

## Индикаторные признаки адаптации субтропических древесных растений на основе комплексных исследований

**Виктория Алексеевна Семенютина**

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения  
Российской академии наук  
Волгоград, Россия  
VSem89@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-7345-2740

**Игорь Петрович Свинцов**

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения  
Российской академии наук  
Волгоград, Россия  
igorsvintsov@yandex.ru  
ORCID: 0000-0003-2138-7390

Поступила в редакцию: 11.12.2018

Принята: 27.01.2019

Опубликована: 15.03.2019

**DOI: 10.25726/NM.2019.60.66.005**

### Аннотация

Для Нижнего Поволжья со сложными почвенно-климатическими условиями прогнозы несут рост продолжительности вегетации, увеличение тепла, смягчение зим. Это указывает на необходимость исследований субтропических растений для объективной оценки выявления механизмов их адаптации и перспективности для создания защитных лесных насаждений в малолесных регионах. Теоретический и практический интерес для Волгоградской области представляет ценное плодое, лекарственное, лесомелиоративное и декоративное растение-кустарник (унаби) *Zizyphus jujuba* Mill. (семейство *Rhamnaceae*).

Цель исследований – изучить эколого-физиологические особенности субтропических древесных растений *Zizyphus jujuba* и выявить индикаторные признаки их адаптации в Волгоградской области. Объектами исследований являлись сортовые растения унаби (Та-ян-цао, Южанин – крупноплодные, Дружба, Финик – среднеплодные, Сочинский, Темрюкский – мелкоплодные). Они испытываются в Волгоградской области впервые, получены из ФГБНУ ВНИИЦиСК (г. Сочи) и возделываются в ФГБНУ ФНЦ агроэкологии РАН (Волгоградская область, Россия). Почвы экспериментального участка (50°4′-50°5′ с.ш. и 45°22′-45°23′ в.д.) характеризуются небольшим содержанием гумуса (с 0,57 до 1,15 %). Выявлено, что для района исследований (Волгоградская область) характерны небольшое количество осадков, низкие температуры зимой, высокие – летом, засухи высокой и средней интенсивности. Амплитуда абсолютных максимумов и минимумов варьирует от семидесяти восьми (сухая степь) до девяноста градусов по Цельсию (полупустыня). Установлено, что агроклиматические ресурсы ареалов естественного распространения отличаются от пунктов введения *Zizyphus jujuba* Mill. в культуру. Разные уровни морфологической изменчивости, а также водообеспеченности приводят к изменению способности расходовать и удерживать воду, к дефициту влаги в листьях у *Z. jujuba*. Незначительное влияние засухи на состояние надземных органов растений в острозасушливые периоды отмечено у среднеплодных и крупноплодных сортов. Повреждаются молодые недревесневшие побеги (при температуре воздуха около 40 °С и снижении влажности воздуха до 10%). Снижение тургора листьев наблюдалось при показателях водного дефицита – 28,3-35,8 %. Водный дефицит снижается на 6-10 % увеличением возраста, что обусловлено повышением адаптации и регуляции водного баланса.

По показателям относительного выхода электролитов определены группы по степени засухоустойчивости: низкая – Южанин, Та-Ян-Цао (4,23-4,71), средняя – Финик, Дружба (3,10-3,61) и

высокая – Темрюкский, Сочинский (1,64-1,99). Экологическая толерантность различных организмов к низким температурам достаточно специфична. Оценка различных сортов *Zizyphus jujuba* в условиях светло-каштановых почв показала, что адаптация растений к низким температурам повышается с увеличением возраста. У мелкоплодных сортов с увеличением возраста повреждения незначительны. По материалам вегетационного опыта установлены пределы экологической толерантности мелкоплодных форм *Zizyphus jujuba* к хлоридному засолению, что дает возможность прогнозировать их успешное выращивание на почвах с содержанием ионов хлора 0,1%. Таким образом, проведенные комплексные эколого-физиологические исследования адаптационной способности субтропических растений *Zizyphus jujuba* выявили индикаторные признаки, позволяющие оценивать и прогнозировать степень адаптации в зависимости от сортовой принадлежности и реакцию на стрессовые факторы, специфичные для условий Нижнего Поволжья.

### **Ключевые слова**

индикаторные признаки, адаптация, субтропические растения, *Zizyphus jujuba*, биоразнообразие, обогащение дендрофлоры, засушливые условия, Нижнее Поволжье

Исследования выполнены по теме Государственного задания №0713-2019-0004 ФНЦ агроэкологии РАН

### **Введение**

Набор лимитирующих факторов, обусловленный засушливым климатом Нижнего Поволжья, является препятствием для введения древесных растений в культуру. В связи с этим первостепенное значение имеет оценка видов и сортов по отношению к неблагоприятным условиям среды. В результате адаптации (приспособления) происходит регуляция жизнедеятельности в соответствии с параметрами ограничивающих факторов. Для Нижнего Поволжья со сложными почвенно-климатическими условиями прогнозы несут рост продолжительности вегетации, увеличение тепла, смягчение зим (Сажин, 2017) Это указывает на необходимость исследований субтропических растений для объективной оценки выявления механизмов их адаптации и перспективности для создания защитных лесных насаждений в малолесных регионах. Теоретический и практический интерес для Волгоградской области представляет ценное плодое, лекарственное, лесомелиоративное и декоративное растение-кустарник (унаби) *Zizyphus jujuba* Mill. (семейство *Rhamnaceae*).

