

УДК 546.284-31:574.4

ВЛИЯНИЕ АМОРФНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ НА РОСТОВЫЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ НА РАННИХ СТАДИЯХ ОНТОГЕНЕЗА**¹Анищенко Л.Н., ¹Борздыко Е.В., ¹Москаленко И.В., ¹Сковородникова Н.А.,
²Лось С.Л., ²Прохоренко Ф.В.**¹*ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет им. акад. В.Г. Петровского»,
Брянск, e-mail: eco_egf@mail.ru;*²*Научно-производственное объединение ООО «Экокремний»,
Брянск, e-mail: ecokremniy@yandex.ru*

Изложены материалы камеральных экспериментов с 11 видами культурных растений при использовании препарата Ковелос (Сорб) – аморфного диоксида кремния. Для 9 видов растений впервые изучены показатели всхожести (энергии прорастания семян), ростовых явлений у прорастающих семян, содержание в побегах аскорбиновой кислоты. Препарат Ковелос подготавливали для опытов в концентрациях: 0 (контроль), 30, 50, 100, 500, 700 и 1000 кг/га (в почве). Наибольшее влияние препарата на энергию прорастания зарегистрировано при средних концентрациях (в почве – 100 кг/га). Хорошо отзываются увеличением всхожести семян овощные культуры: *Lycopersicum esculentum*, *Cucumis sativus*, *Cucurbita pepo* и *Phaseolus vulgaris*. Длина зародышевых корешков и побегов также возрастает при повышении концентрации: у бобовых и овощных культур: *Cucumis sativus*, *Cucurbita pepo*, *Phaseolus vulgaris*, *Pisum sativum*. Отмечена видовая специфичность реакции растений на различные концентрации при предпосевной обработке семян препаратом Ковелос. Эта особенность объясняется тем, что миграция кремния внутри растения, вероятно, осуществляется в основном в форме поликремниевой кислоты с помощью специальных транспортных ферментов, различающихся у видов. Препарат Ковелос также будет полезен при химической мелиорации почв, например, терриконов, песчаных карьеров для интенсификации биологических процессов у фитомелиорантов и повышения почвенного плодородия.

Ключевые слова: аморфный диоксид кремния, митотический индекс, интенсивные технологии, культурные растения, онтогенез

ON THE EFFECT OF AMORPHOUS SILICA ON THE GROWTH AND PRODUCTION INDICATORS OF CULTIVATED PLANTS IN THE EARLY STAGES OF ONTOGENESIS**¹Anisichenko L.N., ¹Borzdiko E.V., ¹Moskalenko I.V., ¹Skovorodnikova N.A.,
²Los S.L., ²Prokhorenko F.V.**¹*Bryansk State University n.a. Acad. V.G. Petrovsky, Bryansk, e-mail: eco_egf@mail.ru;*²*Scientific-production Association LLC «Ekokremnyi», Bryansk, e-mail: ecokremniy@yandex.ru*

Materials laboratory experiments with 11 species of cultivated plants when using the drug Cavelos (Sorb) – amorphous silicon dioxide. First studied for 9 plant species indicators of germination (germination energy of the seeds), growth phenomena in germinating seeds, the contents in the shoots of ascorbic acid. The drug Covelos prepared for experiments in concentrations: 0 (the control), 30, 50, 100, 500, 700 and 1000 kg/ha (in soil). The greatest impact of silicon-containing drug was at medium concentrations (in the soil 100 kg/ha). The greatest increase in seed germination in the presence of the drug Covelos achieved for vegetable crops: *Lycopersicum esculentum*, *Cucumis sativus*, *Cucurbita pepo* and *Phaseolus vulgaris*. Length of embryonic roots and shoots increased with increasing concentrations of the drug Covelos. Especially helpful for pre-sowing seed treatment was legumes and vegetable crops such as *Cucumis sativus*, *Cucurbita pepo*, *Phaseolus vulgaris*, *Pisum sativum*. In the presence of the drug Cavelos growth of embryonic roots is more intense than the growth of shoots. Marked species specificity of plant responses to various concentrations during the pre-sowing seed treatment with the drug Covelos. This feature is due to the fact that the migration of silicon within the plant, probably mainly in the form of polysilicic acid by special transport enzymes, differing in species. The drug Covelos will also be useful for chemical soil improvement, for example, heaps, sand pits for the intensification of biological processes in phytomeliorants and improve soil fertility.

