

Научная статья/Research Article

УДК 637

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-100-112

Галина Александровна Демиденко¹, Сергей Витальевич Хижняк²,

^{1,2}Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

¹demidenkoechos@mail.ru

²skhizhnyak@yandex.ru

ТОЛЕРАНТНОСТЬ СОРТОВ ПШЕНИЦЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОДНОГО ИЗ ЭДАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ – СТЕПЕНИ КИСЛОТНОСТИ

Цель исследования – оценка толерантности семян разных сортов пшеницы под влиянием одного из эдафических факторов – кислотности почв на ростовые характеристики проростков и их массу. Задачи: изучить влияние степени кислотности почв на ростовые характеристики корней и побегов разных сортов яровой пшеницы, накопление биомассы проростков семян разных сортов яровой пшеницы; оценить степень влияния концентраций растворов кислот на сорта яровой пшеницы и установить их толерантность к действию кислотности почвы. Объекты исследования – сорта мягкой яровой пшеницы (Красноярская 12, Кантегирская 89, Омская 32, Тулунская 12); сорта мягкой озимой пшеницы (Заряница, Скипетр). Использовали опыт проращивания семян пшеницы разных сортов методом рупонных культур, позволяющий проводить длительные эксперименты при проращивании семян сельскохозяйственных культур. В подтаежной зоне Красноярского края кислые почвы (дерново-подзолистые, серые лесные, темно-серые лесные) имеют почти сплошное распространение; почвы таежной зоны – сильно кислые (21 %), а почвы подтаежной зоны – среднекислые и слабокислые (от 19,3 до 56,1 % площади). По результатам лабораторного эксперимента сорта пшеницы Красноярская 12, Омская 32 и Скипетр при pH 4,0 превышают контроль по показателям длины корней и побегов проростков. Сорта пшеницы Омская 32 и Скипетр при pH 4,0 превышают контроль по показателям массы проростков. В лабораторном эксперименте сорта пшеницы Красноярская 12, Кантегирская 89, Зарница, Омская 32, Скипетр и Тулунская 12 продемонстрировали как общность реакции на низкие значения pH по набору изученных показателей, о чем свидетельствуют результаты дискриминантного анализа, так и индивидуальную сортовую специфику в реакции на кислую среду, о чем свидетельствуют низкие значения коэффициента конкордации Кендалла. По результатам кластерного анализа наибольшее сходство реакции на кислую среду как при pH 4,0, так и при pH 3,0 наблюдается у пары сортов Омская 32 и Тулунская 12, а также у пары Заряница и Кантегирская 89.

Ключевые слова: зерновые культуры, пшеница и ее сорта (Красноярская 12, Кантегирская 89, Зарница, Омская 32, Скипетр и Тулунская 12, эдафические факторы, степень кислотности, кислые почвы, подтаежная зона, Красноярский край

Для цитирования: Демиденко Г.А., Хижняк С.В. Толерантность сортов пшеницы под влиянием одного из эдафических факторов – степени кислотности // Вестник КрасГАУ. 2025. № 9. С. 100–112. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-100-112.

Galina Aleksandrovna Demidenko¹, Sergey Vitalievich Khizhnyak²,

^{1,2}Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

¹demidenkoechos@mail.ru

²skhizhnyak@yandex.ru

TOLERANCE OF WHEAT VARIETIES UNDER THE INFLUENCE OF ONE OF THE EDAPHIC FACTORS – THE DEGREE OF ACIDITY

The objective of the study is to evaluate the tolerance of seeds of different wheat varieties under the influence of one of the edaphic factors – soil acidity on the growth characteristics of seedlings and their weight. Objectives: to study the effect of soil acidity on the growth characteristics of roots and shoots of different spring wheat varieties, the accumulation of seedling biomass of different spring wheat varieties; to assess the influence of acid solution concentrations on spring wheat varieties and to establish their tolerance to soil acidity. The objects of the study are varieties of soft spring wheat (Krasnoyarskaya 12, Kantegirskaya 89, Omskaya 32, Tulunskaya 12); varieties of soft winter wheat (Zaryanitsa, Skipetr). The experience of germinating seeds of different wheat varieties using the roll crop method was used, which allows for long-term experiments in germinating seeds of agricultural crops. In the subtaiga zone of the Krasnoyarsk Region, acidic soils (sod-podzolic, gray forest, dark gray forest) are almost continuously distributed; soils of the taiga zone are strongly acidic (21 %), and soils of the subtaiga zone are moderately acidic and slightly acidic (from 19.3 to 56.1 % of the area). According to the results of the laboratory experiment, the Krasnoyarskaya 12, Omskaya 32 and Skipetr wheat varieties at pH 4.0 exceed the control in terms of root and shoot length of seedlings. The wheat varieties Omskaya 32 and Skipetr at pH 4.0 exceed the control in terms of sprout weight. In a laboratory experiment, the wheat varieties Krasnoyarskaya 12, Kantegirskaya 89, Zarnitsa, Omskaya 32, Skipetr and Tulunskaya 12 demonstrated both a common response to low pH values for the set of studied parameters, as evidenced by the results of discriminant analysis, and individual varietal specificity in response to an acidic environment, as evidenced by low values of the Kendall concordance coefficient. According to the results of cluster analysis, the greatest similarity in the reaction to an acidic environment at both pH 4.0 and pH 3.0 is observed in the pair of varieties Omskaya 32 and Tulunskaya 12, as well as in the pair Zaryanitsa and Kantegirskaya 89.

Keywords: grain crops, wheat and its varieties (Krasnoyarskaya 12, Kantegirskaya 89, Zarnitsa, Omskaya 32, Skipetr and Tulunskaya 12, edaphic factors, degree of acidity, acidic soils, subtaiga zone, Krasnoyarsk Region

For citation: Demidenko GA, Khizhnyak SV. Tolerance of wheat varieties under the influence of one of the edaphic factors – the degree of acidity. *Bulletin of KSAU*. 2025;(9):100-112. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-100-112.

Введение. Пшеница – основная культура среди зерновых культур, имеющая ценные биологические качества, к которым относят кормовые достоинства зерна и высокую потенциальную продуктивность [1, 2]. По данным А.Н. Халипского, в Красноярском крае за последние 60 лет сортосмены «приrost урожайности составил 12–15 кг в год, повышаясь в благоприятные годы до 30 кг» [3, с. 11].