По данной области знаний имеется ряд зарубежных научных статей, монографий (Карнатовская, 2013; Сажин, 2017; Семенютина, 2005). Поиск из базы данных Agriis выявил в общей сложности более тысячи научно-исследовательских работ по роду *Zizyphus* Mill. Ведущие страны в исследованиях – Китай, Индия и Корея. На их долю приходится большой объем работ (Queiro, 2006). Многие авторы указывают, что центрами происхождения унаби в Китае являются провинции Шэньси и Шаньси (Красовский, 2007). Он постепенно распространился в странах Центральной Азии, а затем Кавказа и Крыма. В регионах Украины, России, Чехии *Zizyphus* стал называться субтропическим растением (Семенютина, 2005; Синько, 2012; Mishra, 2009).

Исследователи отмечают, относительно высокую морозостойкость *Z.jujuba*. Во время глубокого зимнего покоя растения выдерживают температуру до минус 30 °С (Карнатовская, 2013; Красовский, 2007). Культура нуждается в большом количестве света, что подтверждается более ранним созреванием хорошо освещенных побегов, в периферийных частях кроны плодов гораздо меньше (Синько, 2012).

Количество осадков и температура являются основными лимитирующими факторами для получения оптимального качества и урожайности культивируемых кустарников унаби (*Zizyphus jujuba* Mill.). Адаптация к высоким и низким температурам является важной целью многих программ по адаптации унаби. Толерантность различных организмов по отношению к одному и тому же фактору достаточно специфична. Организмы, которые могут существовать при большой амплитуде факторов – эврибионты, при малой амплитуде – стенобионты.

Некомфортный диапазон факторов (высокие/низкие температуры, высокая концентрация солей и др.) вызывает стресс. Трудно определить оптимальное значение фактора с достаточной точностью,

на, что указывают многие исследователи. Особенно это касается солеустойчивости растительных организмов (Семенютина, 2013; Garnier, 2002; Shen, 2009).

Цель исследований – изучить эколого-физиологические особенности субтропических древесных растений *Zizyphus jujuba* и выявить индикаторные признаки их адаптации в Волгоградской области.

В задачи исследований входило:

- изучение параметров водного режима и засухоустойчивости сортов унаби по показателям (водный дефицит, водоудерживающая способность, коллоидно-осмотические свойства протоплазмы);
- определение диапазона толерантности различных организмов к низким температурам и хлоридному засолению.

#### **Материалы и методы исследования**

Для района исследований (Волгоградская область) характерны небольшое количество осадков, низкие температуры зимой, высокие – летом, засухи высокой и средней интенсивности (Васильев, 2016; Брылев, 2011). Амплитуда абсолютных максимумов и минимумов варьирует от семидесяти восьми (сухая степь) до девяноста градусов по Цельсию (полупустыня). Для области характерно обилие тепла и света. По А.Н. Сажину (Сажин, 2017) продолжительность солнечного сияния отличается по зонам (2,35 тыс. ч. – сухостепная, 2,44 тыс. ч. – полупустынная).

Ограничивающими факторами для субтропических растений в Волгоградском регионе являются частое повторение засушливых лет, недостаточное увлажнение, низкие зимние температуры.

Агроклиматические ресурсы ареалов естественного распространения отличаются от пунктов введения *Zizyphus jujuba* Mill. в культуру. Успешность адаптации растительных организмов в новых условиях зависит от сходства климата. Кластерный анализ по расчёту евклидовых расстояний дает сравнительную оценку сходства пунктов интродукции с естественным ареалом (Рисунок 1).

