

Вестник Курганской ГСХА. 2026. № 1 (57). С. 3–11
Vestnik Kurganskoy GSNA. 2026; (1-57): 3–11

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 633.13:574/578

Код ВАК 4.1.1

DOI: 10.52463/2227-4227_2026_57_3_11

EDN: CRAXZV

ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ГОЛОЗЕРНЫХ ГЕНОТИПОВ ОВСА
К ТОКСИЧЕСКОМУ ПРОЯВЛЕНИЮ ИОНОВ АЛЮМИНИЯАнастасия Андреевна Ахтямова¹✉, Юлия Владимировна Савельева²

^{1, 2} Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал
Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского
отделения Российской академии наук, Тюмень, Россия

¹ gen.i72@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-0297-6958>

² savelyeva25@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8445-3754>

Аннотация. Цель исследований – изучить стрессоустойчивость голозерных генотипов овса к воздействию ионов алюминия в ювенильный период. Оценку проводили на базе молодежной лаборатории геномных исследований в растениеводстве Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала Тюменского научного центра сибирского отделения Российской академии наук в 2025 году. Объектом испытаний были 28 генотипов голозерного овса посевного из 8 стран. Зерно проращивали рупонным методом в электрическом суховоздушном термостате ТС-1/80 СПУ при температуре 20°C, согласно ГОСТ 12038-85. Водные растворы для проращивания образцов овса готовили из сульфата алюминия ($Al_2(SO_4)_3$) с концентрацией ионов алюминия 4, 9 и 15 ммоль/л. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. По истечении семи дней производили замер длины наибольшего корня каждого растения на всех вариантах и расчет индекса длины корня. На протяжении проращивания сформировалась биомасса корней и побегов, которую высушили до воздушно-сухого состояния и рассчитывали индекс соотношения массы корней и побегов (СКП). Установлены наиболее восприимчивые к воздействию ионов алюминия генотипы овса из Китая – Yuan za 1 (15656), Yuan za 2 (15647); Словакии – Dunajec (15643); Франции – Avoine nue grosse (2122) и России – Пибанд (15440). При концентрации ионов алюминия 4 ммоль/л значения индекса длины корня достигали 38–48 % относительно контроля. Дальнейшее увеличение концентрации Al^{3+} (9 ммоль/л) привело к достоверному снижению индекса до 10–23 %. Наиболее устойчивыми к воздействию ионов алюминия на раннем этапе онтогенеза были генотипы голозерного овса из России – 63h11 (к-15814), 21h12o (к-15810); Китая – Hull-less (к-1927), Ba you 14 (к-15666) и Великобритании – Lennop (к-15631). В условиях высокой концентрации ионов алюминия (9 ммоль/л) индекс длины корня снижался с 68–75 (4 ммоль/л) до 32–47 % относительно контроля.

Ключевые слова: овес посевной (*Avena sativa* L.), абиотические факторы, стресс растений, ионы алюминия, индекс длины корня.

Благодарности: исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 24-76-00048.

Для цитирования: Ахтямова А.А., Савельева Ю.В. Восприимчивость голозерных генотипов овса к токсическому проявлению ионов алюминия // Вестник Курганской ГСХА. 2026. № 1(57). С. 3–11. DOI: 10.52463/2227-4227_2026_57_3_11. EDN: CRAXZV.

Scientific article

RESPONSE OF NAKED-GRAIN OAT GENOTYPES TO TOXIC EFFECTS
OF ALUMINUM IONSAnastasia A. Akhtyamova¹✉, Yulia V. Savelyeva²

^{1, 2} Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals is a branch of the Federal
Research Center of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of
Sciences, Tyumen, Russia

¹ gen.i72@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-0297-6958>

² savelyeva25@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8445-3754>

Abstract. The purpose of the research is to study the stress resistance of naked oat genotypes to the effects of aluminum ions in the juvenile period. The assessment was carried out on the basis of the youth laboratory of genomic research in crop production at the Scientific Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Urals, a Branch of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences in 2025. The object of the tests was 28 genotypes of naked oats from 8 countries. The seeds were germinated by the roll towel method in an electric dry-air thermostat TS-1/80 SPU at a temperature of 20°C, according to GOST 12038-85. Aqueous solutions for oat samples germina-

tion were prepared from aluminum sulfate ($Al_2(SO_4)_3$) with aluminum ion concentrations of 4, 9 and 15 mol/L. Distilled water was used as a control. After 7 days, the length of the largest root of each plant was measured in all variants and the root length index was calculated. During germination, a biomass of roots and shoots was formed, which was dried to an air-dry state and the root to shoot ratio index (RSR) was calculated. The most susceptible to the effects of aluminum ions are the oat genotypes from China – Yuan za 1 (15656), Yuan za 2 (15647); Slovakia – Dunajec (15643); France – Avoine nue grosse (2122) and Russia – Piband (15440). At an aluminum ion concentration of 4 mmol/L, the values of the root length index reached 38-48% relative to the control. A further increase in the concentration of Al^{3+} (9 mmol/L) led to a significant decrease in the index to 10-23%. The most resistant to the effects of aluminum ions at the early stage of ontogenesis were the genotypes of naked oats from Russia – 63h11 (k-15814), 21h12o (k-15810); China – Hull-less (k-1927), Ba you 14 (k-15666) and Great Britain – Lennon (k-15631). Under conditions of high concentration of aluminum ions (9 mmol/L), the root length index decreased from 68-75 (4 mmol/L) to 32-47% relative to the control.

