УДК 633.16:631.524

doi: 10.30766/2072-9081.2018.65.4.42-48

# Средообразующая активность корневой системы регенерантов ячменя в условиях токсичности кислых почв

О.Н. Шуплецова<sup>1,2</sup>, И.Н. Щенникова<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ "Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого", г. Киров, Российская Федерация, <sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Российская Федерация, <sup>3</sup>ФГБОУ ВО "Вятская государственная сельскохозяйственная академия", г. Киров, Российская Федерация

Регенерантные линии ячменя 917-01, 781-04, 441-05, 530-98, полученные путем клеточной селекции на кислых селективных средах с алюминием, оценивали относительно исходных сортов 999-93, Новичок и стандарта Биос 1 в лабораторных, вегетационных и полевых опытах. В водной культуре изучали динамику изменения кислотности среды корнями проростков ячменя и их биометрические показатели на контрольном (pH 6,0) и стрессовом (pH 4,0 и pH 4,0 +  $Al^{3}$ 20 мг/л) фонах. Регенеранты 917-01 и 781-04 активно подщелачивали воду (на 2,4-2,5 ед. рН) на фоне интенсивного по сравнению с контролем роста корней (43%) и накопления биомассы (10%). У сорта Новичок и его регенерантного генотипа 441-05 кислотность раствора изменялась незначительно. В вегетационных опытах изучали средообразующую активность регенерантной линии 530-98 по изменению кислотности и содержанию свободного алюминия в зоне ризосферы. На почвенном фоне с pH 3,9 и  $A1^{3+}$  5,6 мг/100 r почвы уровень подщелачивания достигал 0,7 ед. pH при снижении количества свободного алюминия на 4,23 мг/100 г почвы, что превышало аналогичные показатели стандарта Биос 1 в 1,8 раза. С ужесточением стресса выявлено повышение урожайности регенеранта относительно стандарта в 2 раза (на 0,66 m/га на почвенном фоне при pH 3,7 и Al 21 мг/100 г почвы). В благоприятных условиях возделывания урожайность регенерантов снижалась относительно стандарта. В конкурсных испытаниях регенерантные генотипы 917-01 и 530-98, обладающие высокой средообразующей активностью корневой системы, вошли в число лучших селекционных номеров. Линия 917-01 получила статус сорта Форвард. Не все регенеранты обладали селекционной ценностью. Отбор in vitro алюмоустойчивого сорта Новичок не привел к положительным результатам. Сделан вывод о иелесообразности вовлечения в клеточную селекцию генотипов с низким уровнем стрессоустойчивости и потенциально высокой адаптивной изменчивостью.

**Ключевые слова**: ячмень, регенерантные линии, почвенная кислотность, алюминий, средообразующая активность, урожайность, стрессоустойчивость

При создании новых форм растений с высоким потенциалом устойчивости к абиотическим стрессорам перспективно использовать сомаклональную изменчивость, возникающую в процессе культивирования каллусных тканей на кислых селективных средах и влияющую непосредственно на генетический аппарат клетки. В каллусных культурах возможно получение генотипов с изменёнными свойствами, которые при последующей регенерации растений могут быть перспективным материалом для адаптивной селекции [1, 2]. Однако характер возникающей in vitro изменчивости не всегда адаптивен - отдельные признаки могут изменяться как в сторону повышения, так и понижения значений по сравнению с таковыми у исходного сорта [3].

Как известно, основными почвенными факторами, негативно влияющими на продуктивность ячменя на северо-востоке Нечерноземной зоны России, являются повышенная кислотность и токсичность алюминия [4, 5]. Для повышения эффективности и корректировки клеточной селекции в получении адаптивных генотипов ячменя в условиях токсичности кислых почв представляет практический

интерес выявления механизма алюмоустойчивости регенерантных генотипов, созданных в культуре *in vitro*.