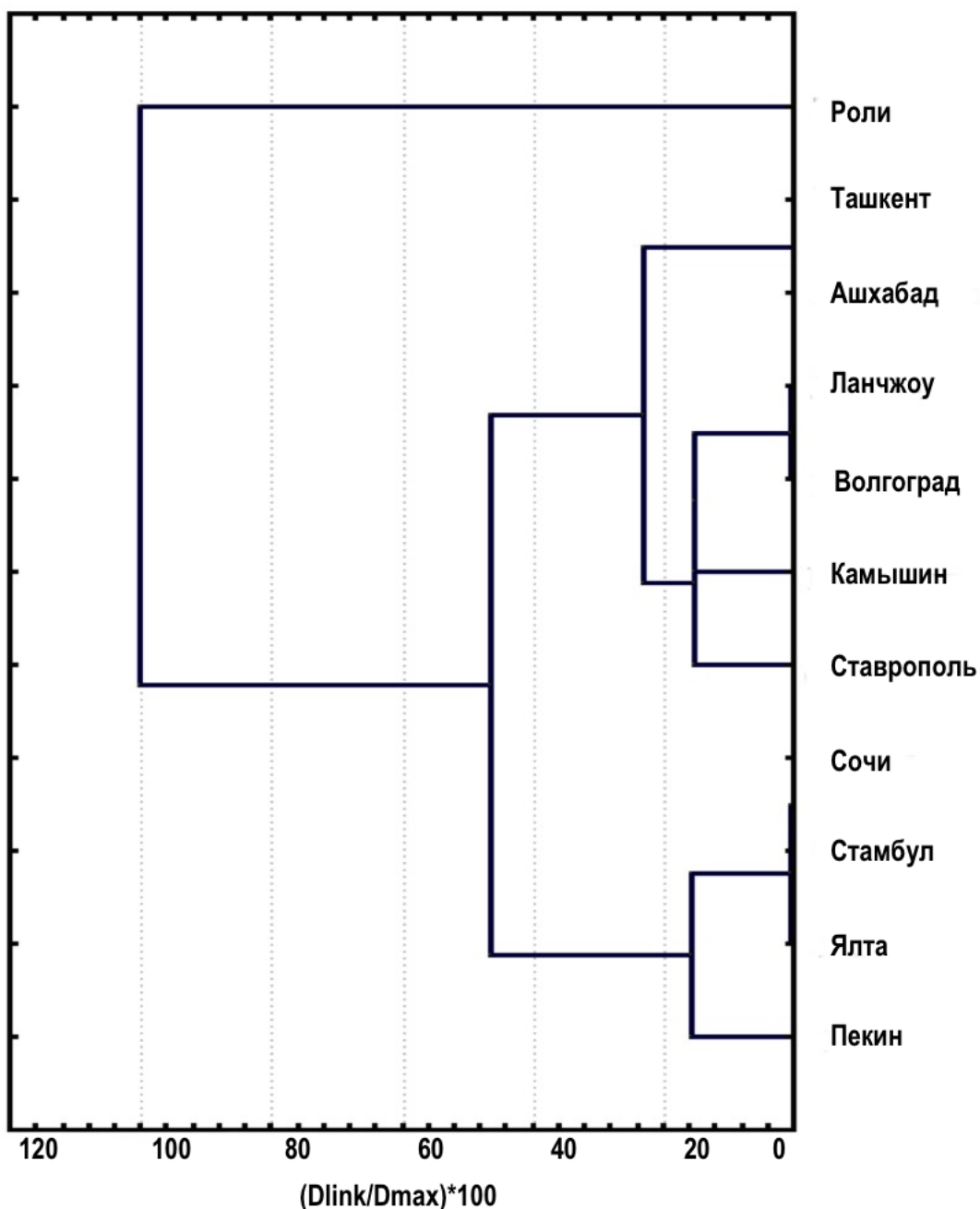
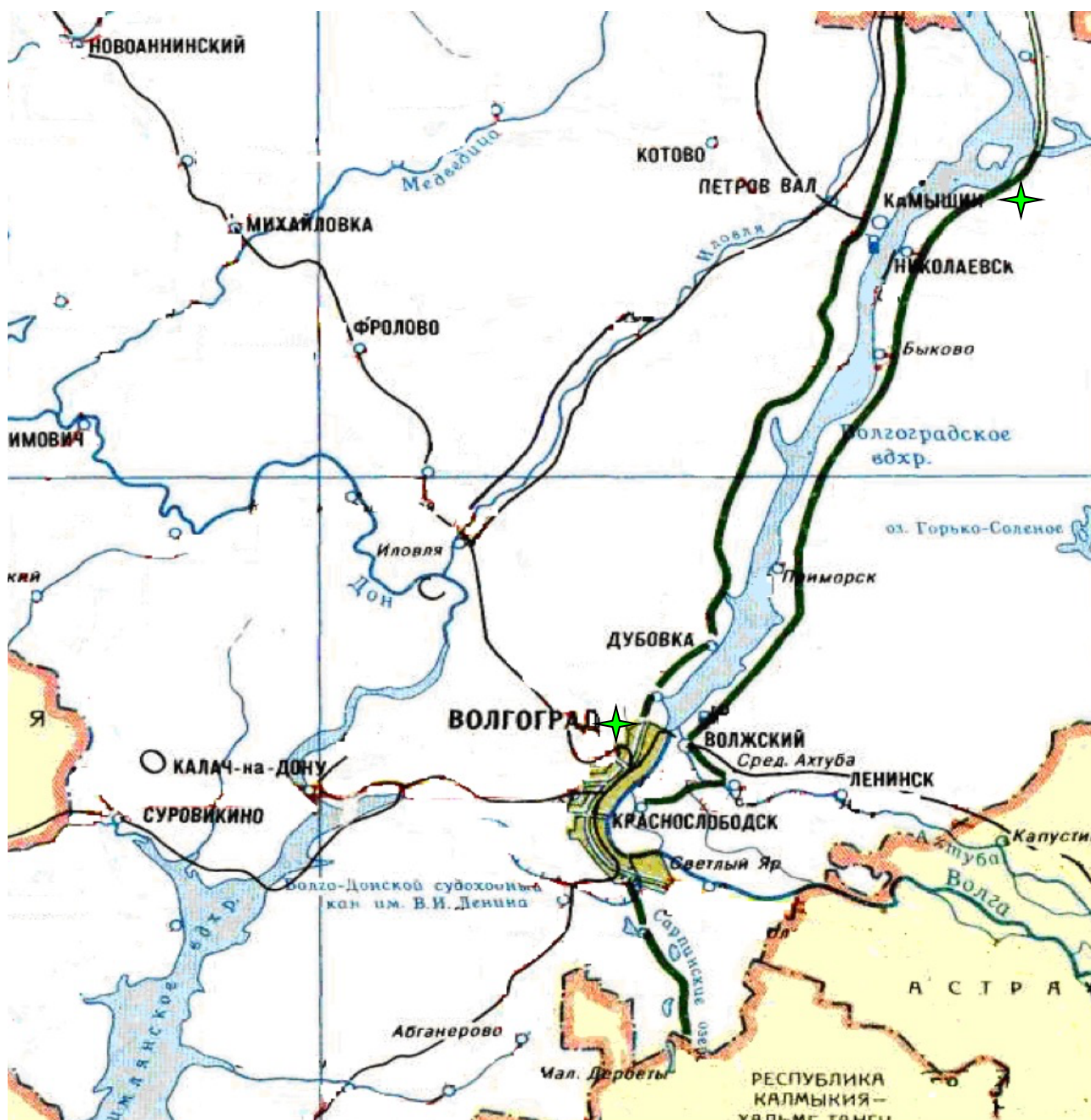