Keywords: oats (*Avena sativa* L.), abiotic factors, plant stress, aluminum ions, root length index.

Acknowledgments: the research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 24-76-00048.

For citation: Akhtyamova A.A., Savelyeva Yu.V. Response of naked-grain oat genotypes to toxic effects of aluminum ions // Vestnik Kurganskoy GSNA. 2026; (1-57): 3–11. DOI: 10.52463/2227-4227_2026_57_3_11. EDN: CRAXZV. (In Russ).

Введение. Алюминий имеет повсеместное распространение на Земле и входит в состав алюмосиликатов, глинистых минералов, полевых шпатов и оксидов [1]. Под воздействием воды, ветра, перепадов температуры, почвенных кислот и высокой антропогенной нагрузки происходит высвобождение алюминия. В почвах с высокой кислотностью (подзолистые, серые лесные) в результате гидролиза ионы водорода (H^+) вытесняют ионы алюминия (Al^{3+}) из кристаллической решетки и переводят их в доступную для растений форму [2; 3]. Потенциальная кислотность подзолистых почв преимущественно обусловлена ионами алюминия, и их содержание достигает более 30 мг/100 г почвы [4; 5].

В Северном Зауралье широко распространены серые лесные почвы, которые активно вовлечены в сельскохозяйственный оборот [6]. Высокая антропогенная нагрузка в совокупности с естественными почвообразовательными процессами и низкими объемами проведения химической мелиорации приводит к деградации почв [7–9]. По данным Росреестра, в результате проведенных обследований территории пахотных угодий Тюменской области (1160,8 тыс. га) было установлено, что доля кислых почв достигает 72 %.

Присутствие ионов алюминия в почве оказывает негативное влияние на рост и развитие корневой системы, что препятствует их проникновению в более глубокие слои почвы в поисках влаги и питательных веществ [10; 11]. Начиная с ранних этапов развития растений, под влиянием ионов алюминия в корневой системе происходят патологические изменения: нарушается клеточный метаболизм, замедляется фосфорилирование сахаров и накопление питательных веществ в клетках [12]. Эти нарушения негативно сказываются на обмене веществ и протекании жизненно важных физиологических и биохимических процессов [13; 14].

Овес имеет многоцелевое применение, а в последние годы набирает все большую популярность как продукт для здорового питания и при формировании безглютеновых диет [15; 16]. Технологическая обработка пленчатого зерна сопря-

жена с удалением цветочной пленки, за счет чего выход готовой продукции снижается на 50 % [17]. В связи с этим повышается интерес товаропроизводителей на голозерные генотипы овса. Присутствие ионов алюминия в почве негативно отражается на генетически заложенный потенциал растений. Поэтому поиск наиболее устойчивых к ионам алюминия генотипов овса позволит применять их в направленной селекции.

Цель исследований – изучить стрессоустойчивость голозерных генотипов овса к воздействию ионов алюминия в ювенильный период.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить ряд задач: рассчитать индекс длины корня; соотношение массы корней и побегов; на основании полученных данных провести оценку алюмоустойчивости голозерных генотипов овса.

Материалы и методы. Оценка влияния ионов алюминия на растения голозерных генотипов овса проводили на базе молодежной лаборатории геномных исследований в растениеводстве НИИСХ СЗ – филиал ТюмНЦ СО РАН в 2025 году. Объектом испытаний были 28 генотипов овса посевного из 8 стран: Россия – 11; Китай – 8; Словакия – 3; США – 2 и по одному из Монголии, Франции, Великобритании, Польши (рисунок 1). Генотипы голозерного овса были предоставлены Всероссийским институтом генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР), а также оригинаторами сортов РФ.

Исследования проводили по ГОСТ 12038-85 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». Зерно проращивали рулонным методом в электрическом суховоздушном термостате ТС-1/80 СПУ при температуре 20 °С. Водные растворы для проращивания образцов овса готовили из сульфата алюминия ($Al_2(SO_4)_3$) с концентрацией ионов алюминия 4, 9 и 15 моль/л. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. По истечении семи дней у проростков был произведен замер длины наибольшего корня каждого растения на всех вариантах и контроле. Расчет индекса длины корня проводили по формуле 1.

$$ИДК = \frac{L_{оп}}{L_{к}} \times 100\%, \quad (1)$$

где $L_{оп}$ – длина корня опытного образца, мм;
 $L_{к}$ – длина корня контрольного образца, мм [18].