Развитие земледелия в северных районах началось в Красноярском крае в XVII – начале XVIII в. Крестьяне-переселенцы получали высокие урожаи зерновых и кормовых культур, удовлетворяя как свои потребности в продовольствии, так и снабжая им Восточную Сибирь. Бывшие деляны располагались на сильно- и среднекислых почвах [4–6].

Почвенная кислотность является одним из эдафических факторов среды, негативно влияющих на жизнедеятельность растений (на усвояемость растениями питательных веществ), в том числе сельскохозяйственных культур.

Увеличение кислотности может сильно задерживать рост растений и [7].

Проявление повреждающего действия высокой концентрации ионов водорода зависит от отрицательного влияния на поглощение растениями питательных элементов, процессы обмена веществ между средой и растениями, ионное равновесие в растительном организме. А также зависит от вида растений, их вегетации и среды произрастания [8].

По мнению Э.Л. Климашевского (1983, 1991) избыточное количество поступления ионов водорода через корневую систему растений приводит к нарушению углеводного и белкового обмена и нарушению ферментативных процессов. Подавляется синтез углеводов, по пути восстановительного карбоксилирования относительно растёт ассимиляция углекислого газа по мере развития повреждения. Развитие повреждения ведёт к полному подавлению синтеза углеводов у неустойчивых к кислотности сортов [9, 10].

Токсическое действие на сельскохозяйственные культуры оказывают ионы водорода при pH 3,0, особенно в Сибири, где реакция почвенного раствора в связи с низким содержанием обменного алюминия определяется присутствием ионов водорода. Почвы с низким содержанием питательных веществ, как правило, имеют низкое содержание pH [11].

Между сортами и видами сельскохозяйственных растений существуют различия по активности их к кислотности почвы и устойчивости к токсическим элементам. По мере увеличения кислотности значительно возрастает растворимость макро- и микроэлементов, и такие элементы как алюминий, медь, цинк, марганец, железо, бор являются токсичными [12, 13].

В подтаежной зоне Сибири основные факторы закисления почв неразрывно связаны с факторами почвообразования. Как характер почвообразовательного процесса, так и распространение кислых почв в почвенном покрове безусловно связано с факторами почвообразования (рельефом, материнскими породами, климатом, растительностью, деятельностью человека). Начально от материнских пород зависит формирование почв с разной реакцией pH так как кислые почвы формируются на кислых продуктах выветривания (кислых глинах) [13].

Рельеф как почвообразующий фактор влияет на распределение влаги и тепла в почве и имеет значение для формирования кислотных свойств почв. В рельефе предгорных территорий при прочих равных условиях северные склоны в орографии рельефа сильнее увлажнены и имеют более низкие температуры, чем южные склоны. На равнинных территориях в случае отсутствия стока, создаются условия формирования почв при длительном увлажнении и развитии глеевых процессов. На соседних участках с аналогичным типом почв, обладающих лучшей дренированностью, развитие глеевых процессов не наблюдается.

Подтаежная зона Красноярского края умеренного климатического пояса Евразии характеризуется большим количеством осадков (280–500 мм), низкими температурами (абсолютный максимум достигает -50°C), а максимальная величина испарения наблюдается в июне-июле (50 мм), что объясняет увеличение засухливости во второй половине июля [14]. Больше количество воды (май – первая половина июля), просачиваясь через почвенные генетические горизонты, увлекают с собой соли почвенных

растворов, способствуя выходу в раствор поглощенных Ca и Mg в обмен на ионы водорода [15]. Скорость выщелачивания, кроме количества выпавших осадков, зависит от характера влагооборота в почвенной толще, гранулометрического состава генетических горизонтов почв, типа фитоценозов.

Наиболее кислые почвы (сильнокислые почвы) формируются на почвах легкого гранулометрического состава (пески, супеси), в условиях влажного умеренного холодного климата, промывного водного режима, приуроченного к весеннему периоду (в условиях слабо выраженной естественной потери влаги на транспирацию растениями и испарение). На осадочных породах тяжелого гранулометрического состава процесс выщелачивания замедляется [6].

Хвойные фитоценозы, благодаря кислым свойствам органических остатков, способствуют усилению кислотности почв. Лиственные фитоценозы с травянистой растительностью – благоприятствуют аккумуляции оснований. Смена хвойных фитоценозов на лиственные усиливает дерновый почвообразовательный процесс и ослабляет подзолистый [16].

Выращивание зерновых культур, в т. ч. пшеницы, на юге Красноярского края влияет на агроэкологическое состояние сельскохозяйственных земель. Урожай зерна пшеницы, количественные и качественные показатели зерна, а также восприимчивость к семенной инфекции, зависят от степени кислотности пахотных почв, а также сложных погодных и метеорологических условий [17–21].

Изменение почвенной реакции вызывается обработкой почвы. Вспашка в условиях развития подзолистых почв приводит к их обеднению кальцием и магнием, как следствием усилению процессов минерализации. К мерам компенсации потерь оснований относятся внесение органических удобрений, возделывание сидератов, запашка соломы и др.

Различные сочетания природных факторов и их взаимодействие на конкретной территории сельскохозяйственного землепользования создают комплекс условий для развития почв с разной реакцией pH и их потенциальными возможностями для образования подвижных химических соединений.

Цель исследования – оценка толерантности семян разных сортов пшеницы под влиянием одного из эдафических факторов – кислотности

почв – на ростовые характеристики проростков и их массу.

Задачи: исследовать влияние степени кислотности почв на ростовые характеристики корней и побегов разных сортов яровой пшеницы; изучить влияние степени кислотности на накопление биомассы проростков семян разных сортов яровой пшеницы; оценить степень влияния концентраций растворов кислот на сорта яровой пшеницы и установить их толерантность к действию кислотности почвы.

Объекты и методы. Объекты исследования – сорта мягкой яровой пшеницы (Красноярская 12, Кантегирская 89, Омская 32, Тулунская 12), а также сорта мягкой озимой пшеницы (Зарница, Скипетр).

Пшеница (*Triticum*) – зерновая ведущая культура России, однолетнее растения рода травянистых, семейства Злаки (*Gramineae*).