Рисунок 1. Дендрограмма сходства климатических характеристик ареалов *Zizyphus jujuba* Mill.

Климат региона исследований (Волгоградская область) по характеристикам находится между северо-востоком Средиземноморья и континентальными районами Азии (Брылев, 2011). Климат Волгоградской области имеет некоторое сходство с климатом Крыма и районами юго-западной Азии (границами естественного ареала унаби).

Объектами исследований являлись сортовые растения унаби (Та-ян-цзао, Южанин – крупноплодные, Дружба, Финик – среднеплодные, Сочинский, Темрюкский – мелкоплодные). Они испытываются в Нижнем Поволжье впервые, получены из ФГБНУ ВНИИЦиСК (г. Сочи) и возделываются в ФГБНУ ФНЦ агроэкологии РАН (Волгоградская область, Россия) (Рисунок 2).



★ объекты исследований Масштаб 1: 2 500 000  
Рисунок 2. Расположение объектов

Крупноплодные сорта: Та-ян-цао – китайский сорт, дерево среднего размера, крона раскидистая, боковые побеги без колючек, плоды крупные, масса до 50 г; Южанин – дерево среднего размера, крона раскидистая.

Среднеплодные сорта: Дружба, Финик с массой плода 10-15 г. Устойчивость к морозам выше, чем у крупноплодных сортов.

Мелкоплодные – Сочинский, Темрюкский с высокой урожайностью, зимостойкость хорошая, характеризуются меньшим содержанием сахара.

Методологические основы изучения растительных организмов *Zizyuba* направлены на выявление их экологической пластичности, как адаптации реакций на новые условия внешней среды (Рисунок 3).

