

УДК 633.16:581.1.

С.Д. Атабаева*, А.С. Нурмаханова, А. Жардамалиева,
С.С. Кенжебаева, С.А. Шоинбекова

Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы

*E-mail: sauleat@yandex.ru

Совместное действие засоления (NaCl) и ионов кадмия на анатомические показатели корней сортов ячменя

В статье представлены данные по изучению совместного влияния засоления (NaCl) и ионов кадмия на анатомические показатели корней различных сортов ячменя: Асем, Сауле, Бастама и Одесская-100. Растения выращивали в следующих вариантах: контроль, 50 мМ NaCl; 100 мМ NaCl; 0,15 мМ CdSO₄; 0,30 мМ CdSO₄; NaCl (50 мМ) + CdSO₄ (0,15 мМ). Изучение анатомических параметров, как толщина эндодермы и экзодермы, отношение толщины экзодермы к толщине эндодермы, диаметр центрального цилиндра, показало, что данные параметры изменяются в разной степени в зависимости от сорта.

Изменение анатомических параметров корней растений ячменя при раздельном и совместном действии засоления и кадмия выражается в увеличении толщины экзодермы, обеспечивающей периферийный барьер на пути проникновения токсических ионов в апопласт.

Ключевые слова: ячмень, засоление, кадмий, корни, эндодерма, экзодерма, диаметр центрального цилиндра.

S.D. Atabayeva, A. Nurmahanova, A. Zhardamalieva, S.S. Kenzhebayeva, S.A. Shoinbekova

**The combined effect of salinity (NaCl)
and cadmium on anatomical parameters of barley varieties roots**

The article presents data on the study of the combined effect of salinity (NaCl) and cadmium on anatomical structure of roots of different varieties of barley: Asem, Saul, Bastama and Odesskaya-100. Plants were grown in the following variants: control, 50 mM NaCl; 100 mM NaCl; 0.15 mM CdSO₄; 0.3 mM CdSO₄; NaCl (50 mM) + CdSO₄ (0.15 mM). The study of anatomical parameters, such as thickness of endodermis and exodermis, the ratio exodermis/ endodermis, the diameter of the central cylinder has shown that these parameters are changed in different degree, depending on the variety. Changing of the anatomical parameters of plant roots of barley at the separate and combined effect of salinity and cadmium is expressed in increasing the thickness of exodermis, providing a barrier to the penetration of toxic ions in the apoplast.

Key words: barley, salinity, cadmium, roots, endodermis, exodermis, diameter of central cylinder.

С.Д. Атабаева, А. Жардамалиева, А. Нурмаханова, С.С. Кенжебаева, С.А. Шоинбекова
**Арпа сорттарының тамырларының анатомиялық көрсеткіштеріне тұзданудың
(NaCl) және кадмийдің бірлескен әсері**

Мақалада арпа сорттарының: Асем, Сауле, Бастама және Одесская-100 тамырларының анатомиялық көрсеткіштеріне тұзданудың (NaCl) және кадмийдің бірлескен әсерін зерттеуінің нәтижелері көрсетілген. Өтімдіктер келесі вариантарда есірілген: бақылау, 50 мМ NaCl; 100 мМ NaCl; 0,15 мМ CdSO₄; 0,30 мМ CdSO₄; NaCl (50 мМ)+CdSO₄(0,15 мМ). Экзодерма және эндодерманың қалындығы, олардың қатынасы, орталық цилиндрдің диаметрі сорттарда әртүрлі деңгейде өзгерген. Тұзданудың және кадмийдің бірлескен әсеріндегі арпа сорттарының тамырларының анатомиялық параметрлерін өзгеруі уытты иондардың апопластқа кіруіне кедегі жасайтын экзодерманың қалындауына әкеледі.

Түйін сөздер: арпа, тұздану, кадмий, тамыр, эндодерма, экзодерма, орталық цилиндрдің диаметрі.