Механизмы формирования устойчивости к воздействию алюминия у растений носят различный характер и генетически обусловлены. Однако различия в устойчивости растений к токсическому действию ионов A1<sup>3+</sup> чаще всего связаны с экскреторной функцией корней, позволяющей быстро сдвигать рН почвенного раствора в сторону нейтральных значений за счет выделения во внешнюю среду инактиваторов - карбоксильных, гидроксильных групп и фосфатов [6, 7]. Благодаря подщелачиванию среды и выделению фосфатов начинается связывание и детоксикация  $A1^{3+}$  в ризосфере, что резко уменьшает ростингибирующую способность ионов A1<sup>3+</sup>. Интенсивность экскреторной (средообразующей) функции корней и создание рН-барьера в ризосфере – важный показатель геноспецифичности устойчивости растений к алюминию.

Для создания генотипов ячменя, устойчивых к ионной токсичности алюминия в условиях кислых почв, в каллусной культуре на селективных средах получали регенерантные

растения (сомаклоны), семенное потомство которых оценивали в лабораторных, вегетационных и полевых опытах.

**Цель исследований** — изучить в условиях водной и почвенной культур влияние средообразующей активности корневой системы регенерантных и исходных генотипов ячменя и оценить стрессоустойчивость регенерантных линий в полевых условиях на кислых дерновоподзолистых почвах.

**Материал и методы.** В качестве объектов исследования служили генотипы ячменя (Hordeum vulgare L.) регенерантного происхождения, полученные по ранее описанным методикам путем клеточного отбора на селективных средах in vitro [8, 9], и их исходные сорта.

К проведению экспериментов были привлечены учащиеся магистратуры Института биологии и биотехнологии ВятГУ, а также кафедры биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии Вятской ГСХА.

В водной культуре в течение 7 дней изучали динамику изменения кислотности среды проростками ячменя и их биометрические показатели на контрольном (рН 6,0) и стрессовом (рН 4,0 и рН 4,0 + Al<sup>3+</sup> 20 мг/л) фонах. Условия проведения оценки проростков в водной культуре соответствовали уровню стрессовых факторов на селективных средах *in vitro*. В эксперимент были вовлечены регенерантные генотипы исходных сортов Новичок и 999-93, контрастных по устойчивости к токсичности алюминия в полевых условиях. Использовали два набора генотипов (формы – исходный сорт и регенерант):

- сорт Новичок (устойчивый) / регенерантная форма 441-05;
- сорт 999-93 (неустойчивый) / регенерантные формы 917-01 и 781-04.

В вегетационных опытах оценивали на почвенных фонах рН 6,0...3,8 и Al 0,5...20 мг/ 100 г физиологические показатели корневой системы и урожайность растений регенерантной линии 530-98 относительно сорта-стандарта Биос 1. Семена высевали в вегетационные емкости с кислой дерново-подзолис-той почвой. Растения культивировали до получения семенного потомства. По окончании вегетации проводили анализ структуры продуктивности и измеряли уровень рН как в области ризосферы корней, так и в свободной от корневой системы зоне.

Регенерантные линии также проходили оценку в полевых испытаниях. Питомники

конкурсного сортоиспытания закладывали [10] в полевых опытах на двух фонах: нейтральном (рН 5,2;  $A1^{3+}$  0,5 мг/100 г почвы) и стрессовом (рН 3,8-3,9;  $A1^{3+}$  4,2-9,6 мг/100 г почвы).

Результаты и их обсуждение. В процессе культивирования на контрольном фоне все исследуемые генотипы незначительно (изменение рН 0,9-1,3) подщелачивали воду (рис. 1). Однако в стрессовых условиях выявлены существенные генотипические различия по средообразующей активности. В варианте с кислой средой (рН 4,0) без алюминия наблюдали схожую реакцию у трех генотипов: сорт Новичок, его регенерантная форма 441-05 и сорт 999-93 - повышение уровня рН на 1,7-1,9 ед. на 3-5 день экспозиции. Далее уровень кислотности не изменялся. Регенеранты 917-01 и 781-04 активно подщелачивали воду в течение всего периода культивирования (изменение рН на 2,4-2,5 ед. относительно начального уровня). В данном случае динамическая кривая не вышла на стационарный уровень, что свидетельствует о нереализованном полностью потенциале средообразования этих генотипов в рамках наблюдения. Подобную ситуацию наблюдали при усилении стресса с добавлением в кислую среду ионов алюминия. Сорт Новичок и его регенерант слабо реагировали на стресс, повышая уровень рН не более чем на 0,8 ед. У регенерантных растений 917-01 и 781-04 активность подщелачивания раствора корневой системой была высокой (изменение рН на 2,3-2,4 ед.), существенно превышающей уровень активности исходного генотипа 999-93 (изменение рН 1,5 ед.), и продолжавшей развиваться до конца измерений (7-е сутки).