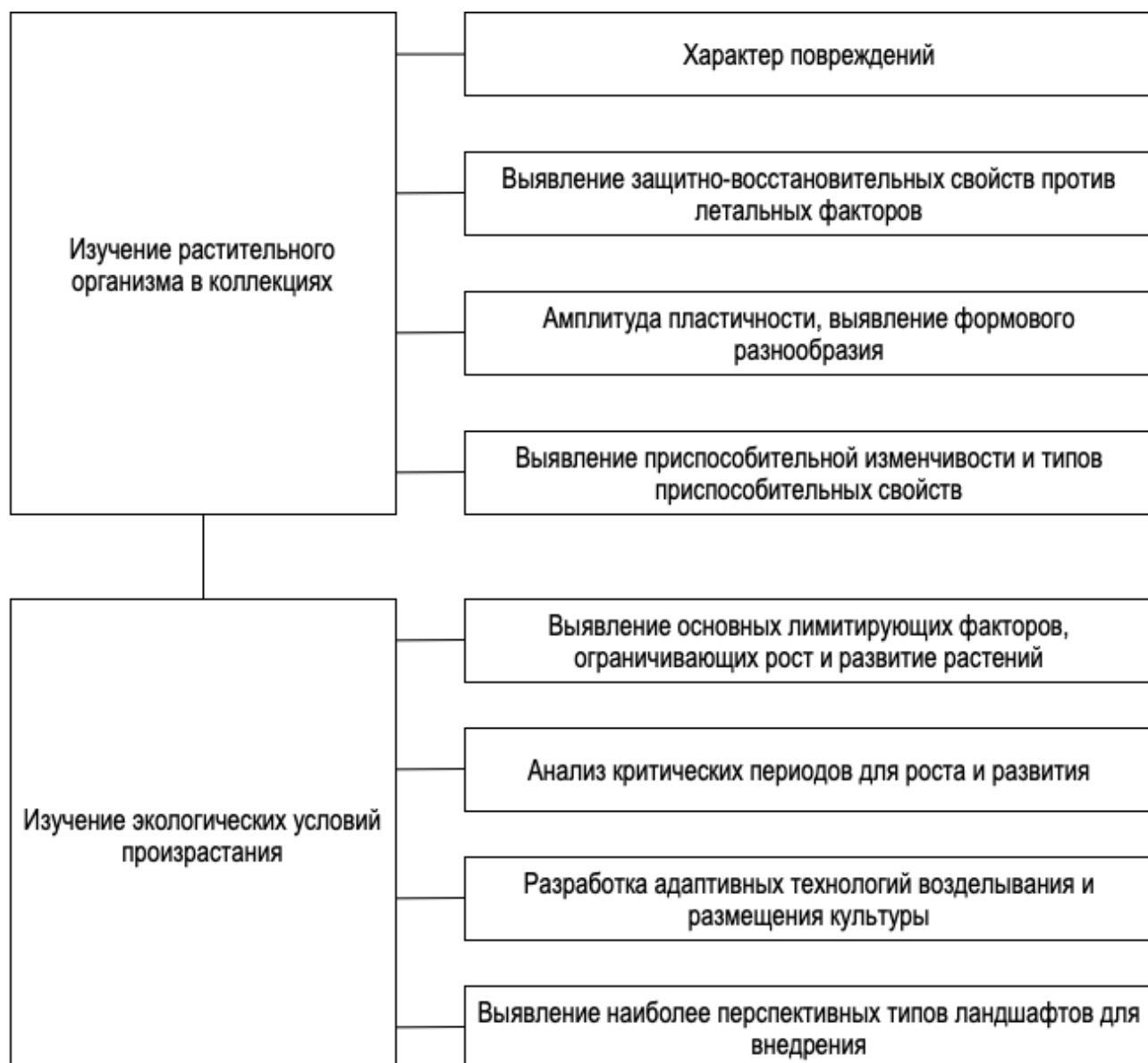


Рисунок 3. Методологические основы изучения растительных организмов как системы («генотип – среда»)

Биоэкологическое обоснование применения сортов *Zizyphus jujuba* базируется на изучении экологических условий среды и растительных организмов в коллекции, установлении пределов существования особей, выявлении их физиологических изменений. Размещение растений в вариантах по сортам 6×4 м, повторность трехкратная. Исследования проводились в период с 2012 по 2016 гг. в полевых и лабораторных условиях (Доспехов, 1985).

Выделение природных районов Волгоградской области по Кретинину В.М. и Сажину А.Н. и др. (Сажин, 2017). Характеристика особенностей экологических условий коллекционного участка (территория ФГУП «Волгоградское») оценена в ходе обследований. Описание, определение гранулометрического состава горизонтов профиля (методом Захарова). Проводился отбор почвенных образцов по ГОСТ 26423-85, 26428-85, 26213-91 «Почвы».

Определение солеустойчивости растений *Zizyphus jujuba* проводили в почвенной культуре (фон – Cl- засоление). Саженцы высаживались в вегетационные сосуды, и после того, как они приживались, вносился для засоления: 1) р-р NaCl с содержанием 0,1% ионов хлора, 2) р-р – 0,2 %. Влажность почвы – семьдесят процентов от полной влагоемкости. Фазы развития растительных организмов фотофиксировались. Выносливость к низким температурам фиксировалась в полевых условиях и подтверждалась при промораживании образцов растений в климатической камере КХТВ-0,22 (Рисунок 4).