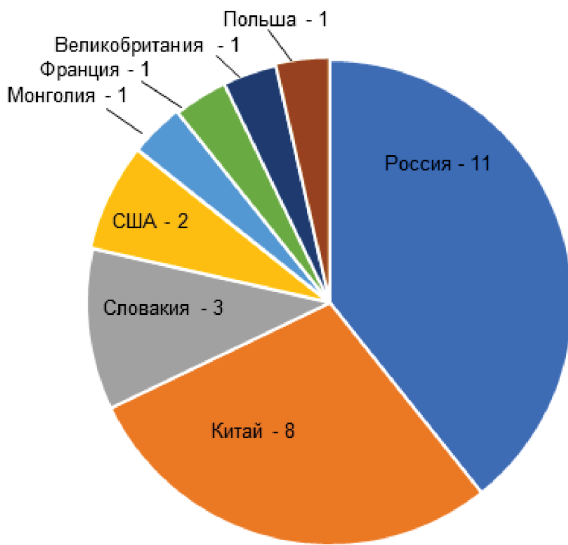


Рисунок 1 – Распределение генотипов изучаемого голозерного овса по происхождению, шт.

Figure 1 – Distribution of naked oat genotypes under study by origin, pcs

Для определения индекса соотношения массы корней и побегов (СКП) семидневных генотипов овса была проведена предварительная сушка растительного материала при 100 °С до воздушно-сухого состояния. Расчет индекса соотношения массы корней и побегов проводили по формуле 2.

$$СКП = \frac{m_{корней}}{m_{побегов}}, \quad (2)$$

где $m_{корней}$ – масса высушенных корней, г;
 $m_{побегов}$ – масса высушенных побегов, г.

Кластеризация результатов исследований была проведена по комплексу показателей с использованием программы Statistica (StatSoft, Inc., 2014). Математическую обработку, дисперсионный анализ данных проводили в программе Microsoft Excel с надстройкой и AgCStat.

Результаты исследований и их обсуждение.

При взаимодействии голозерного овса с ионами алюминия на раннем этапе онтогенеза наблюдалось снижение ростовых процессов относительно контрольных значений. В условиях стресс-фактора развитие первичных корешков было подавленным и провоцировало ступенчатое снижение их длины. Корешки у семидневных проростков видоизменялись – они приобретали желтоватый оттенок и утолщались. При прорастании зерна развивает-

ся колеоптиль, который выглядит как пленчатый конус и защищает листочки растений от вредных патогенов и механических повреждений при прорастании из почвы. Достигая поверхности почвы, колеоптиль раскрывается, выпуская листочки, и отмирает. При взаимодействии с ионами алюминия интенсивность роста колеоптиля была значительно ниже контроля и происходила его деструкция (рисунок 2). Преждевременное разрушение колеоптиля провоцирует высвобождение первых листочков в слоях почвы, что негативно отражается на формировании побегов и приводит их к деформации.



Рисунок 2 – Семидневный проросток генотипа овса 21h12o (к-15810) при использовании концентрации ионов алюминия 15 ммоль/л

Figure 2 – A seven-day seedling of the oat genotype 21h12o (k-15810), using an aluminum ion concentration of 15 mmol/L

Поэтому произведение расчета индекса длины корня (ИДК) относительно контрольных значений 28 голозерных генотипов овса, выращенных в растворах с концентрацией ионов алюминия 4, 9 и 15 ммоль/л, позволило реализовать кластерный анализ по методу Варда (рисунок 3). В результате кластеризации изучаемые генотипы овса разделились на две группы с расстоянием 300 единиц. В первый кластер (К I) вошло 19 генотипов голозерного овса, у которых значения ИДК на варианте с концентрацией ионов алюминия 4 ммоль/л варьировались от 43 до 75 % относительно контроля (таблица).

В данной группе наиболее устойчивыми к стресс-фактору в К I и отделившейся на 180 единиц были генотипы овса из России – 63h11 (к-15814), 21h12o (к-15810); Китая – Hull-less (к-1927), Ba you 14 (к-15666) и Великобритании – Lennon (к-15631). Значения ИДК данных генотипов на варианте с низкой концентрацией варьировались