В связи с развитием промышленности загрязнение почвы, воздуха, грунтовых вод тяжелыми металлами становится актуальной проблемой. В Казахстане источниками загрязнения тяжелыми металлами являются металлургические заводы в Восточном Казахстане, медеплавильный комбинат на Балхаше, свинцовый завод в Южном Казахстане и др. [1, 2]. Источником загрязнения почвы кадмием является также применение фосфорных удобрений и пестицидов, которые широко используются в сельском хозяйстве и в состав которых входит кадмий [3-7]. Другая экологическая проблема в Казахстане – засоление [8]. Орошающее земледелие вносит свой вклад в засоление почв на юге и юго-востоке страны. Результатом является совместное воздействие засоления и тяжелых металлов на биологические системы.

В настоящее время недостаточно изучено совместное действие засоления и тяжелых металлов на растения, а в частности на анатомическую структуру корней. Поэтому целью данной работы было изучение совместного действия засоления и кадмия на анатомическую структуру корней сортов ячменя, широко возделываемых на территории Казахстана.

Материалы и методы исследований

В качестве объектов исследований были взяты сорта ячменя (*Hordeum vulgare L.*): Асем, Сауле, Бастама и Одесская-100. Растения выращивали в следующих вариантах: контроль, 50 мМ NaCl; 100 мМ NaCl; 0,15 мМ CdSO₄; 0,30 мМ CdSO₄; NaCl (50 мМ) + CdSO₄ (0,15 мМ) в фактористатных условиях при t = 22°С днем и 18°С ночью, с 14-часовым фотопериодом.

Консервация растений была проведена по методике Страсбургер-Флемминга [9]. Срезы заключали в глицерин и бальзам в соответствии с общепринятыми методиками Прозиной М.Н. (1960) [10], Пермякова А.И. (1988) [9], Барыкиной Р.П. (2004) [11]. Толщина анатомических срезов составляла 10-15 мкм. Для количественного анализа проведено измерение морфометрических показателей с помощью окуляр-микрометра МОВ-1-15 (при объективе x 9, увеличении x 10,7). Микрофотографии анатомических срезов были сделаны на микроскопе MC 300 с видеокамерой CAM V400/1.3M.

Результаты и их обсуждение

Было изучено действие засоления на толщину экзодермы и эндодермы корней ячменя.

Установлено, что при действии NaCl в концентрации 100 мМ сорта располагались следующим образом: по толщине экзодермы – Сауле (94) > Одесская-100 (86) = Бастама (86) > Асем (71); по толщине эндодермы: Одесская-100 (121) > Бастама (89) > Асем (84) > Сауле (66) (рисунки 1, 2).

Отношение толщины экзодермы к эндодерме является важным показателем развития адаптивных реакций организма на стрессовое воздействие. Данный показатель оказался наибольшим у сорта Сауле. В процентах относительно контроля по значению отношения толщины экзодермы к эндодерме сорта располагаются следующим образом: Сауле (146) > Бастама (96) > Асем (85) > Одесская-100 (70) (рисунок 3).

Диаметр центрального цилиндра у растений ячменя также уменьшался при действии засоления. Наибольшее снижение при высокой концентрации NaCl наблюдалось у сорта Одесская-100 (на 27%) и наименьшее снижение – у сорта Асем (на 17%) (рисунок 4).

По диаметру центрального цилиндра сорта располагались следующим образом (в % к контролю): Асем (87) > Сауле (80) > Бастама (75) > Одесская-100 (73). Сорта Одесская и Бастама показали низкие показатели по диаметру центрального цилиндра.

Действие ионов кадмия с увеличением концентрации повлекло за собой снижение толщины экзодермы и эндодермы. По толщине экзодермы и эндодермы сорта располагаются в следующем порядке: по толщине экзодермы – Асем (116) > Бастама (97) > Одесская-100 (91) > Сауле (81); по толщине эндодермы – Одесская-100 (119) > Сауле (108) > Бастама (91) > Асем (73) (рисунки 5, 6).

Отношение толщины экзодермы к толщине эндодермы является, как уже упоминалось выше, важным показателем адаптивных перестроек в тканях корней растений. Относительно контроля отношение толщины экзодермы к эндодерме корней сортов ячменя можно выразить следующим рядом: Асем (158) > Бастама (106) > Одесская-100 (77) = Сауле (77) (рисунок 7).