В рамках эксперимента изучали влияние кислотности среды культивирования на биометрические показатели проростков (рис. 2). Различие в линейных размерах побегов большинства генотипов на контрольном и стрессовых фонах в водной среде было незначительным (данные не приведены). Однако наблюдали угнетение развития корней генотипов 441-05, 999-93 и 781-04 в кислой среде без алюминия (в среднем на 10,6%), а еще более – в присутствии ионов Al<sup>3+</sup> (в среднем 18,2%) по сравнению с контролем. Выявлена в этих же условиях стимуляция роста корневой системы относительно контроля у сорта Новичок (на 24 и 30%) и регенеранта 917-01 (на 43 и 10%).

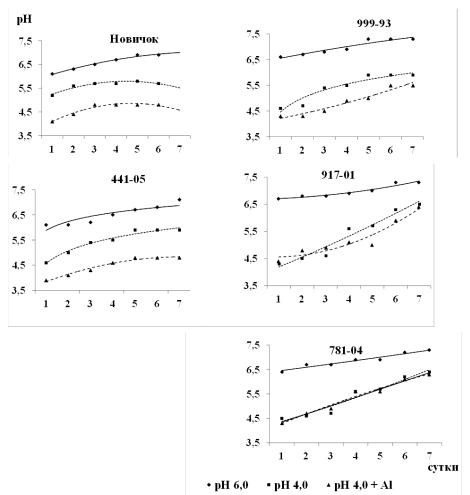
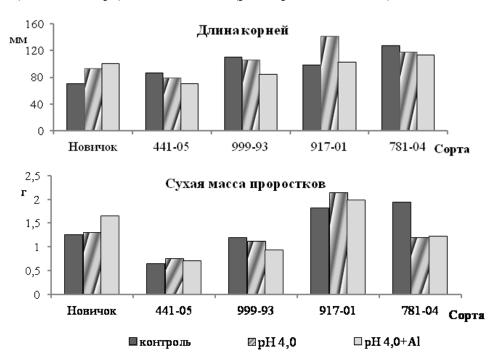


Рис. 1. Динамика изменения кислотности среды, индуцируемая корнями растений регенерантных и исходных генотипов: Новичок (исходный сорт) и 441-05 (регенерант от Новичок); 999-93 (исходный сорт), 917-01 и 781-04 (регенеранты от 999-93)



 $Puc.\ 2.$  Влияние условий культивирования в водной культуре на биометрические показатели проростков ячменя сортов Новичок и 999-93 и их регенерантных форм

Анализ сухой массы проростков регенерантных генотипов по сравнению с исходной формой во всех вариантах опыта показал снижение этого показателя у генотипа 441-05, но повышение у 917-01. При отсутствии активного подщелачивания среды на стрессовом фоне у сорта Новичок и его регенерантного генотипа 441-05 наблюдали стимулирование роста корневой системы и накопления биомассы растений исходного сорта, значительное угнетение регенерантных растений. Альтернативную ситуацию в стрессовых условиях наблюдали у регенерантов 917-01 и 781-04. Активное подщелачивание среды корневой системой регенерантов снижало стрессовое давление на растения, что способствовало значительному повышению линейных (генотипы 917-01 и 781-04) и массовых показателей проростков (генотип 917-01) относительно исходного генотипа 999-93, у которого средообразующая активность была относительно низкой.