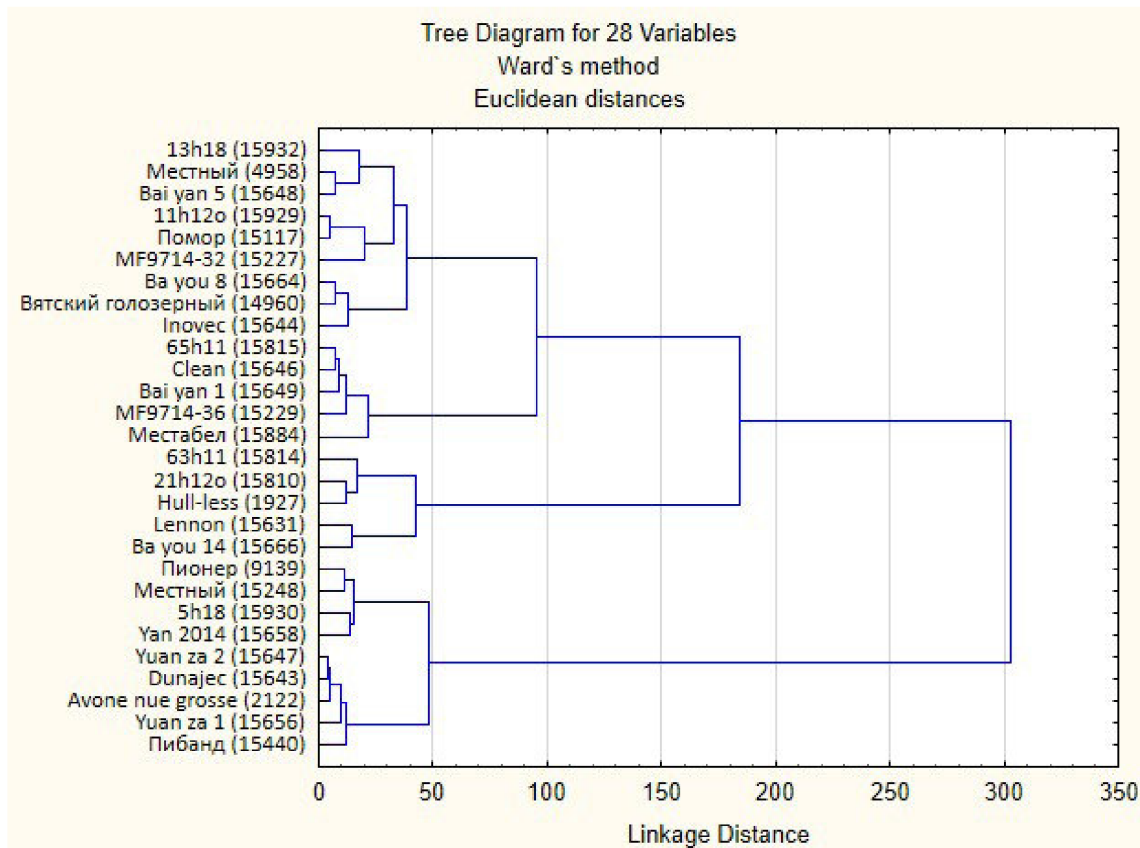


Рисунок 3 – Кластеризация голозерных генотипов овса по индексу длины корня при различных концентрациях ионов алюминия в растворе, полученная в программе Statistica (StatSoft, Inc., 2014)
Figure 3 – Naked oat genotype clusterization by root length index at different concentrations of aluminum ions in solution, obtained using the Statistica program (StatSoft, Inc., 2014)

от 68 до 75 % относительно контроля. При увеличении концентрации ионов алюминия в растворе до 9 ммоль/л сохранялась та же тенденция по алюмоустойчивости у данной группы ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$ при $p = 0,05$).

Во второй кластер (К II) вошли 9 генотипов голозерного овса, у которых значения ИДК на варианте с концентрацией Al^{3+} 4 ммоль/л составили 38–48 % относительно контроля, что значительно ниже, чем у образцов овса, входящих в К I. Увеличение концентрации ионов алюминия до 9 ммоль/л привело к снижению ИДК до 10–23 % относительно контроля, что в 1,6–2,0 раза меньше показателей генотипов овса, входящих в первый кластер (К I). Наиболее восприимчивыми к воздействию ионов алюминия в данной группе были генотипы овса из Китая – Yuan za 1 (15656), Yuan za 2 (15647); Словакии – Dupajec (15643); Франции – Avoine nue grosse (2122) и России – Пибанд (15440).

Проращивание голозерных генотипов овса с высоким содержанием ионов алюминия в растворе (15 ммоль/л) негативно отразилось на росте корневой системы, и на седьмые сутки значения ИДК составили 4–19 % относительно контроля. Корреляционный анализ позволил установить,

что средние значения индекса длины корня семидневных проростков голозерных генотипов овса соответствовали сильной степени обратной связи ($-0,96$) и зависели от концентрации ионов алюминия в растворе – $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$ ($p = 0,05$).

Одним из важных показателей оценки влияния стресс-фактора на голозерные генотипы овса в ювенильный период является индекс соотношения массы корней и побегов (СКП). В связи с оттоком питательных веществ из корневой системы для формирования зеленой массы возникает дисбаланс массы в сторону надземной части. Под воздействием ионов алюминия происходит деформация первичных корешков, что препятствует оттоку питательных веществ и негативно отражается на темпах развития растения. Индекс СКП семидневных генотипов овса, проросших на контроле (дистиллированная вода), варьировался от 0,4 до 1,1 ед. (рисунок 4). Столь большой диапазон обусловлен сортовой особенностью голозерных генотипов овса. Коэффициент парной корреляции массы корней и побегов семидневных растений овса соответствовал сильной степени связи ($r = 0,95$).