Диаметр центрального цилиндра при действии кадмия уменьшался с увеличением концентрации металла. Только у сорта Сауле при 0,15 и 0,3 мМ кадмия эта величина была выше контроля (на 12 и 3%, соответственно) (рисунок 8).

Наибольшее уменьшение диаметра центрального цилиндра наблюдалось у сорта Одесская-100 (на 19%). Сорта по убыванию диаметра центрального цилиндра располагаются следующим образом: Сауле (103) > Бастама (96) > Асем (87) > Одесская-100 (81).

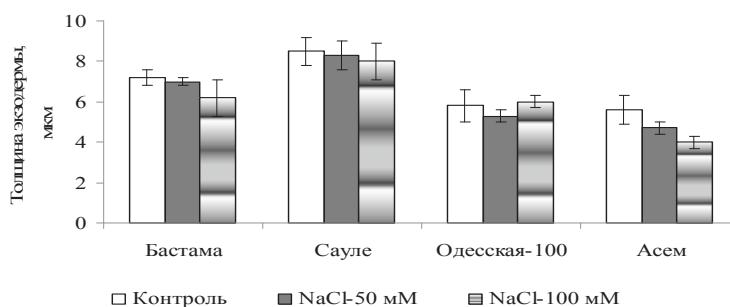


Рисунок 1 – Влияние NaCl на толщину экзодермы корней сортов ячменя

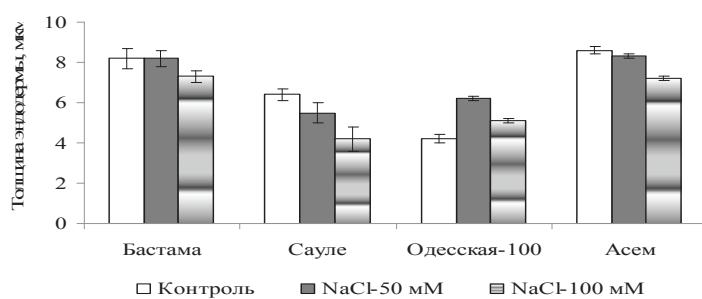


Рисунок 2 – Влияние NaCl на толщину эндодермы корней растений ячменя

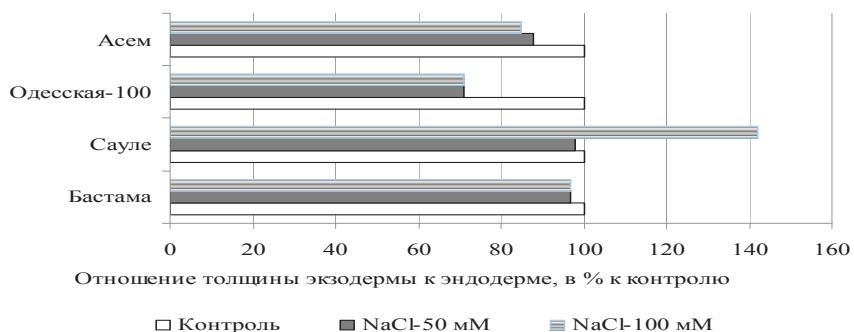


Рисунок 3 – Отношение толщины экзодермы корней ячменя к эндодерме в условиях засоления