В вегетационных емкостях на стрессовом фоне при рН 3,9 и А1<sup>3+</sup> 5,58 мг/100 г почвы наряду с изменением кислотности изучали содержание свободного алюминия в прикорневой зоне растений регенерантного генотипа 530-98 по сравнению с сортами Биос 1 (стандарт) и Новичок (алюмоустойчивый) (табл.). подщелачивания, индуцируемый Уровень корнями 530-98, превышал таковой сортов Новичок и Биос 1 в 1,6 и 2 раза соответственно и достигал 4,6 ед. рН (при изначальном уровне рН в среднем 3,9). Также активность корневой системы 530-98 привела к наиболее значительному, относительно других сортов, снижению количества свободного алюминия до уровня 1,35 мг/100 г почвы (начальная концентрация – 5,58 мг/100 г почвы).

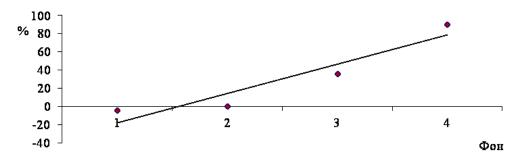
 $\it Taблицa$  Изменение содержания ионов  $\it H^+$  и  $\it Al^{3+}$  в прикорневой зоне растений ячменя

| Генотип          | Показатели средообразующей активности в ризосфере |   |
|------------------|---|---|
|                  | сдвиг рН в щелочную сторону                       | количество свободного $Al^{3+}$ (мг/ $100$ г почвы) |
| Биос 1, стандарт | 0,34±0,07   | 2,15±0,86   |
| Новичок          | 0,43±0,15   | 2,24±0,15   |
| RA 530-98        | 0,70±0,18   | 1,35±0,42   |

Таким образом, регенерантные растения 530-98 в условиях эдафического стресса активно осуществляли средообразование за счет корневых выделений, создавая для него комфортные условия в прикорневой зоне, изменяя рН до уровня, при котором алюминий становился труднодоступным.

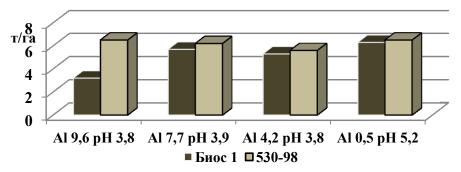
В процессе исследований сопоставляли физиологическую активность корневой системы с урожайностью растений 530-98 в широком диапазоне стрессовых условий: pH 6,0...3,7 и Al 0,5...21 мг/100 г почвы (рис. 3). На благоприятном почвенном фоне в отсутствии

стресса (рН 6,0; А1<sup>3+</sup> 0,5 мг/100 г почвы) отмечено снижение урожайности регенеранта по сравнению со стандартом Биос 1 (на 0,24 т/га, 4,5%). На кислом фоне при рН 4,3 и нетоксичным количеством свободных ионов алюминия (2,1 мг/100 г почвы) в почвенном растворе урожайность обоих сортов была равной 5,0 т/га. Однако с ужесточением стрессовых условий по мере увеличения количества ионов водорода и алюминия в почве наблюдали прогрессирующее преимущество регенерантной линии по сравнению со стандартом в 1,3-2 раза (превышение стандарта на 0,66-1,37 т/га).



*Puc. 3.* Влияние жесткости алюмокислого стресса на превышение урожайности (%) регенерантной линии 530-98 относительно сорта-стандарта Биос 1 в вегетационном опыте: 1-pH 6,0;  $A1^{3+}$  0 мг/100 г почвы; 2-pH 4,3;  $A1^{3+}$  2,1 мг/100 г почвы; 3-pH 3,8;  $A1^{3+}$  8,7 мг/100 г почвы; 4-pH 3,7;  $A1^{3+}$  21 мг/100 г почвы

Подобные результаты были получены и в полевых испытаниях. В результате многолетних исследований в конкурсном сортоиспытании было выявлено, что максимальное превышение урожайности 530-98 относительно стандарта (до 1,8 т/га) наблюдали на жестких стрессовых фонах при высокой концентрации ионов водорода и алюминия в почвенном растворе. В благоприятных условиях возделывания такое преимущество отсутствовало (рис. 4). Нестабильность результатов затрудняло дальнейшую селекционную работу, так как основным критерием оценки сорта является высокая урожайность, как в условиях кислых почв, так и на высоком агрофоне [11].