Keywords: amorphous silicon dioxide, mitotic index, intensive technology, cultivated plants, ontogenesis

Продукционные и ростовые процессы культурных растений определяются комплексом факторов, в том числе и элементарным составом почвы. Содержание валовых и подвижных форм биофильного и циклического элемента кремния – один из лимитирующих показателей для развития рас-

тений, так как, несмотря на значительное распространение кремния, его структурообразующую функцию, продуценты поглощают только мономеры кремниевой кислоты [8, 10, 11, 13, 14].

Для получения высококачественной растительной продукции с минимальными

энергозатратами при использовании малодоступных соединений кремния необходимо изучение его воздействия на метрические и биохимические показатели культурных растений на различных этапах онтогенеза. Также повышение уровня использования кремниевых удобрений в агроэкосистемах позволит решить проблему обеспечения населения продуктами питания, развивать устойчивое сельскохозяйственное производство, эффективно проводить почвенную мелиорацию в связи с их высокой сорбционной активностью [1, 9].

Высокоочищенный синтетический кремнезем (аморфный диоксид кремния) под торговой маркой «Ковелос», выпускаемый научно-производственным объединением ООО «Экокремний», – легкий микронизированный (размер частиц в зависимости от марки от 6 до 40 микрон) порошок белого цвета без вкуса и запаха с нанопористой структурой частиц, с выраженными сорбционными свойствами, с удельной площадью поверхности 350–400 м² на 1 грамм, с маслоёмкостью 300–340 г/100 г. Среди твёрдых тел аморфный диоксид кремния отличается самыми низкими теплопроводностью (0,02 Вт/(м·К)), скоростью распространения звука (100 м/с) и диэлектрической проницаемостью, нагреванием (при температуре свыше 1000 °С переходит в кристаллическую форму). По экспериментальным данным аморфный диоксид кремния наиболее доступен для растений [11].

Цель работы – выявление влияния синтетического аморфного диоксида кремния на содержание аскорбиновой кислоты, метрические признаки и энергию прорастания семян культурных растений при предпосевной обработке семян препаратом «Ковелос» (ООО «Экокремний»).

Первая часть разработок по применению препарата «Ковелос» осуществлялась при определении митотического индекса у проростков семян на ранних этапах онтогенеза. В НИЛ Брянского государственного университета «Мониторинг сред обитания» исследовали влияние препарата «Ковелос» (СОРБ) на метрические показатели проростков, энергию прорастания семян и содержание аскорбиновой кислоты у видов: яровая пшеница сорта Артемовка (*Triticum aestivum* L.), озимая рожь Новозыбковская 4 (*Secale cereale* L.), овес посевной Львовский 1026 (*Avena sativa* L.), яровой ячмень Московский 121 (*Hordeum vulgare* L.), горох посевной Шатиловский зеленозёрный (*Pisum sativum* L.), фасоль обыкновенная

Щедрая (*Phaseolus vulgaris*), огурец посевной Кустовой (*Cucumis sativus* L.), томат обыкновенный Белый налив (*Lycopersicon esculentum* L.), редис обыкновенный Рубин (*Raphanus sativus* L.), тыква посевная Миндальная 35 (*Cucurbita pepo* L.), кабачок посевной Грибовский 37 (*Cucurbita pepo* L.), кукуруза посевная Днепровский 56 (*Zea mays* L.). Номенклатура сосудистых растений указана согласно сводке С.К. Черепанова (1995) [12].

Семена культурных растений проращивали в рулонах (ГОСТ 12038-84) [4]. Определяли метрические признаки проростков однолетних растений: длину побега (для злаковых культур – длина coleoptилей), корней ($M \pm m$), вычисляли соотношение длины корней к длине наземной части, выявляли энергию прорастания семян (всхожесть). Все эксперименты проводили в пятикратной повторности в числе семян 30 штук, использовали чашки Петри. Особенности прорастания изучали через 72 и 96 часов. Определение аскорбиновой кислоты проводили титрованием по ГОСТ 24556-89 [5, 9].

Препарат «Ковелос» подготавливали для опытов в разных концентрациях. В мерные колбы объемом 1 л помещали аморфный диоксид кремния в дозах 0; 0,03; 0,05; 0,1; 0,7 и 1 г на сосуд, что соответствовало 0, 30, 50, 100, 500, 700 и 1000 кг/га (в почве). Статистическую обработку данных проводили в пакете Microsoft Office Excel 2010, использовали общепринятые статистические параметры [7].