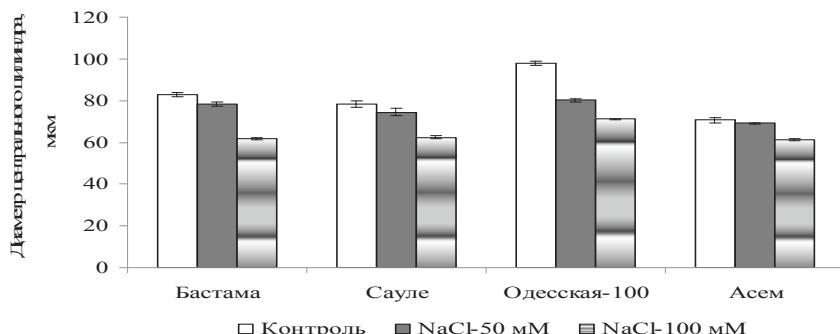


Рисунок 4 – Влияние NaCl на диаметр центрального цилиндра корней ячменя

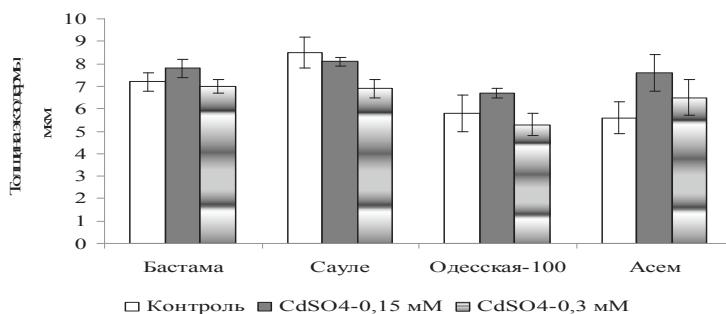


Рисунок 5 – Влияние ионов кадмия на толщину экзодермы корней ячменя

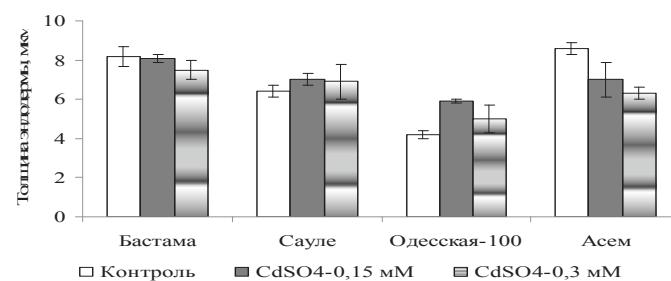


Рисунок 6 – Влияние ионов кадмия на толщину эндодермы корней ячменя

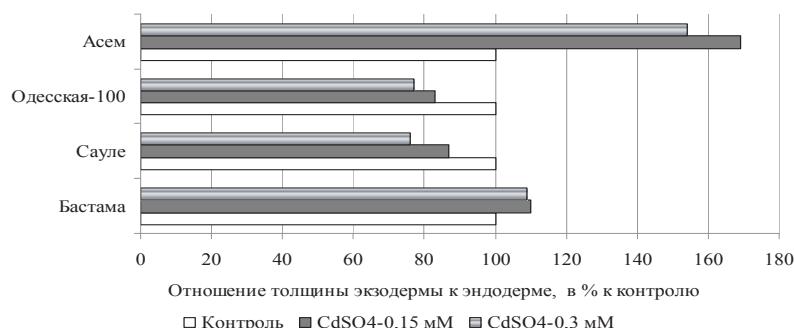


Рисунок 7 – Отношение толщины экзодермы к толщине эндодермы в условиях загрязнения среды ионами кадмия

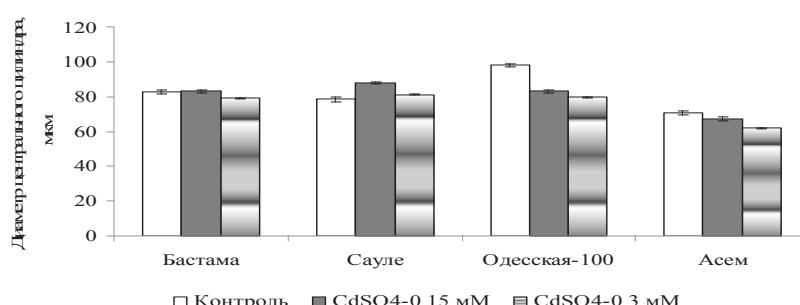


Рисунок 8 – Влияние ионов кадмия на диаметр центрального цилиндра корней ячменя

При совместном действии ионов кадмия и засоления по толщине экзодермы и эндодермы сорта располагаются в следующем порядке: по толщине экзодермы – Асем (130%) > Сауле (86%) > Бастама (79%) > Одесская-100 (72%), по толщине эндодермы – Сауле (117%) > Асем (95%) > Одесская-100 (88%) > Бастама (59%) (рисунки 9, 10).