Puc.~4. Влияние жесткости эдафического стресса (A1 $^{3+}$ , мг/кг почвы и кислотность, ед. pH) на урожайность регенерантной линии 530-98 в конкурсном сортоиспытании

Подобную тенденцию наблюдали у большинства регенерантных линий. Например, в полевых испытаниях на участке с уровнем рН 4,5...5,5 и невысоким содержанием ионов алюминия  $(Al^{3+} 0.5 \text{ мг}/100 \text{ г почвы})$  урожайность большинства регенерантных сортов, преимущество которых проявлялось при более стрессовых условиях произрастания, была на уровне стандартного сорта. Однако на кислых дерново-подзолистых почвах (провокационный фон: pH 3,8...4,5; Al<sup>3+</sup> 4,2...9,6 мг/100 г почвы) наиболее урожайными и входившими в число лучших селекционных номеров были регенерантные генотипы 917-01 и 530-98, обладающие высокой средообразующей активностью корневой системы. По итогам конкурсного испытания регенерантная линия 917-01 получила статус сорта Форвард (патент на селекционное достижение № 9152 от 11.07.2017 г.). При испытании в полевых условиях сорт формировал урожайность до 6,17 т/га, превышая стандарт от 0,27 до 0,61 т/га в зависимости от фона. Определяющим фактором в получении высокой урожайности была хорошая выживаемость растений нового сорта в условиях алюмокислого стресса.

Вероятно, повышение стрессоустойчивости регенерантов ячменя на жестких почвенных фонах с высокой концентрацией ионов водорода и алюминия связано с активизацией механизма средообразования, который проявляется в повышении интенсивности экскреторной функции корней и созданием рН барьера в ризосфере.

Однако не все регенерантные генотипы имели селекционную ценность. Вероятно, их «селекционные» неудачи связаны с неверным выбором исходных сортов для вовлечения в клеточную селекцию. Например, отбор in vitro на селективных средах алюмоустойчивого сорта Новичок не привел к положительным результатам. Изучение его регенерантной линии 441-05 в конкурсном сортоиспытании в течение трех лет как на стрессовом фоне, так и при отсутствии стрессового фактора выявило достоверное снижение урожайности регенеранта относительно исходного сорта и стандарта Биос 1 на 0,28-0,31 т/га. По-видимому, устойчивость Новичка к алюмокислому стрессу не связана со средообразующей активностью корней, а обусловлена другими механизмами, например, компартментацией алюминия внутри вакуоли клеток корней. Однако у его регенерантной формы проявление алюмотолерантности не выражено.

Заключение. Для повышения эффективности использования клеточных технологий в скрининге и создании сортов ярового ячменя, устойчивых к токсичности кислых почв, целесообразным является вовлечение в процесс клеточной селекции генотипов с низким уровнем стрессоустойчивости и потенциально высокой адаптивной изменчивостью.

## Список литературы

1. Никитина Е.Д., Хлебова Л.П., Ерещенко О.В. Разработка отдельных элементов технологии клеточной селекции яровой пшеницы на устойчивость к абиотическим стрессам // Известия Ал-

тайского государственного университета. 2014. Т. 2.  $\mathbb{N}_2$  3. С. 50-54.

- 2. Neelakandan Anjanasree K., Wang Kan. Recent progress in the understanding of tissue culture-induced genome level changes in plants and potential applications // Plant Cell Rep (2012) 31:597-620. DOI: 10.1007/s00299-011-1202-z.
- 3. Шаяхметов И.Ф. Соматический эмбриогенез и селекция злаковых культур. Уфа: Изд-во Башкирского ун-та, 1999. 166 с.
- 4. Неттевич Э.Д. Избранные труды. Селекция и семеноводство яровых зерновых культур. М.: Немчиновка, НИИСХ ЦРНЗ, 2008. 348 с.
- 5. Родина Н.А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. 488 с.
- 6. Соколова Т.А., Толпешта И.И., Трофимов С.Я. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и в почвенном растворе. Изд. 2-е, испр. и доп. Тула: Гриф и К, 2012. 124 с.