Результаты исследований влияния аморфного диоксида кремния (в препарате «Ковелос» (СОРБ)) на всхожесть и ростовые процессы культурных растений представлены в табл. 1–3.

Добавление активных форм кремния в виде аморфного диоксида кремния (препарат «Ковелос») в различной концентрации при предпосевной подготовке семян культурных растений оказывало влияние на энергию прорастания (всхожесть). Так, в присутствии малых концентраций препарата всхожесть семян возрастала значительно (различия в показателях всхожести статистически недостоверны). Наибольшее влияние кремнийсодержащего препарата зарегистрировано при средних концентрациях (в почве – 100 кг/га). При дальнейшем увеличении концентрации препарата, используемого для предпосевной обработки, заметного увеличения всхожести семян не наблюдалось. Для некоторых видов куль-

турных растений (*Lycopersicum esculentum*, *Cucumis sativus*, *Zea mays*) были зарегистрированы идентичные показатели [11]. Наибольшее увеличение всхожести семян в присутствии препарата «Ковелос» достигнуто для овощных культур *Lycopersicum esculentum*, *Cucumis sativus*, *Cucurbita pepo* и *Phaseolus vulgaris*.

Метрические признаки проросших семян при внесении кремнийсодержащего удобрения при предпосевной обработке свидетельствуют об ускорении ростовых (продукционных) процессов у культурных растений (по сравнению с контролем). Длина зародышевых корешков и побегов (колеоптилей у злаковых культур) увеличивается при повышении концентрации препарата «Ковелос». Особенно отзывчивы на предпосевную обработку семян оказались бобовые и овощные культуры *Cucumis sativus*, *Cucurbita pepo*, *Phaseolus vulgaris*, *Pisum sativum*. В присутствии препарата «Ковелос» рост зародышевых корешков более интенсивен, чем рост побегов (колеоптилей). При ускорении развития побеговой и корневой массы проростков в дальнейшем следует прогнозировать и большую растительную массу на средних стадиях онтогенеза.

По расчётным показателям соотношения длины корней и длины побегов (коле-

оптилей) также можно судить о влиянии аморфного диоксида кремния на ростовые процессы семян при прорастании. Так по сравнению с контролем при обработке семян препаратом Ковелос при концентрации 30 кг/га при общем увеличении длины побегов и корней проростков показатель прироста уменьшился по сравнению с контролем для *Triticum aestivum*, *Secale cereale*, *Hordeum vulgare*, *Zea mays*. При концентрации препарата 100 кг/га расчётный индекс не изменился для *Pisum sativum* и *Hordeum vulgare*. В других разновидностях эксперимента для всех видов культурных растений зарегистрировано увеличение численного значения показателя соотношения длины корней и длины побегов. При концентрациях аморфного диоксида кремния в 700 кг/га и 1000 кг/га для овощных культур выявлены наибольшие показатели. Таким образом при увеличении концентрации препарата «Ковелос» ростовые процессы наиболее интенсивны у *Cucurbita pepo*, *Raphanus sativus*, *Phaseolus vulgaris*.

Аскорбиновая кислота (витамин С) – одно из важнейших органических веществ, определяющих стрессоустойчивость растений по отношению к абиотическим факторам, качественные характеристики растительной продукции. Валовое содержание аскорбиновой кислоты отражено в табл. 4.

Таблица 1

Прорастание семян культурных растений (% проросших семян) при обработке кремнийсодержащим удобрением

Показатель	Концентрация аморфного диоксида кремния и значения показателей											
	Концентрация 0 кг/га (контроль)											
Виды	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Всхожесть	95,3	96,7	95,4	97,2	93,4	90,1	91,3	90,2	88,3	93,2	89,1	90,3
Концентрация 30 кг/га												
Всхожесть	98,2	97,1	96,8	98,1	94,6	93,1	94,2	92,5	91,3	94,2	92,4	92,1
Концентрация 50 кг/га												
Всхожесть	99,2	97,9	97,2	98,4	95,2	94,9	95,5	93,7	93,5	95,3	94,6	93,9
Концентрация 100 кг/га												
Всхожесть	99,5	98,7	99,2	98,9	98,5	97,8	97,2	96,3	96,2	97,5	96,2	96,3
Концентрация 500 кг/га												
Всхожесть	99,1	98,2	99,1	98,3	98,2	97,3	97,0	96,0	96,3	97,2	96,1	96,0
Концентрация 700 кг/га												
Всхожесть	99,0	98,4	99,2	98,4	98,1	97,0	97,2	96,2	96,1	97,1	96,0	96,1
Концентрация 1000 кг/га												
Всхожесть	99,1	98,4	99,0	98,0	98,1	97,1	97,2	96,1	96,1	97,1	96,2	96,1