Отношение толщины экзодермы к толщине эндодермы является, как уже упоминалось выше, важным показателем адаптивных перестроек в тканях корней растений. Относительно контроля отношение толщины экзодермы к эндодерме корней сортов ячменя можно выразить следующим рядом: Асем (135%) = Бастама (135%) > Одесская-100 (83%) > Сауле (75%) (рисунок 11). По данному показателю устойчивые по ростовым параметрам сорта Асем и Сауле имели высокие показатели по сравнению с другими сортами.

Диаметр центрального цилиндра при совместном действии кадмия и засоления превышал контроль только у сорта Асем. У остальных сортов он снижался: у сортов Бастама, Сауле, Одесская-100 данный показатель снизился на 5, 8 и 20%, соответственно (рисунок 12).

Наибольшее уменьшение диаметра центрального цилиндра наблюдалось у сорта Одесская-100 (на 20%). Сорта по убыванию диаметра центрального цилиндра располагаются следующим образом: Асем (107) > Бастама (95) > Сауле (92) > Одесская-100 (80). По растениям ячменя устойчивые по ростовым параметрам сорта Асем и Сауле показали высокие результаты по толщине экзодермы корней, диаметру проводящих пучков листьев. У сорта Асем также были высокие показатели по толщине нижнего и верхнего эпидермиса, диаметру центрального цилиндра.

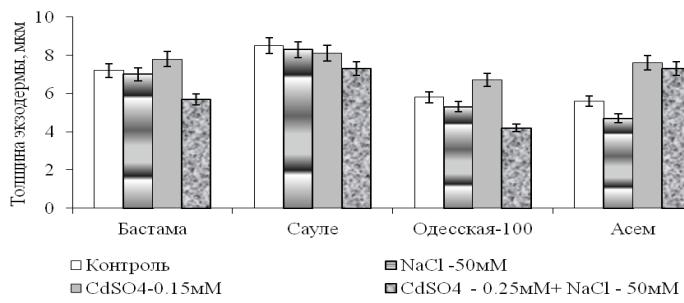


Рисунок 9 – Влияние совместного действия ионов кадмия и засоления на толщину экзодермы корней ячменя

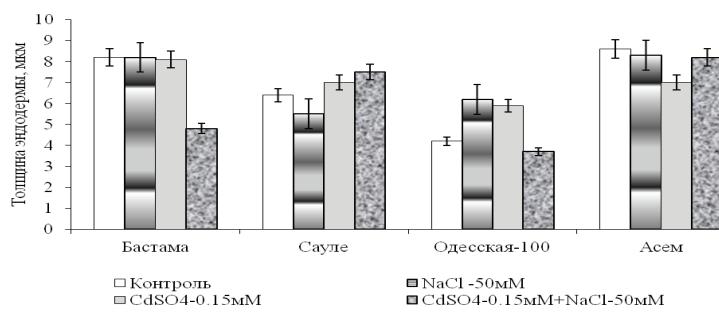


Рисунок 10 – Влияние совместного действия ионов кадмия и засоления на толщину эндодермы корней ячменя

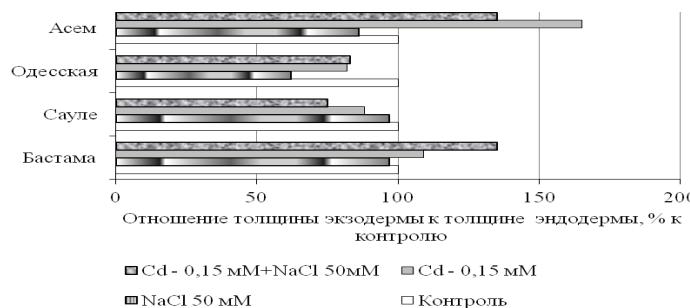


Рисунок 11 – Отношение толщины экзодермы к толщине эндодермы в условиях совместного действия ионов кадмия и засоления