Независимо от изучаемого генотипа овса,

Таблица – Индекс длины корня голозерных генотипов овса в зависимости от возрастающей концентрации ионов алюминия в растворе, % относительно контроля

Table – Root length index of naked oat genotypes depending on the increasing concentration of aluminum ions in solution, % relative to the control

№ п/п	Сорт (номер по каталогу ВИР) (фактор В)	Страна происхождения	Концентрация Al^{3+} в растворе, ммоль/л (фактор А)		
			4	9	15
1	13h18 (к-15932)	Россия	57	32	13
2	Местный (к-4958)	Монголия	56	27	9
3	Bai yan 5 (к-15648)	Китай	54	29	9
4	11h12o (к-15929)	Россия	51	27	10
5	Помор (к-15117)	Россия	49	27	11
6	MF9714-32 (к-15227)	США	43	26	8
7	Ba you 8 (к-15664)	Китай	55	20	8
8	Вятский голозерный (к-14960)	Россия	52	19	12
9	Иновес (к-15644)	Словакия	58	20	12
10	65h11 (к-15815)	Россия	63	22	18
11	Clean (к-15646)	Словакия	65	18	9
12	Bai yan 1 (к-15649)	Китай	61	18	12
13	MF9714-36 (к-15229)	США	66	22	12
14	Местабел (к-15884)	Россия	69	16	6
15	63h11 (к-15814)	Россия	75	36	14
16	21h12o (к-15810)	Россия	72	32	16
17	Hull-less (к-1927)	Китай	72	35	19
18	Lenpon (к-15631)	Великобритания	68	47	7
19	Ba you 14 (к-15666)	Китай	71	41	7
20	Пионер (к-9139)	Россия	44	21	9
21	Местный (к-15248)	Польша	48	23	10
22	5h18 (к-15930)	Россия	48	17	4
23	Yan 2014 (к-15658)	Китай	42	15	7
24	Yuan za 2 (к-15647)	Китай	38	10	9
25	Dunajec (к-15643)	Словакия	39	11	9
26	Avoine nue grosse (к-2122)	Франция	38	11	9
27	Yuan za 1 (к-15656)	Китай	40	15	6
28	Пибанд (к-15440)	Россия	38	10	7
Среднее в группе, n=28			55	23	10
НСР05 по фактору А=0,2 %; НСР05 по фактору В=0,1 %; НСР05 по взаимодействию АВ=2,3 %					

проращивание растений в растворах с возрастающей концентрацией ионов алюминия от 4 до 15 ммоль/л приводило к постепенному снижению соотношения массы корней и проростков до 0,3–0,7 ед., что обусловлено уменьшением массы пер-

вичных корешков. Коэффициент парной корреляции (масса корней и побегов) был равен 0,76, что соответствовало умеренной степени связи. При стресс-факторе в присутствии ионов алюминия происходит дисфункция зоны роста и деления

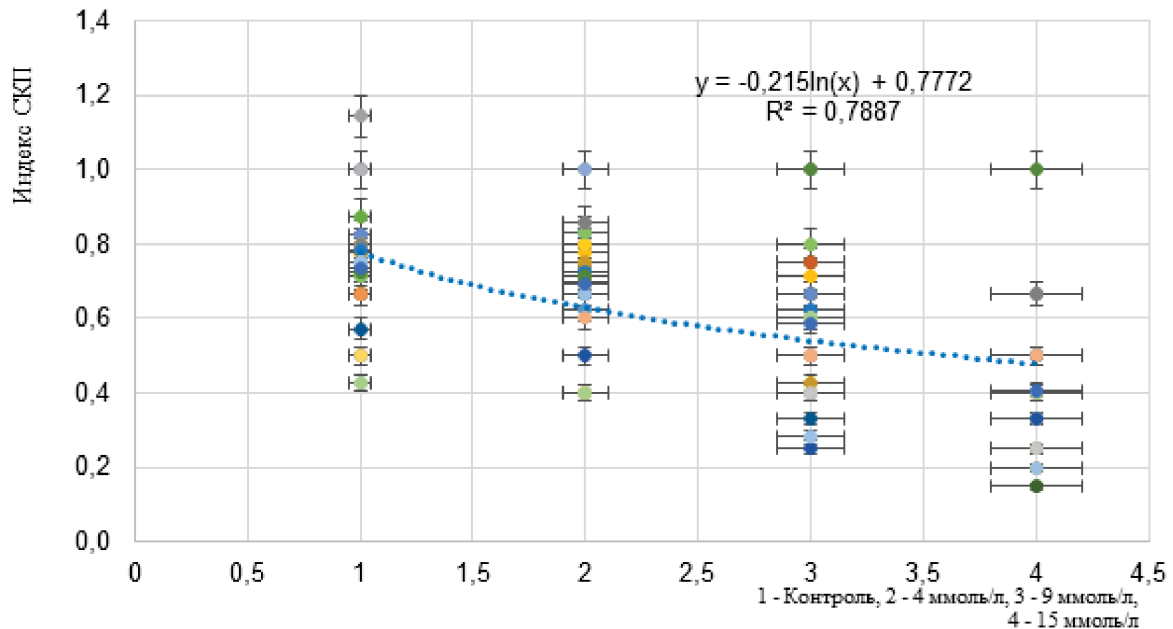


Рисунок 4 – Индекс соотношения массы корней и побегов голозерных генотипов овса в зависимости от возрастающей концентрации ионов алюминия (при 5 % уровне погрешности)

Figure 4 – Root to shoot index of naked oat genotypes depending on the increasing concentration of aluminum ions (with a 5% error level)

клеток, что впоследствии будет препятствовать проникновению корневой системы в более глубокие слои почвы. У генотипов из России – 5h18 (к-15930), Словакии – Clean (к-15646), Китая – Ya you 14 (к-15666) и Монголии – Местный (к-4958) с увеличением концентрации Al^{3+} наблюдалось стремительное снижение массы корешков и побегов, что позволило индексу СКП остаться на высоком уровне 0,7–1,0.