Примечание. *Семена видов растений: 1 – *Triticum aestivum*, 2 – *Secale cereale*, 3 – *Avena sativa*, 4 – *Hordeum vulgare*, 5 – *Zea mays*, 6 – *Pisum sativum*, 7 – *Phaseolus vulgaris*, 8 – *Cucumis sativus*, 9 – *Lycopersicum esculentum*, 10 – *Raphanus sativus*, 11 – *Cucurbita pepo* (тыква посевная), 12 – *Cucurbita pepo* (кабачок посевной).

Таблица 2

Метрические признаки проростков культурных растений при обработке кремнийсодержащим удобрением (экспозиция 72 ч)

Показатель	Концентрация аморфного диоксида кремния и значения показателей				
	Концентрация 0 кг/га				
Виды	1*	2	3	4	5
Длина побега, мм ($M \pm m$)	$19,7 \pm 0,9$	$18,3 \pm 0,9$	$18,9 \pm 1,0$	$20,2 \pm 1,1$	$21,1 \pm 1,2$
Длина корней, мм ($M \pm m$)	$21,1 \pm 0,9$	$19,1 \pm 0,9$	$19,3 \pm 1,1$	$22,8 \pm 0,9$	$23,4 \pm 1,1$
Концентрация 30 кг/га					
Длина побега, мм ($M \pm m$)	$19,9 \pm 0,8$	$18,8 \pm 0,9$	$19,4 \pm 1,1$	$21,3 \pm 1,2$	$21,9 \pm 1,3$
Длина корней, мм ($M \pm m$)	$21,1 \pm 0,9$	$19,1 \pm 0,9$	$19,9 \pm 1,2$	$22,8 \pm 0,9$	$23,4 \pm 1,1$
Концентрация 100 кг/га					
Длина побега, мм ($M \pm m$)	$21,9 \pm 1,1$	$20,1 \pm 0,9$	$21,2 \pm 1,2$	$22,9 \pm 1,3$	$23,5 \pm 1,4$
Длина корней, мм ($M \pm m$)	$23,5 \pm 1,2$	$21,2 \pm 1,0$	$22,4 \pm 1,2$	$24,5 \pm 1,3$	$25,8 \pm 1,3$
Концентрация 700 кг/га					
Длина побега, мм ($M \pm m$)	$23,0 \pm 1,3$	$21,5 \pm 1,2$	$22,8 \pm 1,4$	$23,5 \pm 1,5$	$24,5 \pm 1,3$
Длина корней, мм ($M \pm m$)	$24,8 \pm 1,3$	$23,1 \pm 1,2$	$25,5 \pm 1,4$	$25,8 \pm 1,3$	$26,9 \pm 1,3$
Концентрация 1000 кг/га					
Длина побега, мм ($M \pm m$)	$24,0 \pm 1,2$	$22,1 \pm 1,3$	$23,9 \pm 1,5$	$25,3 \pm 1,6$	$25,7 \pm 1,5$
Длина корней, мм ($M \pm m$)	$25,9 \pm 1,5$	$24,9 \pm 1,3$	$27,7 \pm 1,5$	$27,9 \pm 1,7$	$28,3 \pm 1,7$