Сорт пшеницы Красноярская 12 (*Triticum aestivum* L.). Сорт «яровой мягкой пшеницы для природных условий Восточной Сибири, сочетающий высокую продуктивность и устойчивость к недостатку влаги» [22, с. 11]. Среднеспелый сорт с вегетационным периодом – 78–95 дней.

По мнению А.В. Сидорова, у сорта Красноярская 12 одним из важнейших признаков является способность приспособления к определенной среде (адаптация). «Сорта с широкой адаптационной способностью оказываются приспособленными к разнообразным почвенно-климатическим и погодным условиям» [22, с. 11].

Сорт пшеницы Кантегирская 89 (*Triticum aestivum* L.). Сорт мягкой яровой пшеницы для природных условий Западно-Сибирского и Восточно-Сибирского региона. Среднеспелый сорт с вегетационным периодом 78–94 дней. Устойчивый к полеганию, не осыпается при «переросте». Светолюбивый, мезофит. «Максимальная урожайность в Красноярском крае составляет 55 ц / га» [23, с. 3.]

Продуктивность сорта связана с гидротермическими условиями. Между продуктивностью и природными условиями (количеством осадков, температурой и влажностью) установлена корреляционная связь [24].

Сорт пшеницы Омская 32 (*Triticum aestivum* L.). Сорт мягкой яровой пшеницы для природных условия Омской области, Алтайского и Красноярского краев. Относится к пшеницам, характеризующимся ценными качествами зерна. Сорт среднеспелый. Продолжительность вегетационного периода в условиях Красноярского края составляет 86–92 дня. Среднезасу-

хоустойчив, имеет высокую устойчивость к полеганию и осыпанию зерна при «переросте». Среднеустойчив против пыльной головни, а к бурой ржавчине и септориозу восприимчив. В Красноярском крае максимальная урожайность (49 ц/га) получена в 1999 г.

Сорт пшеницы Тулунская 12 (*Triticum aestivum* L.). Сорт мягкой яровой пшеницы для природных условий Восточно-Сибирского региона. По качеству зерна относится к сильным пшеницам. Сорт среднеранний, продолжительность вегетационного периода в условиях Красноярского края составляет 72–89 дней. Высокая устойчивость к полеганию. Среднеустойчив против пыльной головни. В Красноярском крае максимальная урожайность (56 ц/га) получена в 2012 г.

Сорт пшеницы Зарница (*Triticum aestivum* L.). Сорт мягкой озимой пшеницы. Сорт среднеранний. Вегетационный период в Красноярском крае (Красноярской лесостепи) составляет 234–274 дня. Среднерослый, устойчив к полеганию, по качеству зерна относится к сильным пшеницам. Имеет высокую морозостойкость и зимостойкость, высокая адаптивность к природным условиям, засухоустойчив. К пыльной головне, желтой и бурой ржавчинам устойчив, к мучнистой росе имеет среднюю устойчивость. Высокая технологичность возделывания (один из сортов ресурсосберегающих технологий). При посеве в оптимальные и поздние сроки, формирует высокий урожай за счет образования в ранневесенний период побегов, благодаря хорошей регенерирующей способности.

Сорт пшеницы «Скипетр» (*Triticum aestivum* L.). Сорт мягкой озимой пшеницы для природных условий Восточно-Сибирского региона. Сорт среднеспелый, вегетационный период составляет 293–336 дней. Повышенная зимостойкость, к полеганию устойчив. К твердой головне устойчив; к бурой ржавчине – устойчив умеренно; к снежной плесени – восприимчив.

Для оценки кислотоустойчивости использовали методы исследования в зависимости от экологической валентности форм и разного уровня ингибирования ростовых процессов под действием стрессовых факторов [25].

Лабораторный эксперимент. Использовался опыт проращивания семян пшеницы разных сортов методом рулонных культур, позволяющий проводить длительные эксперименты при проращивании семян сельскохозяйственных культур. Его достоинства: возможность более корректного учета морфометрических показателей (длины проростков и корешков); исключение

побочного влияния факторов на испытуемые проростки. Хорошо используется для зернобобовых и зерновых культур, имеющих крупные размеры и массу семян.

Подготавливаем семена к эксперименту: замачиваем дистиллированной водой предварительно отобранные семена в чашках Петри (в течение 3 сут) в темном термостате (при $t = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$). Пророщенные семена используем в лабораторном эксперименте.

Ход эксперимента:

1. Брали лист фильтровальной бумаги (размер 40 x 60 см). Отступив от обоих краев листа фильтровальной бумаги по 5 см, через 1 см раскладывали семена пшеницы (50 шт.), равномерно направленно ориентированные.

2. Разложенные семена покрывали полоской фильтровальной бумаги (размер 10 x 12 x 60 см), смоченной предварительно дистиллированной водой.

3. Сворачивали в рыхлый рулон фильтровальную бумагу с семенами, поместив стеклянную полочку в середину рулона для сохранения вертикального положения рулона при намокании.

4. Помещали в широкий стакан (сосуд) рулон, наливали 200 мм дистиллированной воды, отмечали маркером ее уровень. Наблюдали за постоянным уровнем воды в сосуде на протяжении всего эксперимента (контроль, вариант эксперимента № 1).

5. В варианте эксперимента № 2 рулон помещали в сосуд с раствором соляной кислоты (при pH 3.0).

6. В варианте эксперимента № 3 рулон помещали в сосуд с раствором соляной кислоты (при pH 4.0).

7. После истечения времени эксперимента (экспериментально установленного – 7 сут), разворачивали рулоны и проводили измерения: длины побегов и корней (мм); сырой массы на-

земной и подземной части проростков (г). Повторность трехкратная.

Статистическую значимость различий между вариантами с разными значениями pH по комплексу изучаемых показателей без учета сортовой специфики проверяли с помощью линейного дискриминантного анализа. Уровень различий между вариантами оценивали на основе квадратов расстояния Махаланобиса и проекции вариантов на первые две канонические переменные. Согласованность реакции изучаемого набора сортов на кислую среду по совокупности изученных показателей оценивали с помощью коэффициента конкордации Кендалла. Группировку изучаемых сортов по сходству реакции на низкие значения pH по набору изученных показателей проверяли с помощью иерархического кластерного анализа. В качестве программного обеспечения использовали пакет StatSoft STATISTICA 8.0.