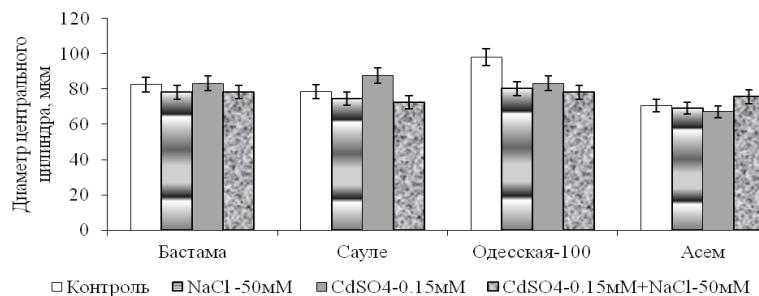


Рисунок 12 – Влияние совместного действия ионов кадмия на диаметр центрального цилиндра корней ячменя

Неустойчивые сорта Одесская-100 и Бастама соответственно по тем же показателям в основном представили низкие результаты. У сортов Одесская-100 и Бастама были относительно низкие показатели по толщине экзодермы и эндодермы корней, диаметру проводящих пучков. Полученные данные согласуются с данными литературы. Известно, что при засолении у растений уменьшается длина корней и диаметр, уменьшаются размеры апикальной меристемы, кортекса и диаметра центрального цилиндра. У растений хлопка наблюдалась суберинизация Поясков Каспари [12]. В опытных вариантах растений наблюдалось уменьшение соотношения центрального цилиндра к кортикальной паренхиме, что указывает на уменьшение диаметра центрального цилиндра

[13-15]. У растений *Brachiaria decumbens* наблюдалось утолщение экзодермы и эндодермы, увеличение межклеточного пространства в кортексе, сильная лигнификация клеток экзодермы [16].

Таким образом, изменение анатомических параметров корней растений ячменя при раздельном и совместном действии засоления и ионов кадмия выражалось в увеличении толщины экзодермы, обеспечивающей периферийный барьер на пути проникновения токсических ионов в апопласт.

Анатомические показатели, как отношение толщины экзодермы к толщине эндодермы, диаметр центрального цилиндра, можно использовать в качестве теста на устойчивость растений к действию тяжелых металлов и засоления

Литература

- 1 <http://www.ca-oasis.info/oasis/?jrn=22&id=157>.
- 2 Атабаева С.Д., Сарсенбаев Б.А. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами: монография. – «TST-Company», 2010. – 203 с.
- 3 Jones, K.C., Johnston, A.E. Cadmium in cereal grain and herbage from longterm experimental plots at Rothamsted, UK // Environmental Pollution. – 1989. – V. 57. – Pp. 199-216.
- 4 Kongshaug G., Bockman O.C., Kaarstad O., Morka H. Inputs of trace element to soils and plants // Proceedings of Chemical Climatology and Geomedical Problems. – 1992. – NorskHydro, Oslo, Norway.

- 5 Kpomblekou, A.K., Tabatabai, M.A. Metal contents of phosphate rocks // Commun. Soil Sci. Plant Anal. – 1994. – Vol. 25. – Pp. 2871-2882.
- 6 Sheppard S.C., Grant C.A., Sheppard M.I., De Jong R., Long J. Risk indicator for agricultural inputs of trace elements to Canadian soils // J. Environ. Qual. – 2009 – V.38. – Pp. 919–932.
- 7 Tirado, R., Allsop, M., Phosphorus in agriculture: problems and solutions // Greenpeace Research Laboratories. Technical Report (Review). – 2012. 02-2012 (greenpeace.org).
- 8 <http://5ballov.qip.ru/balhashskaya-katastrofa>
- 9 Пермяков А.И. Микротехника. – М.: Изд-во. МГУ, 1988. – 62 с.
- 10 Прозина М.Н. Ботаническая микротехника. – М., 1960. – 208 с.
- 11 Барыкина Р.П. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. – М.: М ГУ, 2004. – 312 с.
- 12 Reinhardt D.H., Rost T.L. Salinity accelerates endodermal development and induces an exodermis in cotton seedlings roots // Environmental and experimental Botany. – 1995. – Vol. 35. – P. 563-574.
- 13 Séccoli G., Ramos J., Ortega J.bSalinity induced anatomical and morphological changes in *Chloris gayana* Kunth roots // BIOCELL. – 2011. – Vol. 35. – N 1. – P. 9-17.
- 14 Ramos J., Perreta M.G., Tivano J.C., Vegetti A.C. Variaciones anatómicas en la raíz de *Pappophorum philippianum* inducidas por salinidad // Phyton USA. – 2004. – P. 103-109.
- 15 Degenhardt B., Gimmler H. Cell wall adaptations to multiple environment stresses in maize root // Journal of experimental botany. – 2000. – Vol. 51. – P. 595-603.
- 16 Gomes M. P., Lanza de Sá e Melo Marques T. C. L., De Oliveira M., Nogueira G., Castro E.M., De Soares Â.M. Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in *Brachiaria decumbens* // Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.). – 2011. – Vol. 68, N 5. – P. 566-573.