В ходе исследований была установлена связь между возрастающей концентрацией ионов алюминия и индексом соотношения массы корней и побегов голозерных генотипов овса, сформированных на протяжении семи суток прорастания. Регрессионное логарифмическое уравнение (3), достоверно в диапазоне содержания ионов алюминия в растворе от 4 до 15 ммоль/л. Коэффициент аппроксимации (R^2) составил 0,7887.

$$y = -0,215 \ln(x) + 0,7772, \quad (3)$$

где y – индекс соотношения массы корней и побегов, %;

x – концентрация Al^{3+} в растворе, ммоль/л.

Заключение. Установлено, что наиболее восприимчивыми к воздействию ионов алюминия были генотипы овса из Китая – Yuan za 1 (15656), Yuan za 2 (15647); Словакии – Dunajec (15643); Франции – Avoine nue grosse (2122) и России – Пибанд (15440). При концентрации ионов алюминия 4 ммоль/л значения индекса длины корня достигли 38–48 % относительно контроля, дальнейшее

увеличение Al^{3+} (9 ммоль/л) привело к достоверному снижению показателя до 10–23 %.

Наиболее устойчивыми к воздействию ионов алюминия на раннем этапе онтогенеза были генотипы голозерного овса из России – 63h11 (к-15814), 21h12o (к-15810); Китая – Hull-less (к-1927), Ya you 14 (к-15666) и Великобритании – Lennop (к-15631). В условиях высокой концентрации ионов алюминия (9 ммоль/л) индекс длины корня снижался с 68–75 (4 ммоль/л) до 32–47 % относительно контроля.

Для оценки алюмоустойчивости голозерных генотипов овса на раннем этапе онтогенеза в лабораторных условиях лучше использовать концентрации ионов алюминия в растворе 4 и 9 ммоль/л. Наиболее информативным показателем для оценки голозерного овса на устойчивость к токсическому действию ионов алюминия являются значения индекса длины корня.

Установлена связь ($R^2=0,7887$) между возрастающей концентрацией ионов алюминия и индексом соотношения массы корней и побегов голозерных генотипов овса, сформированных на протяжении семи суток прорастания. Регрессионное логарифмическое уравнение достоверно в диапазоне содержания ионов алюминия в растворе от 4 до 15 ммоль/л и соответствует (y – индекс соотношения массы корней и побегов, %; x – концентрация Al^{3+} в растворе, ммоль/л).

Рекомендуем наиболее устойчивые генотипы овса к включению в селекционные программы

по созданию алюмоустойчивых голозерных сортов: 63h11 (к-15814), 21h12o (к-15810), Hull-less (к-1927), Ba you 14 (к-15666), Lennon (к-15631).

Список источников

1. Широких И.Г., Ашихмина Т.Я. Повышение толерантности растений к алюминию на кислых почвах методами биотехнологии (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 2. С. 12-19. EDN: WEFVRVZ.
2. Шкуркин С.И., Носиков В.В., Торшин С.П. Основоположник коллоидной химии почв // Плодородие. 2022. № 2 (125). С. 71-73. DOI: 10.25680/S19948603.2022.125.17. EDN: TPZPJT.
3. Кластер Н.И., Азаров В.Б., Лоткова В.В. Изменение кислотности чернозема типичного и формирование урожайности зерновых культур при биологической системе земледелия в условиях Центрально-черноземной зоны // Земледелие. 2023. № 5. С. 42-45. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-5-42-45. EDN: TGSEGX.
4. Окорков В.В. К теории химической мелиорации кислых почв // Агрохимия. 2019. № 9. С. 3-17. DOI: 10.1134/S0002188119090096. EDN: LGXHCXG.
5. Ахтямова А.А. Влияние ионов алюминия на ростовую активность растений овса Тюменской селекции // Приоритетные направления повышения эффективности, конкурентоспособности и устойчивости аграрной отрасли: материалы международной научной конференции. Санкт-Петербург: ООО Издательский дом «Сциентиа», 2025. С. 9-12. DOI: 10.32415/scientia_978-5-907902-43-5(9-12). EDN: RFBYQG.
6. Каюгина С.М., Еремин Д.И. Физико-химические свойства серых лесных почв восточной окраины Зауральского Плато // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2022. Т. 15. № 4. С. 471-490. DOI: 10.17516/1997-1389-0399. EDN: YOCLPO.
7. Expatiating the impact of anthropogenic aspects and climatic factors on long-term soil monitoring and management / S. Bungau [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-14127-7. EDN: CUULAD.
8. Еремин Д.И., Каюгина С.М. Вариабельность свойств серых лесных почв Зауралья: монография. Тюмень: НИИСХ СЗ – филиал ТЮМНЦ СО РАН. 2024. 202 с. ISBN 978-5-4266-0227-4. EDN: JXSMWC.
9. Изменение плодородия лугово-черноземной почвы под влиянием препарата «почвоулучшитель» и удобрений / И.С. Семенов [и др.] // Нива Поволжья. 2025. № 3 (75). DOI: 10.36461/NP.2025.75.3.007. EDN: SJOUVJ.
10. Aluminum in plant: Benefits, toxicity and tolerance mechanisms / R. Ofoe [et al.] // Frontiers in Plant Science. 2023. Vol. 13. DOI: 10.3389/fpls.2022.1085998. EDN: TQZZSP.
11. Ахтямова А.А. Влияние ионов алюминия на ростовую активность растений овса // Современные технологии и технические решения для агропромышленного комплекса: материалы Международной научно-практической конференции. Ижевск: Изд-во Удмуртского ГАУ, 2024. С. 110-115. EDN: UAFEIK.
12. Яковлева О.В. Генетический контроль признака алюмоустойчивости у образцов ярового ячменя // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2025. Т. 186. № 1. С. 170-176. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-170-176. EDN: PGAGWI.
13. Aluminum tolerance and micronutrient content in the grain of oat cultivars with different levels of breeding improvement from the VIR collection / I.G. Loskutov [et al.] // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2022. Vol. 183. No. 3. P. 96-110. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-96-110. EDN: WCLSXA.
14. Ахтямова А.А., Еремин Д.И. Реакция овса на возрастающий уровень концентрации ионов алюминия в ювенильный период развития // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4 (36). С. 18-27. DOI: 10.5281/zenodo.10259000. EDN: GIPGBQ.
15. Кормовая продуктивность и энергетическая питательность селекционных образцов овса посевного (*Avena sativa* L.) в условиях Северного Зауралья / М.Н. Фомина [и др.] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024. Т. 185. № 2. С. 116-127. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-116-127. EDN: ISJLVL.
16. Commercial oats in gluten-free diet: A persistent risk for celiac patients / Ju.M. Rodríguez [et al.] // Frontiers in Nutrition. 2022. Vol. 9. DOI: 10.3389/fnut.2022.986282. EDN: LUURKI.
17. Голозерный овес, его технологические особенности и потребительские свойства / М.А. Кузьмич [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. 2025. № 3 (55). С. 80-87. DOI: 10.24412/2309-348X-2025-3-80-87. EDN: OYUYPZ.