Исследования проводились на базе Инновационной лаборатории «Экологический мониторинг сельскохозяйственных и лесных культур» Института агроэкологических технологий при ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Образцы сортов пшеницы для исследования представлены Красноярским научно-исследовательским институтом сельского хозяйства – обособленным подразделением ФИЦ КНЦ СО РАН.

Результаты и их обсуждение. Кислые почвы в Красноярском крае занимают среди пахотных земель 943,4 тыс. га (30,2 % площади).

Распространение кислых почв в Красноярском крае и факторы закисления

Основные климатические данные подтаежной зоны Красноярского края (табл. 1).

Распространение кислых почв в Красноярском крае (табл. 2)

Таблица 1

**Климатические характеристики подтаежной зоны Красноярского края
(по материалам базы данных «Почвенно-климатическая характеристика
природных зон (подзон) Приенисейской Сибири») [14]**

Climatic characteristics of the subtaiga zone of the Krasnoyarsk Territory based on the materials of the database "Soil and climatic characteristics of natural zones (subzones) Yenisei Siberia" [14]

Показатель	Значение
Годовое количество осадков, мм	466–497
Длина безморозного периода, дней	94–121
Сумма эффективных температур, $^{\circ}\text{C}$	1680–1720
Распаханность сельскохозяйственных угодий, %	39–49

Таблица 2

Распространение кислых почв в Красноярском крае (по данным Танделова, Ершова, 2003) [5]
The spread of acidic soils in the Krasnoyarsk Region (according to Tandelov and Ershov, 2003) [5]

Природные зоны	Административные районы	Степень кислотности почв, %	
		Сильнокислые	Среднекислые и слабокислые
Таежная	Казачинский	21,1	–
	Енисейский		
Подтаежная	Тюхтетский	–	56,1
	Пировский		
	Козульский		
	Большейлуйский		
	Бирилюсский		
	Большемуртинский	–	19,3
	Суходулимский		

По данным таблицы 2 видно, что в подтаежной зоне Красноярского края кислые почвы (дерново-подзолистые, серые лесные, темно-серые лесные) имеют почти сплошное распространение; почвы таежной зоны (сильнокислые) занимают 21 % площади, а почвы подтаежной зоны (среднекислые и слабокислые) – от 19,3 до 56,1 %.

За последнее пятнадцатилетие, по данным Агрохимического обследования почв Государст-

венной агрохимической службой (ФГБУ ГСАС «Минусинская»), наблюдается «некоторое подкисление почв, особенно в Ермаковском и Курагинском районах, где появились сильнокислые почвы» [26, с. 5].

Результаты измерений длины корней и побегов проростков пшеницы (табл. 3) и масса проростков пшеницы (табл. 4) показали дифференцированное отношение проростков разных сортов пшеницы к степени кислотности почв.

Таблица 3

Изменение длины корней и побегов проростков пшеницы, см
Change in the length of the roots and shoots of wheat seedlings, cm

Сорт	Показатель	Контроль		pH (3,0)		pH (4,0)	
		Среднее	Коэффициент вариации	Среднее	Коэффициент вариации	Среднее	Коэффициент вариации
Красноярская 12	Корни	16,3	22,8	17,1	16,2	18,5	30,4
	Побеги	10,6	41,7	13,5	37,8	17,5	46,4
Кантегирская 89	Корни	17,7	22,8	11,0	20,9	14,4	17,5
	Побеги	14,3	43,3	10,6	45,3	12,7	34,4
Зарница	Корни	18,1	18,4	9,3	18,4	11,4	23,5
	Побеги	15,9	30,9	11,5	37,4	14,5	38,3
Омская 32	Корни	18,7	16,6	15,4	13,8	17,5	13,9
	Побеги	13,0	43,8	12,8	40,6	13,7	41,0
Скипетр	Корни	17,8	25,7	15,1	19,3	16,1	17,1
	Побеги	12,9	30,2	11,2	33,1	13,7	32,9
Тулунская 12	Корни	18,1	32,9	13,9	18,7	16,7	12,9
	Побеги	11,8	50,9	10,8	36,7	11,6	44,4

Анализ таблицы 3 показал, что средняя длина корней имеет лучшие показатели у сортов пшеницы Красноярская 12: при pH (3,0) имеет 16,2 см; при pH (4,0) – 18,5 см, что превышает контроль, в отличие от других сортов проростков пшеницы. Средняя длина побегов имеет

лучшие показатели у сортов пшеницы Красноярская 12: при pH (3,0) имеет 13,5 см; при pH (4,0) – 17,5 см; Омская 32 при pH (3,0) имеет 12,8 см; при pH (4,0) – 13,7 см; Скипетр: при pH (3,0) имеет 11,2 см; при pH (4,0) – 13,7 см, что при pH (4,0) превышает контроль.

Таблица 4

Масса проростков пшеницы, г
Weight of wheat seedlings, g

Сорт	Показатель	Контроль		рН (3,0)		рН (4,0)	
		Среднее	Коэффициент вариации	Среднее	Коэффициент вариации	Среднее	Среднее
Красноярская 12	Корни	5,4	13,8	4,1	27,6	4,6	28,6
	Побеги	3,9	20,3	3,2	30,2	3,4	31,6
Кантегирская 89	Корни	5,1	10,7	4,5	16,5	5,0	18,4
	Побеги	5,0	16,1	3,2	26,4	4,4	29,0
Зарница	Корни	5,0	11,8	3,3	28,1	4,8	27,5
	Побеги	5,8	13,0	4,4	17,0	5,1	19,4
Омская 32	Корни	5,6	18,8	4,4	24,4	4,6	24,6
	Побеги	4,7	20,6	4,6	17,0	4,8	23,4
Скипетр	Корни	4,8	13,8	5,0	17,1	6,3	17,7
	Побеги	4,5	22,8	3,4	21,7	4,9	23,0
Тулунская 12	Корни	4,7	23,1	2,3	29,2	3,4	32,8
	Побеги	3,7	25,7	3,4	30,6	3,4	33,6

Анализ таблицы 4 показал, что средняя масса проростков корней имеет лучшие показатели у сортов пшеницы Скипетр: при рН (3,0) имеет 5,0 г; при рН (4,0) – 6,3 г, что превышает контроль, в отличие от других сортов проростков пшеницы. Средняя масса проростков побегов имеет лучшие показатели у сортов пшеницы Омская 32: при рН (3,0) имеет 4,6 г; при рН (4,0) – 4,8 г; Скипетр: при рН (3,0) имеет 3,4 г; при рН (4,0) – 4,9 г что превышает контроль при рН (4,0), в отличие от других сортов проростков пшеницы.