References

- 1 <http://www.ca-oasis.info/oasis/?jrn=22&id=157>.
- 2 Atabaeva S.D., Sarsenbaev B.A. Fitoremediacija pochv, zagrjaznennyh tjazhelymi metallami: monografija. – «TST-Company», 2010. – 203 s.
- 3 Jones, K.C., Johnston, A.E. Cadmium in cereal grain and herbage from longterm experimental plots at Rothamsted, UK // Environmental Pollution. – 1989. – V. 57. – Pp. 199-216.
- 4 Kongshaug G., Bockman O.C., Kaarstad O., Morka H. Inputs of trace element to soils and plants // Proceedings of Chemical Climatology and Geomedical Problems. – 1992. – NorskHydro, Oslo, Norway.
- 5 Kpomblekou, A.K., Tabatabai, M.A. Metal contents of phosphate rocks // Commun. Soil Sci. Plant Anal. – 1994. – Vol. 25. – Pp. 2871-2882.
- 6 Sheppard S.C., Grant C.A., Sheppard M.I., De Jong R., Long J. Risk indicator for agricultural inputs of trace elements to Canadian soils // J. Environ. Qual. – 2009 – V.38. – Pp. 919–932.
- 7 Tirado, R., Allsop, M., Phosphorus in agriculture: problems and solutions // Greenpeace Research Laboratories. Technical Report (Review). – 2012. 02-2012 (greenpeace.org).
- 8 <http://5ballov.qip.ru/balhashskaya-katastrofa>
- 9 Permjakov A.I. Mikrotehnika. – M.: Izd-vo. MGU, 1988. – 62 s.
- 10 Prozina M.N. Botanicheskaja mikrotehnika. – M., 1960. – 208 s.
- 11 Barykina R.P. Spravochnik po botanicheskoy mikrotehnike. Osnovy i metody. – M.: M GU, 2004. – 312 s.
- 12 Reinhardt D.H., Rost T.L. Salinity accelerates endodermal development and induces an exodermis in cotton seedlings roots // Environmental and experimental Botany. – 1995. – Vol. 35. – P. 563-574.
- 13 Séccoli G., Ramos J., Ortega J.bSalinity induced anatomical and morphological changes in *Chloris gayana* Kunth roots // BIOCELL. – 2011. – Vol. 35. – N 1. – R. 9-17.
- 14 Ramos J., Perreta M.G., Tivano J.C., Vegetti A.C. Variaciones anatómicas en la raíz de *Pappophorum philippianum* inducidas por salinidad // Phyton USA. – 2004. – P. 103-109.
- 15 Degenhardt B., Gimmler H. Cell wall adaptations to multiple environment stresses in maize root // Journal of experimental botany. – 2000. – Vol. 51. – P. 595-603.
- 16 Gomes M. P., Lanza de Sá e Melo Marques T. C. L., De Oliveira M., Nogueira G., Castro E.M., De Soares Â.M. Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in *Brachiaria decumbens* // Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.). – 2011. – Vol. 68, N 5. – P. 566-573.