18. Ахтямова А.А., Еремин Д.И., Савельева Ю.В. Сортовая реакция овса тюменской селекции на возрастающие концентрации ионов алюминия в ювенильный период // *Зерновое хозяйство России*. 2025. Т. 17. № 4. С. 47-53. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-47-53. EDN: BWGMJR.

References

1. Shirokih I.G., Ashikhmina T.Ya. Povyshenie tolerantnosti rastenii k alyuminiyu na kislykh pochvakh metodami biotekhnologii (obzor) [Improving plant tolerance to aluminum in acidic soils using biotechnology methods (review)]. *Theoretical and applied ecology*. 2016; (2): 12-19. EDN: WEFVZ. (In Russ).

2. Shkurkin S.I., Nosikov V.V., Torshin S.P. Osnovopolozhnik kolloidnoi khimii pochv Plodorodie [The founder of colloidal chemistry of soils Fertility]. *Plodorodie*. 2022; 2(125): 71-73. DOI: 10.25680/S19948603.2022.125.17. EDN: TPZPJT. (In Russ).

3. Kloster N.I., Azarov V.B., Lotkova V.V. Izmenenie kislotsnosti chernozema tipichnogo i formirovanie urozhainosti zernovykh kul'tur pri biologicheskoi sisteme zemledeliya v usloviyakh Tsentral'no-chernoemnoi zony [Changes in the acidity of typical chernozem and the formation of grain crop yields under a biological farming system in the conditions of the Central Black Earth Zone]. *Zemledelie*. 2023; (5): 42-45. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-5-42-45. EDN: TGSEGX. (In Russ).

4. Okorkov V.V. K teorii khimicheskoi melioratsii kislykh pochv [Towards a theory of chemical melioration of acidic soils]. *Agrokhimia*. 2019; (9): 3-17. DOI: 10.1134/S0002188119090096. EDN: LGXHCG. (In Russ).

5. Akhtyamova A.A. Vliyanie ionov alyuminiya na rostovuyu aktivnost' rastenii ovsa Tyumenskoi seleksii [The influence of aluminum ions on the growth activity of oat plants bred in Tyumen]. Proceedings of the international scientific conference «Priority areas for improving the efficiency, competitiveness, and sustainability of the agricultural sector». Saint Petersburg: OOO Izdatel'skii dom «Stsientia»; 2025: 9-12. DOI: 10.32415/scientia_978-5-907902-43-5(9-12). EDN: RFBYGQ. (In Russ).

6. Kayugina S.M., Eremin D.I. Fiziko-khimicheskie svoystva serykh lesnykh pochv vostochnoi okrainy Zaural'skogo Plato [Physicochemical properties of gray forest soils of the eastern edge of the Trans-Ural Plateau]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya*. 2022; 15(4): 471-490. DOI: 10.17516/1997-1389-0399. EDN: YOCLPO. (In Russ).

7. Bungau S. [et al.] Expatriating the impact of anthropogenic aspects and climatic factors on long-term soil monitoring and management. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-14127-7. EDN: CUULAD.