Сорта пшеницы Омская 32 и Скипетр при рН (4,0) превышает контроль при рН (4,0) по

показателям длины корней и побегов и массы проростков.

Статистическая обработка данных

Дискриминантный анализ данных, представленных в таблицах 3 и 4, показал, что варианты с различным рН в целом по сортам статистически значимо ($p < 0,001$) различаются по набору следующих показателей: длина корней, коэффициент вариации длины корней, длина побегов, масса побегов, коэффициент вариации массы побегов. При этом значимость каждого из этих показателей для разделения вариантов с различным рН примерно одинаковая, о чем говорят близкие величины соответствующих значений Лямбды Уилкса и Частной Лямбды (табл. 5).

Таблица 5

**Результаты дискриминантного анализа данных, представленных в таблицах 3 и 4,
с использованием значения рН в качестве группирующей переменной;
значения р округлены до третьего знака после запятой**

**The results of the discriminant analysis of the data presented in Tables 3 and 4 using
the pH value as a grouping variable; the p values are rounded to the third decimal place**

Показатель	Лямбда Уилкса	Частная лямбда	Статистическая значимость, р
Длина корней	0,171217	0,291898	0,001
CV длины корней	0,130489	0,383005	0,005
Длина побегов	0,100201	0,498777	0,022
Масса побегов	0,134083	0,37274	0,004
CV массы побегов	0,116249	0,429921	0,010

При использовании данного набора показателей варианты с низким pH статистически значимо отличаются как друг от друга, так и от контроля (табл. 6). При этом вариант с pH 3,0 впол-

не предсказуемо имел более существенные отличия от контроля, чем вариант с pH 4,0 (табл. 7, рис. 1).

Таблица 6

Статистическая значимость (p) различий между вариантами с разным значением pH по результатам дискриминантного анализа данных, представленных в таблицах 1 и 2; значения p округлены до третьего знака после запятой
Statistical significance (p) of differences between variants with different pH values based on the results of discriminant analysis of the data presented in Tables 1 and 2; the p values are rounded to the third decimal place

Вариант	Контроль	pH 3,0	pH 4,0
Контроль		0,000	0,002
pH (3,0)	0,000		0,010
pH (4,0)	0,002	0,010	

Таблица 7

Квадраты расстояния Махаланобиса между вариантами с разным pH
Mahalanobis distance squares between variants with different pH

Вариант	Контроль	pH 3,0	pH 4,0
Контроль	0,00	27,58	17,84
pH (3,0)	27,58	0,00	12,01
pH (4,0)	17,84	12,01	0,00

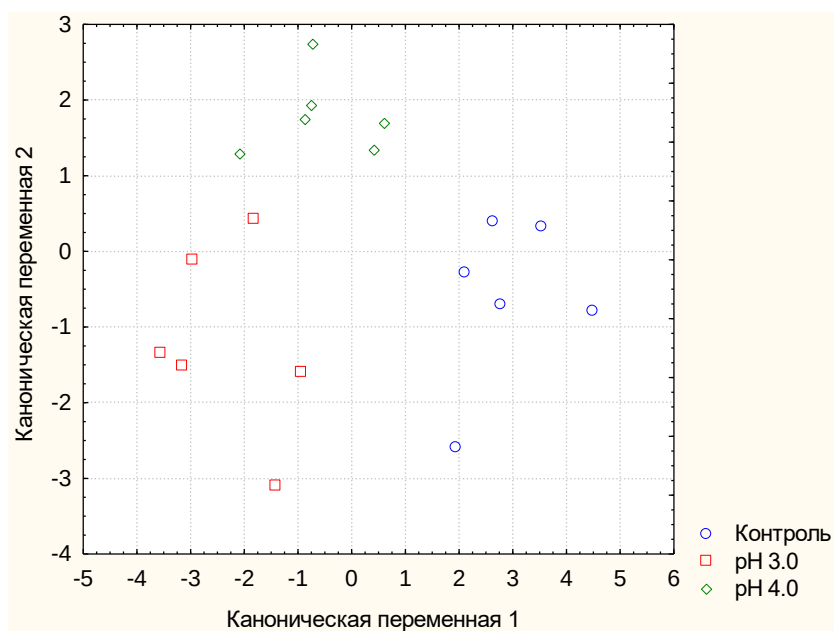


Рис. 1. Проекция сортов в разных вариантах эксперимента на первые две канонические переменные

Projection of varieties in different experimental variants on the first two canonical variables

В среднем по сортам для длины корней, для коэффициента вариации длины корней и для массы побегов следует отметить закономерное снижение величины показателя по мере снижения pH. В то же время для массы побегов наб-

людается некоторое увеличение при pH 4,0 с последующим резким снижением при pH 3,0. Коэффициент вариации массы побегов существенно возрастает при pH 4,0, и несколько падает при дальнейшем снижении pH до 3,0 (табл. 8).

Таблица 8

**Средние по сортам значения показателей, представленных в таблице 5,
в вариантах с разным значением pH**

**The average values of the indicators presented in Table 5 for varieties
in variants with different pH values**

Показатель	Контроль	pH 4.0	pH 3.0
Длина корней, см	17,78	15,77	13,63
CV длины корней	23,20	19,22	17,88
Длина побегов, см	13,08	13,95	11,73
Масса побегов, г	4,60	4,33	3,70
CV массы побегов	19,75	26,67	23,82

Вышеперечисленные результаты характеризуют общую для изученных сортов реакцию на изменение pH. Для выявления сортовой специ-

фики в реакции значения изученных показателей были представлены в % к контролю для соответствующего сорта (табл. 9).