- 7. Li Y.Y., Zhang Y.J., Zhou Y., Yang J.L., Zheng S.J. Protecting cell walls from binding aluminum by organic acids contributes to aluminum resistance // Journal of Integrative Plant Biology. 2009. V. 51. P. 574-580.
- 8. Широких И.Г., Шуплецова О.Н., Щенникова И.Н. Получение *in vitro* форм ячменя, устойчивых к токсическому действию алюминия в кислых почвах // Биотехнология. 2009. № 3. С. 40-48.
- 9. Шуплецова О.Н., Щенникова И.Н., Широких И.Г. Создание генотипов ячменя с комплексной устойчивостью к эдафическим стрессам методом клеточной селекции // Российская с.-х. наука. 2015. № 1-2. С. 16-20.
- 10. Щенникова И.Н., Шуплецова О.Н., Кунилова А.В. Регенеранты ячменя исходный материал для селекции сортов в условиях меняющегося климата // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2013. № 3 (34). С. 9-11.
- 11. Баталова Г.А. Селекция растений в условиях нестабильности агроклиматических ресурсов // Зернобобовые и крупяные культуры. 2012. № 3. С. 20-25.

### Сведения об авторах:

Шуплецова Ольга Наумовна 1,2, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, e-mail:olga.shuplecova@mail.ru,

Щенникова Ирина Николаевна <sup>1,3</sup>, доктор с.-х. наук, старший научный сотрудник

<sup>1</sup>ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», ул. Московская, д.36, г. Киров, Российская Федерация, 610000,

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», Октябрьский пр-кт, 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017, e-mail: info@vgsha.info

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka, 2018. Vol. 65, no. 4, pp. 42-48.

doi: 10.30766/2072-9081.2018.65.4.42-48

# Environment-forming activity of barley regenerants root systems in the conditions of acid soils toxicity

# O.N. Shupletsova<sup>1,2,</sup> I.N. Shchennikova<sup>1,3,</sup>

<sup>1</sup>Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation,

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State University», Kirov, Russian Federation,

<sup>3</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State Agricultural Academy», Kirov, Russian Federation

Regenerative lines of barley 917-01, 781-04, 441-05, 530-98 obtained by cell selection on acid selective media with aluminum, were evaluated with regard to the original sorts 999-93, Novichok and standard Bios 1 in the laboratory, vegetative and field experiments. The dynamics of changes in the medium acidity by the roots of barley seedlings and their biometric indicators against the control (pH 6.0) and stress (pH 4.0 and pH 4.0 + Al<sup>3+</sup> 20 mg/l) backgrounds were studied in the aquatic culture. Regenerated 917-01 and 781-04 were alkalinizing water actively (by 2.4-2.5 pH units) against the background of intensive root growth compared to the control (43%) and biomass accumulation (10%). The solution acidity of Novichok and its regenerantive genotype 441-05 was changing slightly. In vegetation experiments, the environment-forming activity of the regenerative line 530-98 in changing the acidity and content of free aluminum in the zone of the rhizosphere was studied. On soil background with pH 3.9 and Al<sup>3+</sup> 5.6 mg/100 g of soil the level of alkalization reached 0.7 units of pH at decrease in

amount of free aluminum by 4.23 mg / 100 g of soil that 1.8 times exceeded the similar indicators of the standard Bios 1. With stress intensification, the increased productivity of the regenerant relative to the standard up to 2 times was revealed (by 0.66 t/ha on the soil background at pH 3.7 and Al 21 mg/100 g of soil). In favorable conditions of cultivation, the productivity of regenerants decreased relative to the standard. In the competitive tests the regenerative genotypes 917-01 and 530-98, possessing high medium forming activity of the root system, were among the best breeding numbers. Line 917-01 received the status of the sort (the Forward). Not all regenerants possessed breeding value. Selection in vitro of Al- resistant sort Novichok has not led to positive results. The conclusion about expediency of involvement in cellular selection of genotypes with low level of stress resistance and potentially high adaptive variability has been made.

