*Sorghum vulgare* L.) в техногенно загрязненных почвах // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №11. С. 174-183. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/zamanova> (дата обращения 15.11.2018).

Cite as (APA):

Zamanova, A. (2018). Growth of sorghum plants (*Sorghum vulgare* L.) in technogenically contaminated soils. *Bulletin of Science and Practice*, 4(11), 174-183. (in Russian).