Таблица 9

**Относительные значения ростовых показателей
при низких значениях pH для каждого сорта, % к контролю**
Relative values of growth indicators at low pH values for each variety, % of control

Сорт	pH	Длина корней, см	Длина побегов, см	Масса корней, г	Масса побегов, г
Зарница	pH 3,0	51,38	72,33	66,00	75,86
Кантегирская 89	pH 3,0	62,15	74,13	88,24	64,00
Красноярская 12	pH 3,0	104,91	127,36	75,93	82,05
Омская 32	pH 3,0	82,35	98,46	78,57	97,87
Скипетр	pH 3,0	84,83	86,82	104,17	75,56
Тулунская 12	pH 3,0	76,80	91,53	48,94	91,89
Зарница	pH 4,0	62,98	91,19	96,00	87,93
Кантегирская 89	pH 4,0	81,36	88,81	98,04	88,00
Красноярская 12	pH 4,0	113,50	165,09	85,19	87,18
Омская 32	pH 4,0	93,58	105,38	82,14	102,13
Скипетр	pH 4,0	90,45	106,20	131,25	108,89

При анализе данных, представленных в таблице 9, в первую очередь обращает на себя внимание рост межсортового варьирования при снижении pH с 4,0 до 3,0 для таких показателей,

как длина корней и масса побегов, при одновременном уменьшении межсортового варьирования по длине побегов и массе корней (табл. 10).

Таблица 10

**Влияние pH на межсортовое варьирование по относительным значениям
ростовых показателей в терминах дисперсии (исходные данные – см. табл. 9)**
**The effect of pH on interport variation in relative values
of growth indicators in terms of variance (initial data – see Table 9)**

Показатель	pH 4,0	pH 3,0
Длина корней, см	273,83	349,2
Длина побегов, см	801,26	405,0
Масса корней, г	419,03	355,3
Масса побегов, г	82,17	149,8

Об индивидуальной реакции сортов на низкие значения pH говорят низкие значения коэффициента конкордации Кендалла, который в данном случае отражает согласованность реакции сортов по набору изученных показателей на кислую среду. Так, для pH 4,0 этот коэффициент равен 0,293, для pH 3,0—0,429. Оба значения являются статистически незначимыми, что подчеркивает наличие ярко выраженной сортовой специфики в реакции на низкие pH.

В целом, можно констатировать, что по длине корней и побегов наименее чувствительным к ингибирующему действию кислой среды как при pH 4,0, так и при pH 3,0 оказался сорт Красноярская 12, для которого данные значения pH вместо оказали скорее стимулирующее дейст-

вие, чем ингибирующее. По массе корней наименее чувствительным к кислой среде при обоих значениях pH оказался сорт Скипетр, у которого при pH 4,0 наблюдался прирост данного показателя относительно контроля, а при pH 3,0 масса корней практически не отличалась от контроля. По массе побегов при pH 4,0 отсутствие ингибирующего эффекта наблюдалось у сортов Омская 32 и Скипетр, а при pH 3,0 – у сорта Омская 32.

Кластерный анализ показал, что по совокупности изученных показателей наибольшее сходство реакции на кислую среду при обоих значениях pH наблюдается у пары сортов Омская 32 и Тулунская 12, а также у пары Зарница и Кантегирская 89 (рис. 2, 3).

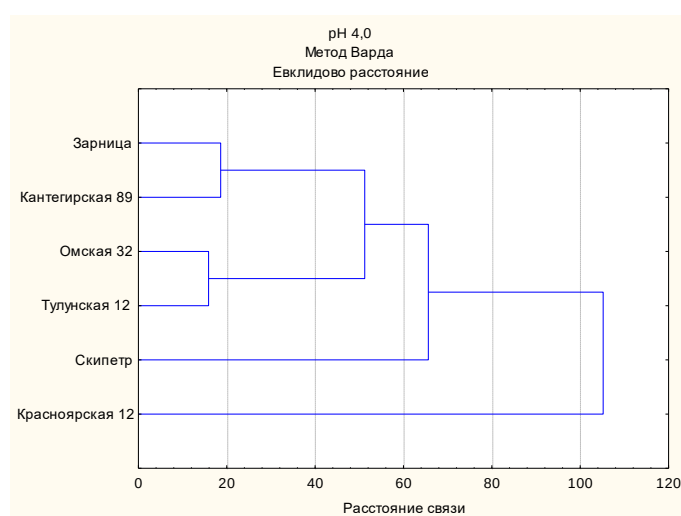


Рис. 2. Кластеризация сортов по реакции на кислую среду при pH 4,0
(исходные данные – см. табл. 7)

Clustering of varieties by reaction to acidic environment at pH 4,0 (for the initial data, see Table 7)

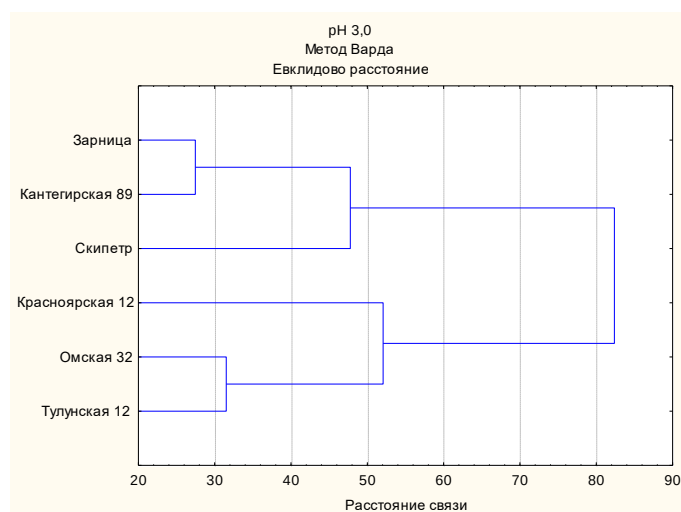


Рис. 3. Кластеризация сортов по реакции на кислую среду при pH 3,0
(исходные данные – см. табл. 7)

Clustering of varieties by reaction to acidic environment at pH 3,0 (for the initial data, see Table 7)

Заключение

1. В подтаежной зоне Красноярского края кислые почвы (дерново-подзолистые, серые лесные, темно-серые лесные) имеют почти сплошное распространение; почвы таежной зоны (сильнокислые) занимают 21 % площади, а почвы подтаежной зоны (среднекислые и слабокислые) – от 19,3 до 56,1 %.