Общий вид климакамеры КХТВ – 0,22



меню температуры и влажности





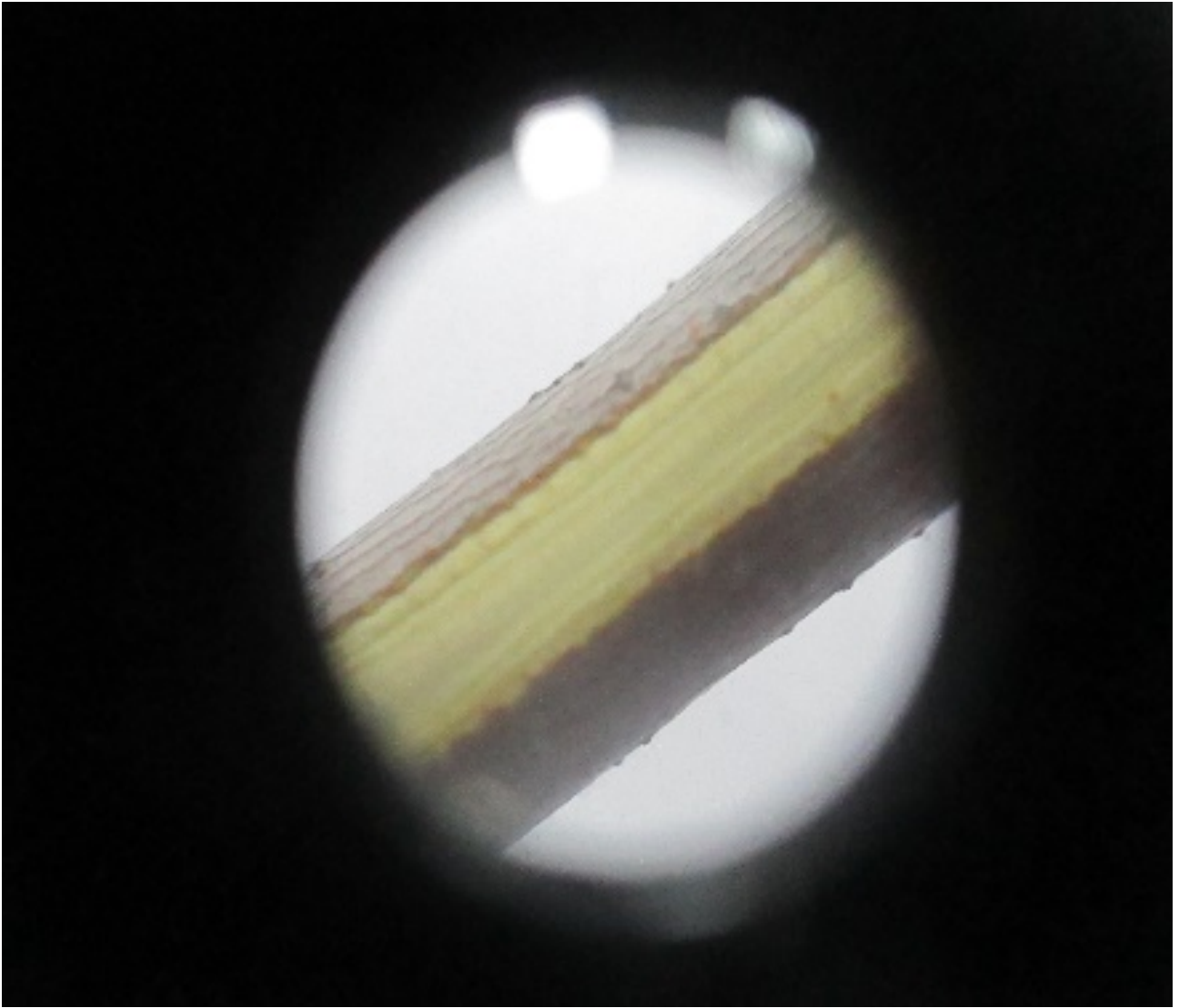
подготовка материала



закладка материала







A







Б  
А – 30 °С; Б – 37 °С

Рисунок 4. Фотофиксация процесса промораживания различных сортов

Зимостойкость в открытом грунте оценивалась балльной шкалой по Лапину П.И., Сидневой С.В. (Лапин, 1973):

Один балл – не обмерзают; два балла – обмерзают меньше половины длины побегов (однолетних); три балла –  $-//-//-//-$  больше половины длины или полностью весь побег; четыре балла –  $-//-//-//-$  старые побеги; пять баллов –  $-//-//-//-$  ствол и крона выше уровня снежного покрова; шесть баллов –  $-//-//-//-$  все части (надземные) растительных организмов; семь баллов –  $-//-//-//-$  целиком (ствол, крона, корневая система).

Отношение к стресс-факторам и повреждения определялись в зимний (по зимостойкости) и летний (по засухоустойчивости) периоды.

Эколого-физиологические аспекты адаптации к засухе в зависимости от сортовой принадлежности определяли по результатам комплексных исследований. Изучение водного режима и засухоустойчивости сортов унаби осуществляли по показателям: водный дефицит, водоудерживающая способность, коллоидно-осмотические свойства протоплазмы (Кузнецов, 2011; Полевой, 2001; Свинцов, 2014; Семенютина, 2013).

Оводнённость (О), %.

Высушивали навеску растительного материала массой 3,5-5,0 г до постоянной массы (при 105°С). Далее общее содержание H<sub>2</sub>O определяли по формуле:

$$O = \frac{a \times (b - c)}{b - a}, \text{ где}$$



Масса, г : пустого бюкса (а), с сырой (b) и сухой навеской (с).

Состояние коллоидно-осмотических свойств протоплазмы определяли электролитическим методом (кондуктомер S230Kit) по относительному выходу электролитов засуха/контроль и степени проницаемости клеточных мембран.

Почвенные образцы на влажность отбирали в трех точках и трех повторностях, глубиной до двух метров с интервалами двадцать сантиметров.

Для обоснования возможности использования сортов унаби в многофункциональных лесонасаждениях Волгоградской области разработаны научные принципы: прогнозирование–наблюдение–эксперимент–обобщение–конечный результат.

Объективность результатов подтверждена пакетной обработкой и отчетностью шестнадцати показателей критериев кластеров *Z.jujuba* по евклидовым расстояниям и распределением кластерных признаков по шкалам категорий и степени экологической пластичности, основанные на статистической обработке экспериментальных данных с помощью MS Excel 2011, STATISTICA 8.0 и интернет-сервисов.

### Результаты и обсуждение

Почвы участка (50°4′-50°5′с.ш. и 45°22′-45°23′ в.д.) экспериментальных посадок характеризуются небольшим содержанием гумуса (с 0,57 до 1,15 %).

#### Описание почвенного разреза \*

|                |            |   |
|----------------|------------|---|
| A <sub>0</sub> | 0-10 см    | Лесная подстилка. Сухой, темно-серый. Структура рыхловатая. Пронизан корнями растений   |
| A              | 11-25 см   | Сухой, серовато-коричневый. Структура глыбовато-комковатая. Плотноватый, пронизан корнями растений, переход постепенный   |
| B <sub>1</sub> | 26-50 см   | Сухой, светло-коричневый, с гумусовыми пятнами и потеками, тяжелее предыдущего. Структура глыбистая, призмовидная. Пронизан корнями растений. Вскипает с глубины 50 см. Переход четкий. |
| B <sub>2</sub> | 51-107 см  | Сырой, светло-коричневый, легкосуглинистый. Бесструктурный, уплотненный, пестрый от белоглазки, максимальные отложения белоглазки до глубины 107 см. Вскипает бурно.                    |
| BC             | 108-134 см | Влажный, песчаный, зеленоват-желтый, бесструктурный, рыхлый. Переход постепенный.   |
| C              | 134-200 см | Влажный сероват-зеленый песок, бесструктурный, рыхлый.  |

\* светло-каштановые, среднесуглинистые, средне мощные

Валовое содержание азота и фосфора небольшое, калия – средняя обеспеченность, рН= 7,2 (Таблица 1).