Окончание табл. 2

Концентрация аморфного диоксида кремния и значения показателей						
Концентрация 0 кг/га						
6	7	8	9	10	11	12
$7,8 \pm 0,4$	$7,6 \pm 0,4$	$7,5 \pm 0,3$	$8,1 \pm 0,3$	$9,3 \pm 0,6$	$8,1 \pm 0,4$	$7,9 \pm 0,4$
$8,1 \pm 0,4$	$7,8 \pm 0,4$	$7,7 \pm 0,4$	$8,3 \pm 0,4$	$10,2 \pm 0,6$	$8,6 \pm 0,5$	$8,2 \pm 0,5$
Концентрация 30 кг/га						
$8,0 \pm 0,5$	$7,9 \pm 0,4$	$7,9 \pm 0,5$	$8,9 \pm 0,6$	$9,9 \pm 0,6$	$8,9 \pm 0,5$	$8,5 \pm 0,6$
$8,9 \pm 0,4$	$8,6 \pm 0,5$	$8,5 \pm 0,6$	$9,2 \pm 0,5$	$10,8 \pm 0,6$	$9,8 \pm 0,6$	$9,1 \pm 0,6$
Концентрация 100 кг/га						
$8,8 \pm 0,6$	$8,4 \pm 0,5$	$8,6 \pm 0,6$	$9,6 \pm 0,7$	$10,3 \pm 0,7$	$9,6 \pm 0,5$	$9,2 \pm 0,7$
$9,8 \pm 0,8$	$9,3 \pm 0,7$	$9,5 \pm 0,7$	$10,5 \pm 0,7$	$12,1 \pm 0,9$	$11,1 \pm 0,8$	$10,7 \pm 0,7$
Концентрация 700 кг/га						
$9,1 \pm 0,6$	$8,9 \pm 0,6$	$9,3 \pm 0,8$	$10,2 \pm 0,8$	$10,7 \pm 0,6$	$10,2 \pm 0,7$	$9,9 \pm 0,7$
$10,8 \pm 0,7$	$9,9 \pm 0,6$	$10,3 \pm 0,7$	$11,2 \pm 0,8$	$12,9 \pm 0,9$	$11,9 \pm 0,7$	$11,9 \pm 0,9$
Концентрация 1000 кг/га						
$9,6 \pm 0,7$	$9,8 \pm 0,6$	$9,9 \pm 0,8$	$11,1 \pm 0,9$	$11,7 \pm 0,9$	$11,0 \pm 0,8$	$10,5 \pm 0,9$
$11,4 \pm 0,8$	$11,7 \pm 0,8$	$11,6 \pm 0,6$	$12,4 \pm 0,9$	$14,3 \pm 0,7$	$12,9 \pm 0,9$	$12,7 \pm 0,8$

Примечание: *Семена видов растений. Обозначения те же (табл. 1).

Применение кремнийсодержащего препарата при возрастающей концентрации закономерно увеличивает концентрацию аскорбиновой кислоты в побегах семян: наибольшее содержание вещества диагностировалось при концентрации диоксида кремния в 700 кг/га. Различия между показателями концентраций аскорбиновой кислоты в побеговой части проростков достоверны.

Воздействие аморфного гидроксида кремния на биологические процессы у куль-

турных растений можно объяснить хорошей поглощаемостью элементов препарата: он состоит из смеси различных полигидросилоксанов и растворяется в воде очень хорошо, превращаясь в доступные для растений формы, быстро встраиваясь в состав почвенного поглощающего комплекса [3]. В почве естественных ценозов доступный для растений аморфный диоксид кремния присутствует в деятельностном горизонте в основном в виде фитоцитов, количество которых зависит от продуктивности сообществ [2, 6].

Таблица 3

Расчётные показатели метрических признаков проростков культурных растений при обработке кремнийсодержащим удобрением (экспозиция 72 ч)

Показатель	Концентрация аморфного диоксида кремния и значения показателя											
	Концентрация 0 кг/га											
Виды	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
длина корней / длина наземной части	1,07	1,04	1,02	1,13	1,11	1,04	1,02	1,03	1,02	1,10	1,06	1,04
	Концентрация 30 кг/га											
длина корней / длина наземной части	1,06	1,02	1,03	1,07	1,07	1,11	1,09	1,09	1,03	1,10	1,10	1,07
	Концентрация 100 кг/га											
длина корней / длина наземной части	1,07	1,05	1,03	1,07 н/и	1,09	1,11 н/и	1,11	1,10	1,09	1,17	1,16	1,16
	Концентрация 700 кг/га											
длина корней / длина наземной части	1,08	1,07	1,12	1,09	1,09	1,19	1,11	1,11	1,10	1,21	1,17	1,20
	Концентрация 1000 кг/га											
длина корней / длина наземной части	1,08	1,13	1,16	1,10	1,09	1,19	1,19	1,17	1,12	1,22	1,17	1,21

Примечание: *Семена видов растений. Обозначения те же (табл. 1).