2. По результатам лабораторного эксперимента сорта пшеницы Красноярская 12, Омская 32 и Скипетр при pH (4,0) превышает контроль по показателям длины корней и побегов проростков. Сорта пшеницы Омская 32 и Скипетр при pH (4,0) превышает контроль по показателям массы проростков.

3. В лабораторном эксперименте сорта пшеницы Красноярская 12, Кантегирская 89, Зарница, Омская 32, Скипетр и Тулунская 12 продемонстрировали как общность реакции на низкие значения pH по набору изученных показателей, о чем свидетельствуют результаты дискриминантного анализа, так и индивидуальную сортовую специфику в реакции на кислую среду, о чем свидетельствуют низкие значения коэффициента конкордации Кендалла.

4. По результатам кластерного анализа наибольшее сходство реакции на кислую среду как при pH 4,0, так и при pH 3,0 наблюдается у пары сортов Омская 32 и Тулунская 12, а также у пары Зарница и Кантегирская 89.

Список источников

1. Воронцова В.П. Яровая пшеница – основная культура Восточной Сибири. Красноярск, 1982. 142 с.
2. Система земледелия Красноярского края на ландшафтной основе: руководство. Красноярск, 2014. 596 с.
3. Халипский А.Н. Роль экотипа и фона возделывания в эффективности сортосмены полевых культур в Красноярском крае: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Тюмень, 2009. 32 с.
4. Танделов Д.П., Ерышева О.В. Состояние плодородия кислых почв Приенисейской Сибири, эффективность минеральных удобрений и химических мелиорантов. Красноярск, 2000. 312 с.
5. Танделов Ю.П., Ерышова О.В. Особенности кислых почв Красноярского края и эффективность известкования. Красноярск: КрасГАУ, 2003. 147 с.
6. Танделов Ю.П. Плодородие кислых почв земледельческой территории Красноярского края. Красноярск, 2012. 161 с.
7. Климов С.В. Селекция сельскохозяйственных культур на устойчивость и кислотность почвы // Сельское хозяйство. 1984. № 10. С. 18–22.
8. Павалеев Т.Д., Тотев Т. Кислотность почвы и методы ее устранения. М.: Колос, 1983. 165 с.
9. Климашевский Э.Л. Почвенная кислотность – генотип – задачи селекции // Вестник сельскохозяйственной науки. 1983. № 9. С. 16–25.
10. Климашевский Э.Л. Генетический аспект минерального питания растений. М.: Агропромиздат, 1991. 416 с.
11. Полонский В.И., Сурин Н.А. Оценка зерновых культур на устойчивость к неблагоприятным экологическим факторам. Новосибирск, 2003. 128 с.
12. Плешков Л.С., Заславская Н.В. Способ диагностики устойчивости растений к действию алюминия и марганца. Москва, 1988. 17 с.
13. Бугаков П.С., Чупрова В.В. Агрохимическая характеристика почв земледельческой зоны Красноярского края: учебное пособие. Красноярск: КрасГАУ, 1995. 176 с.
14. Демиденко Г.А., Шевцова Л.Н. База данных Почвенно-климатическая характеристика природных зон (подзон) Приенисейской Сибири. Свидетельство о регистрации базы данных № 2023621735 от 29.05.2023.
15. Возбуждая А.Е. Химия почв: учебное пособие. 3-е изд., испр. и доп. М.: Высшая школа, 1968. 427 с.
16. Чупрова В.В. Экологическое почвоведение: учебное пособие. Красноярск: КрасГАУ, 2005. 171 с.
17. Келер В. В. Варьирование содержания количества клейковины в зерне мягкой яровой пшеницы под влиянием метеорологических условий Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2020. № 2 (155). С. 58–62. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-2-58-62. EDN: MQMOBD.

18. Keler V.V., Martynova O.V., Demeneva A.A. Productivity and technological qualities of spring wheat grain in Krasnoyarsk region. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 ноября 2020 г. / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Vol. 677. Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. P. 32050. DOI: 10.1088/1755-1315/677/3/032050. EDN: CMUXRV.
19. Келер В.В., Овсянкина С.В., Щеклеин Д.М. Сортовая специфика восприимчивости пшеницы к семенной инфекции в Красноярском крае // Вестник КрасГАУ. 2021. № 8 (173). С. 3–10. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8-3-10. EDN: DTKWHB.
20. Овчинникова Т.Г., Келер В.В. Влияние интенсификации предшественника на количество и качество клейковины в яровой пшенице. В сб.: Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция «Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты», 04–05 февраля 2021. Том 2. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, 2021. С. 113–116. EDN: CKZHEC.
21. Шрам Н.В., Келер В.В., Хижняк С.В., и др. Влияние погодных условий на накопление белка в зерне мягкой яровой пшеницы // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2023. № 4 (73). С. 29–37. DOI: 10.34655/bgsha.2023.73.4.004. EDN: TRLHEO.
22. Сидоров А.В., Нешуибаева Н.А. Плеханова А.Л. Адаптивный сорт мягкой яровой пшеницы Красноярская 12 // Вестник КрасГАУ. 2020. № 4. С. 10–15.
23. Дымина Е.В. Зависимость продуктивности яровой пшеницы Кантегирская 89 от гидротермического режима вегетационного периода // Аграрная Россия. 2009. № 5. С. 2–3.
24. Дымина Е.В. Повышение биоресурсного потенциала сортов мягкой яровой пшеницы разных групп спелости в условиях северной лесостепи Приобья: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 2013. 40 с.
25. Федулов Ю.П. Методы определения устойчивости растений: курс лекций. Краснодар: КубГАУ, 2015. 39 с.
26. Липатникова Т.Я. Агрохимическая характеристика почв пашни юга Красноярского края // Агрохимический Вестник. 2017. № 2. С.1–5.