Таблица 1. Гумус и биофильные элементы почв, %

| Слой, см             | Гумус, % | N     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|----------------------|----------|-------|-------------------------------|------------------|
| A <sub>0</sub> 0-10  | 1,15     | 0,061 | 0,123                         | 0,796            |
| A 11-25              | 0,89     | 0,054 | 0,116                         | 0,920            |
| B <sub>1</sub> 26-50 | 0,81     | 0,051 | 0,087                         | 0,714            |
| B <sub>2</sub> 51-80 | 0,57     | 0,036 | 0,215                         | 0,893            |

Засоление почв отсутствует (Таблица 2).

Таблица 2. Состав водорастворимых солей\*

| Слой, см             | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup>       | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Ca <sup>2+</sup>      | Mg <sup>2+</sup>      | Na <sup>+</sup>       | K <sup>+</sup>        |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| A <sub>0</sub> 0-10  | <u>0,610</u><br>0,037         | <u>0,130</u><br>0,005 | <u>0,610</u><br>0,030         | <u>0,470</u><br>0,009 | <u>0,660</u><br>0,007 | <u>0,190</u><br>0,003 | <u>0,040</u><br>0,002 |
| A 11-25              | <u>0,640</u><br>0,040         | <u>0,090</u><br>0,003 | <u>0,210</u><br>0,010         | <u>0,450</u><br>0,009 | <u>0,300</u><br>0,002 | <u>0,190</u><br>0,004 | <u>0,040</u><br>0,001 |
| B <sub>1</sub> 26-50 | <u>0,790</u><br>0,510         | <u>0,110</u><br>0,004 | <u>0,240</u><br>0,010         | <u>0,500</u><br>0,011 | <u>0,380</u><br>0,004 | <u>0,240</u><br>0,005 | <u>0,060</u><br>0,002 |
| B <sub>2</sub> 51-80 | <u>0,720</u><br>0,045         | <u>0,080</u><br>0,004 | <u>0,510</u><br>0,023         | <u>0,440</u><br>0,009 | <u>0,450</u><br>0,006 | <u>0,410</u><br>0,010 | <u>0,050</u><br>0,002 |

\* – числитель – мг. экв.; знаменатель – %; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> по профилю (до 0,8 м) нет.

Как показали наши исследования, оводненность всех изученных сортов *Zizyphus jujuba* указывает на их засухоустойчивость в условиях Нижнего Поволжья, т.к. незначительно изменяется в течение вегетации и связана с общим запасом влаги в почве. Закономерностью для унаби является падение оводнённости листьев в связи со снижением влажности почвы (Рисунок 5).

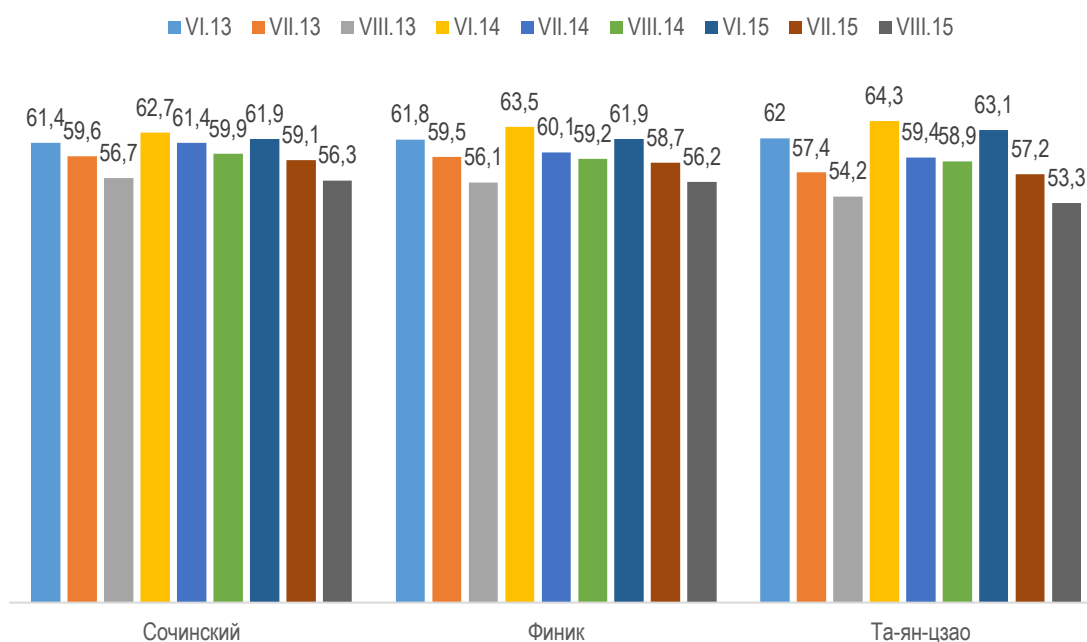


Рисунок 5. Процент оводненности унаби (от сырого веса навески); экспериментальные посадки, светло-каштановые почвы

Исключением являются растения с крупными плодами ('Та-ян-цзао').