8. Eremin D.I., Kayugina S.M. Variabel'nost' svoistv serykh lesnykh pochv Zaural'ya: monografiya [Variability of the properties of gray forest soils of the Trans-Urals: a monograph]. Tyumen: NIISKh SZ – filial TyumNTs SO RAN; 2024: 202. ISBN 978-5-4266-0227-4. EDN: JXSMWC. (In Russ).

9. Semenov I.S. [et al.] Izmenenie plodorodiya lugovo-Chernozemnoi pochvy pod vliyaniem preparata «pochvouluchshitel'» i udobrenii [Changes in the fertility of meadow-chernozem soil under the influence of a soil improver and fertilizers]. *Volga Region Farmland*. 2025; 3(75). DOI: 10.36461/NP.2025.75.3.007. EDN: SJOUVJ. (In Russ).

10. Ofoe R. [et al.] Aluminum in plant: Benefits, toxicity and tolerance mechanisms. *Frontiers in Plant Science*. 2023; (13). DOI: 10.3389/fpls.2022.1085998. EDN: TQZZSP.

11. Akhtyamova A.A. Vliyanie ionov alyuminiya na rostovuyu aktivnost' rastenii ovsa [The effect of aluminum ions on the growth activity of oat plants]. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Modern Technologies and Technical Solutions for the Agro-Industrial Complex». Izhevsk: Udmurtskii GAU; 2024: 110-115. EDN: UAFEIK. (In Russ).

12. Yakovleva O.V. Geneticheskii kontrol' priznaka alyumoustoichivosti u obraztsov yarovogo yachmenya [Genetic control of aluminum tolerance trait in spring barley samples]. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii*. 2025; 186(1): 170-176. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-170-176. EDN: PGAGWI. (In Russ).

13. Loskutov I.G. [et al.] Aluminum tolerance and micronutrient content in the grain of oat cultivars with different levels of breeding improvement from the VIR collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022; 183(3): 96-110. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-96-110. EDN: WCLSXA. (In Russ).

14. Akhtyamova A.A., Eremin D.I. Reaktsiya ovsa na vozrastayushchii uroven' kontsentratsii ionov alyuminiya v yuvenil'nyi period razvitiya [Response of oats to increasing levels of aluminum ion concentration during the juvenile period of development]. *Taurida herald of the agrarian sciences*. 2023; 4(36): 18-27. DOI: 10.5281/zenodo.10259000. EDN: GIPGBQ. (In Russ).

15. Fomina M.N. [et al.] Kormovaya produktivnost' i ehnergeticheskaya pitatel'nost'

seleksionnykh obraztsov ovsa posevnogo (*Avena sativa* L.) v usloviyakh Severnogo Zaural'ya [Forage productivity and energy value of selected samples of oats (*Avena sativa* L.) in the conditions of the Northern Trans-Urals]. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii*. 2024; 185(2): 116-127. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-116-127. EDN: ISJLVL. (In Russ).

16. Rodríguez Ju.M. [et al.] Commercial oats in gluten-free diet: A persistent risk for celiac patients. *Frontiers in Nutrition*. 2022; (9). DOI: 10.3389/fnut.2022.986282. EDN: LUURKI.

17. Kuzmich M.A. [et al.] Golozernyi oves, ego tekhnologicheskie osobennosti i potrebitel'skie svoistva [Hulled oats, their technological features and consumer properties]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2025; 3(55): 80-87. DOI: 10.24412/2309-348X-2025-3-80-87. EDN: OYUYPZ. (In Russ).

18. Akhtyamova A.A., Eremin D.I., Savelyeva Yu.V. Sortovaya reaktsiya ovsa tyumenskoj selektsii na vozrastayushchie kontsentratsii ionov alyuminiya v yuvenil'nyi period [Varietal response of Tyumen oats to increasing concentrations of aluminum ions during the juvenile period]. *Grain economy of Russia*. 2025; 17(4): 47-53. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-47-53. EDN: BWGMJR. (In Russ).

ВКЛАД АВТОРОВ

Ахтямова А.А. – научное руководство; концепция и разработка методики исследований; математическая обработка данных; написание исходного текста.

Савельева Ю.В. – проведение лабораторных исследований; отбор растительного материала для получения данных; поиск и анализ научных публикаций по изучаемой теме.

AUTHOR CONTRIBUTION

Akhtyamova, A.A. – scientific guidance; concept and development of research methodology; mathematical data processing; writing the original text.

Savelyeva, Yu.V. – conducting laboratory research; selection of plant material for obtaining data; search and analysis of scientific publications on the topic under study.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

There are no human or animal studies in the work.

Информация об авторах

А.А. Ахтямова – кандидат сельскохозяйственных наук; AuthorID 859118.

Ю.В. Савельева – AuthorID 1196853.

Information about the author

A.A. Akhtyamova – Candidate of Agricultural Sciences; AuthorID 859118.

Yu.V. Savelyeva – AuthorID 1196853.

Статья поступила в редакцию 12.02.2026; одобрена после рецензирования 11.03.2026; принята к публикации 20.03.2026.

The article was submitted 12.02.2026; approved after reviewing 11.03.2026; accepted for publication 20.03.2026.