References

1. Voroncova VP. *Yarovaya pshenica – osnovnaya kul'tura Vostochnoj Sibiri*. Krasnoyarsk, 1982. 142 s..
2. *Sistema zemledeliya Krasnoyarskogo kraya na landshaftnoj osnove: rukovodstvo*. Krasnoyarsk; 2014. 596 p.
3. Halipskij AN. *Rol' `ekotipa i fona vozdeleyvaniya v `effektivnosti sortosmeny polevyh kul'tur v Krasnoyarskom krae* [abstract dissertation]. Tyumen; 2009. 32 p.
4. Tandelov DP, Erysheva OV. *Sostoyanie plodorodiya kislyh pochv Prienisejskoj Sibiri, `effektivnost' mineral'nyh udobrenij i himicheskikh meliorantov*. Krasnoyarsk; 2000. 312 p.
5. Tandelov YuP, Eryshova OV. *Osobennosti kislyh pochv Krasnoyarskogo kraya i `effektivnost' izvestkovaniya*. Krasnoyarsk: KSAU; 2003. 147 s.
6. Tandelov YuP. *Plodorodie kislyh pochv zemledel'cheskoj territorii Krasnoyarskogo kraya*. Krasnoyarsk; 2012. 161 s.
7. Klimov SV. *Selekcija sel'skohozyajstvennyh kul'tur na ustojchivost' i kislotnost' pochvy* // *Sel'skoe hozyajstvo*. 1984;(10):18-22.
8. Pavaleev TD, Totev T. *Kislotnost' pochvy i metody ee ustraneniya*. Moscow: Kolos; 1983. 165 p.
9. Klimashevskij `EL. *Pochvennaya kislotnost' – genotip – zadachi selekcii* // *Vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki*. 1983;(9):16-25.
10. Klimashevskij `EL. *Geneticheskij aspekt mineral'nogo pitaniya rastenij*. Moscow: Agropromizdat; 1991. 416 s.
11. Polonskij VI, Surin NA. *Ocenka zernovyh kul'tur na ustojchivost' k neblagopriyatnym `ekologicheskim faktoram*. Novosibirsk; 2003. 128 p.
12. Pleshkov LS, Zaslavskaya NV. *Sposob diagnostiki ustojchivosti rastenij k dejstviyu alyuminiya i marganca*. Moscow; 1988. 17 p.

13. Bugakov PS, Chuprova VV. *Agrohimicheskaya harakteristika pochv zemledel'cheskoj zony Krasnoyarskogo kraja: uchebnoe posobie*. Krasnoyarsk: KSAU; 1995. 176 s.
14. Demidenko GA, Shevcova LN. *Baza dannyh Pochvenno-klimaticheskaya harakteristika prirodnih zon (podzon) Prienisejskoj Sibiri*. Svidetel'stvo o registracii bazy dannyh № 2023621735 ot 29.05.2023 g.
15. Vozbuckaya AE. *Himiya pochv: uchebnoe posobie*. 3-e izd., ispr. i dop. Moscow: Vysshaya shkola; 1968. 427 p.
16. Chuprova VV. *Ekologicheskoe pochvovedenie: uchebnoe posobie*. Krasnoyarsk: KSAU, 2005. 171 p.
17. Keler VV. Var'irovanie sodержaniya kolichestva klejkoviny v zerne myagkoj yarovoj pshenicy pod vliyaniem meteorologicheskikh uslovij Krasnoyarskogo kraja. *Bulletin of KSAU*. 2020;2:58-62. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-2-58-62. EDN: MQMOBD.
18. Keler VV, Martynova OV, Demeneva AA. Productivity and technological qualities of spring wheat grain in Krasnoyarsk Region. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Krasnoyarsk, 18–20 Nov 2020 g. Vol. 677. Krasnoyarsk; 2021. P. 32050. DOI: 10.1088/1755-1315/677/3/032050. EDN: CMUXRV.
19. Keler VV, Ovsyankina SV, Scheklein DM. Sortovaya specifika vospriimchivosti pshenicy k semennoj infekcii v Krasnoyarskom krae. *Bulletin of KSAU*. 2021;(8):3-10. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8-3-10. EDN: DTKWHB.
20. Ovchinnikova TG, Keler VV. Vliyanie intensivizatsii pedshestvennika na kolichestvo i kachestvo klejkoviny v yarovoj pshenice. In: *Vserossiyskaya (nacional'naya) nauchno-prakticheskaya konferenciya «Aktual'nye problemy agrarnoj nauki: prikladnye i issledovatel'skie aspekty»*, 4–5 Feb 2021. Vol. 2. Nal'chik: Kabardino-Balkarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. V.M. Kokova; 2021. p. 113–116. EDN CKZHEC.
21. Shram NV, Keler VV, Hizhnyak SV, et al. Vliyanie pogodnyh uslovij na nakoplenie belka v zerne myagkoj yarovoj pshenicy. *Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii im. V.R. Filippova*. 2023;(4):29-37. DOI: 10.34655/bgsha.2023.73.4.004. EDN: TRLHEO.
22. Sidorov AV, Neshuaeva NA, Plehanova AL. Adaptivnyj sort myagkoj yarovoj pshenicy Krasnoyarskaya 12. *Bulletin of KSAU*. 2020;(4):10-15.
23. Dymina EV. Zavisimost' produktivnosti yarovoj pshenicy Kantegirskaya 89 ot gidrotermicheskogo rezhima vegetacionnogo perioda. *Agrarnaya Rossiya*. 2009;(5):2-3.
24. Dymina EV. *Povyshenie bioresurnogo potentsiala sortov myagkoj yarovoj pshenicy raznyh grupp spelosti v usloviyah severnoj lesostepi Priob'ya* [abstract dissertation]. Novosibirsk; 2013. 40 p.
25. Fedulov YuP. *Metody opredeleniya ustojchivosti rastenij: kurs lekcij*. Krasnodar: KubGAU; 2015. 39 p.
26. Lipatnikova TYa. *Agrohimicheskaya harakteristika pochv pashni yuga Krasnoyarskogo kraja. Agrohimicheskij Vestnik*. 2017;(2):1-5.

Статья принята к публикации 01.07.2025 / The article accepted for publication 01.07.2025.

Информация об авторах:

Галина Александровна Демиденко¹, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и ботаники, доктор биологических наук, профессор

Сергей Витальевич Хижняк², профессор кафедры экологии и природопользования, доктор биологических наук, профессор

Information about the authors:

Galina Aleksandrovna Demidenko¹, Professor at the Department of Landscape Architecture and Botany, Doctor of Biological Sciences, Professor

Sergey Vitalievich Khizhnyak², Professor at the Department of Ecology and Nature Management, Doctor of Biological Sciences, Professor