Таблица 4

Показатели концентрации аскорбиновой кислоты (мг / 100 г) проростков культурных растений при обработке кремнийсодержащим удобрением (экспозиция 96 ч)

Показатель	Концентрация аморфного диоксида кремния и значения показателя											
	Концентрация 0 кг/га											
Виды	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C_{AK} , мг / 100 г	9,3	8,6	8,9	8,4	9,1	7,3	7,5	8,1	8,9	11,8	7,8	8,3
	Концентрация 30 кг/га											
C_{AK} , мг / 100 г	9,9	8,9	9,4	8,9	9,6	7,8	7,9	8,7	9,4	12,6	8,4	8,7
	Концентрация 100 кг/га											
C_{AK} , мг / 100 г	10,5	9,4	9,7	9,4	10,1	8,5	8,5	9,2	9,6	12,9	8,9	9,1
	Концентрация 700 кг/га											
C_{AK} , мг / 100 г	10,7	9,8	9,9	9,8	10,3	8,6	8,7	9,4	9,7	13,1	9,2	9,3
	Концентрация 1000 кг/га											
C_{AK} , мг / 100 г	10,8	9,7	9,9	9,9	10,2	8,7	8,6	9,5	9,5	13,0	9,1	9,2

Примечание: *Семена видов растений. Обозначения те же (табл. 1). C_{AK} – концентрация аскорбиновой кислоты в побегах (колеоптилях злаковых).

Таким образом, в экспериментах показано положительное влияние кремнийсодержащего препарата на ростовые и продукционные показатели культурных растений на ранних стадиях онтогенеза. Целесообразно, используя раствор аморфного диоксида кремния, повышать всхожесть семян исследуемых видов, в средней концентрации. Наиболее отзывчивыми на обработку препаратом «Ковелос» оказались семена овощных и бобовых культур, злаковых – в наименьшей степени. Отмечена видовая специфичность

реакции растений на различные концентрации при предпосевной обработке семян препаратом «Ковелос». Эта особенность объясняется тем, что миграция кремния внутри растения, вероятно, осуществляется в основном в форме поликремниевой кислоты с помощью специальных транспортных ферментов, различающихся у видов [11].

Позитивные тенденции в ростовых процессах культурных растений на ранних стадиях онтогенеза несомненны, поэтому применение кремнийсодержащих удобрений можно

рекомендовать для увеличения урожайности в результате ускорения развития. Препарат «Ковелос» также будет полезен при химической мелиорации почв, например, терриконов, песчаных карьеров для интенсификации биологических процессов у фитомелиорантов и повышения почвенного плодородия.

Список литературы

1. Вернадский В.И. Биогеохимическая роль алюминия и кремния в почвах // Докл. АН СССР. – 1938. – № 21(3). – С. 127–130.
2. Боброва Е.К. Биогенный кремний в почвах сложного генеза [Текст]: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М.: МГУ, 1995. – 16 с.
3. Борисов М.В. Экспериментальное исследование форм нахождения кремниевой кислоты в растворах [Текст]: автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук. – М.: МГУ, 1976. – 28 с.
4. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур: методы определения всхожести [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2011. – 64 с.
5. ГОСТ 24556-89 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С [Текст]. – М.: ИПК Изд-во Стандартов, 1989. – 11 с.
6. Добровольский Г.В., Бобров А.А., Гольева А.А., Шоба С.А. Опаловые фитоциты таёжного биогеоценоза средней тайги // Биологические науки. – 1988. – № 2. – С. 96–101.
7. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике [Текст] / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1990. – 296 с.
8. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова [Текст] / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1985. – 263 с.
9. Пашкевич Е.Б., Киришин Е.П. Роль кремния в питании растений и защита сельскохозяйственных культур от фитопатогенов // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 2. – С. 52–57.
10. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Кособрюхов А.А. О подвижных формах кремния в растениях // Докл. РАН. – 2008. – № 418(2). – С. 279–281.
11. Матыченков И.В. Взаимное влияние кремниевых, фосфорных и азотных удобрений в системе: почва-растение [Текст]: Дис. ... канд. биол. наук. – М.: МГУ, 2014. – 136 с.
12. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств [Текст] / С.К. Черепанов. – СПб.: Мир и семья, 1995. – 992 с.
13. Ma J.F., Takahashi E. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. – Netherlands: Elsevier, 2002. – 281 p.
14. Yoshida S. The physiology of silicon in rice // Food Fert. Tech. Centr. Bull. – 1975. – № 25. – P. 35–39.