**Key words:** barley, regenerative lines, soil acidity, aluminum, environment-forming activity, yield, stress resistance

#### References

- 1. Nikitina E.D., Khlebova L.P., Ereshchenko O.V. Razrabotka otdel'nykh elementov tekhnologii kletochnoy selektsii yarovoy pshenitsy na ustoychivost' k abioticheskim stressam. [The development of some technology elements of the spring wheat cell selection for resistance to abiotic stresses]. Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. Vol. 2. no. 3. pp. 50-54.
- 2. Neelakandan Anjanasree K., Wang Kan. Recent progress in the understanding of tissue culture-induced genome level changes in plants and potential applications. Plant Cell Rep (2012) 31:597-620. DOI: 10.1007/s00299-011-1202-z.
- 3. Shayakhmetov I.F. Somaticheskiy embriogenez i selektsiya zlakovykh kul'tur. [Somatic embryogenesis and selection of cereals]. Ufa: Izd-vo Bashkirsk. un-ta, 1999. 166 p.
- 4. Nettevich E.D. *Izbrannye trudy. Selektsiya i semenovodstvo yarovykh zernovykh kul'tur*. [Selected works. Breeding and seed production of spring crops]. Moscow: *Nemchinovka*, *NIISKh TsRNZ*, 2008. 348 p.
- 5. Rodina N.A. Selektsiya yachmenya na Severo-Vostoke Nechernozem'ya. [Barley breeding in the North-East of the non-Chernozem region]. Kirov: Zonal'nyy NIISKh Severo-Vostoka, 2006. 488 p.
- 6. Sokolova T.A., Tolpeshta I.I., Trofimov S.Ya. Pochvennaya kislotnost'. Kislotno-osnovnaya buffernost' pochv. Soedineniya alyuminiya v tverdoy faze pochvy i v pochvennom rastvore. [Soil acidity. Acidbase buffering of soils. Aluminum compounds in the

- solid phase of the soil and in the soil solution]. *Izd. 2-e, ispr. i dop.* Tula: *Grif i K*, 2012. 124 p.
- 7. Li Y.Y., Zhang Y.J., Zhou Y., Yang J.L., Zheng S.J. Protecting cell walls from binding aluminum by organic acids contributes to aluminum resistance. Journal of Integrative Plant Biology. 2009. Vol. 51. pp. 574-580.
- 8. Shirokikh I.G., Shupletsova O.N., Shchennikova I.N. *Poluchenie in vitro form yachmenya, ustoychivykh k toksicheskomu deystviyu alyuminiya v kislykh pochvakh*. [In vitro obtaining of barley tolerant to Al in acidic soil]. *Biotekhnologiya*. 2009. no. 3. pp. 40-48.
- 9. Shupletsova O.N., Shchennikova I.N., Shirokikh I.G. Sozdanie genotipov yachmenya s kompleksnoy ustoychivost'yu k edaficheskim stressam metodom kletochnoy selektsii. [Creation of barley genotypes with complex resistance to edaphic stresses by methods of cell culture]. Rossiyskaya. s.-kh. nauka. 2015. no. 1-2. pp. 16-20.
- 10. Shchennikova I.N., Shupletsova O.N., Kunilova A.V. Regeneranty yachmenya iskhodnyy material dlya selektsii sortov v usloviyakh menyayushchegosya klimata. [Barley regenerants as the raw material for breeding varieties under conditions of a changing climate]. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2013. no. 3 (34). pp. 9-11.
- 11. Batalova G.A. Selektsiya rasteniy v usloviyakh nestabil'nosti agroklimaticheskikh resursov. [Selection of plants under conditions of instability of agroclimatic resources]. Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2012. no. 3. pp. 20-25.

### Information about the authors:

O.N. Shupletsova<sup>1,2</sup>, PhD in Biology, senior researcher, e-mail: olga.shuplecova@mail.ru, I.N. Shchennikova<sup>1,3</sup>, DSc in Agriculture sciences, senior researcher

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State University», Moskovskaya street, 36, Kirov, Russian Federation, 610000,

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State Agricultural Academy», Oktyabrsky Avenue, 133, Kirov, Russian Federation, 610017, e-mail: info@vgsha.info