Водный дефицит зависит от эффективности защитных механизмов растительных организмов (Niinemets, 2001; Niinemets, 2006).

Состояние листьев и побегов растительных организмов *Z. jujuba* после температурного стресса показали различия сортов по эффекту влияния высоких температур (Рисунки 6, 7).

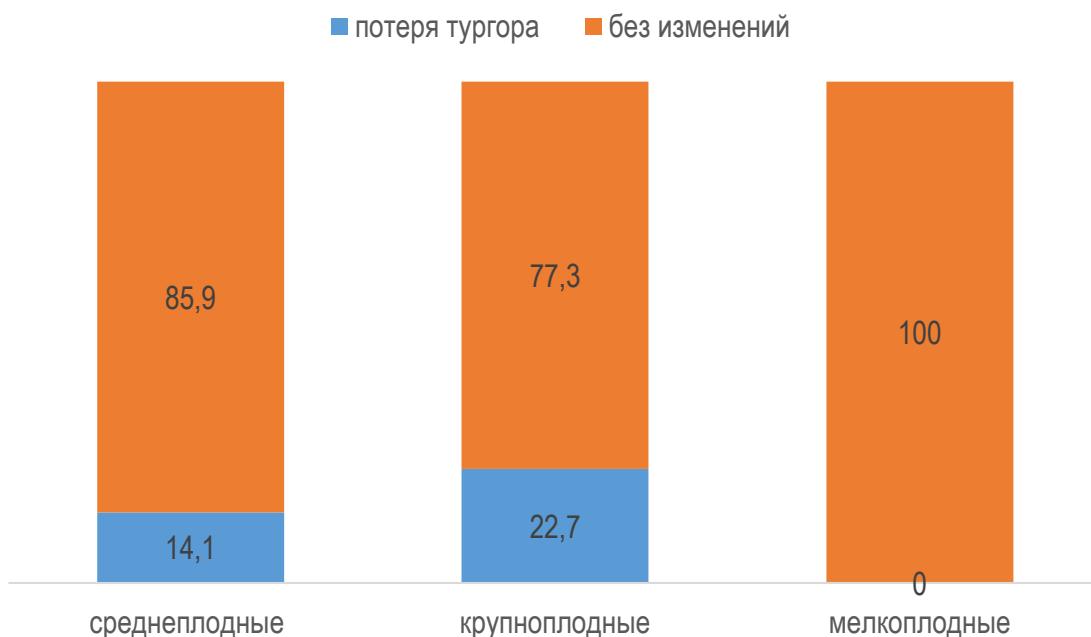


Рисунок 6. Эффект влияния высоких температур (+39,0-40,1°C; 01.VIII.15 г.)

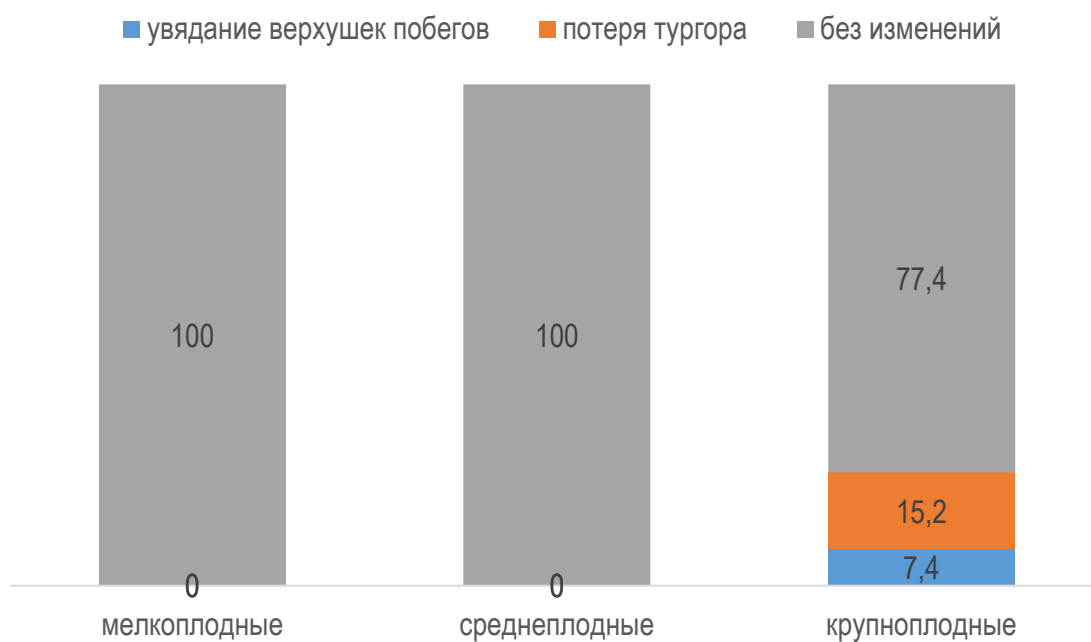
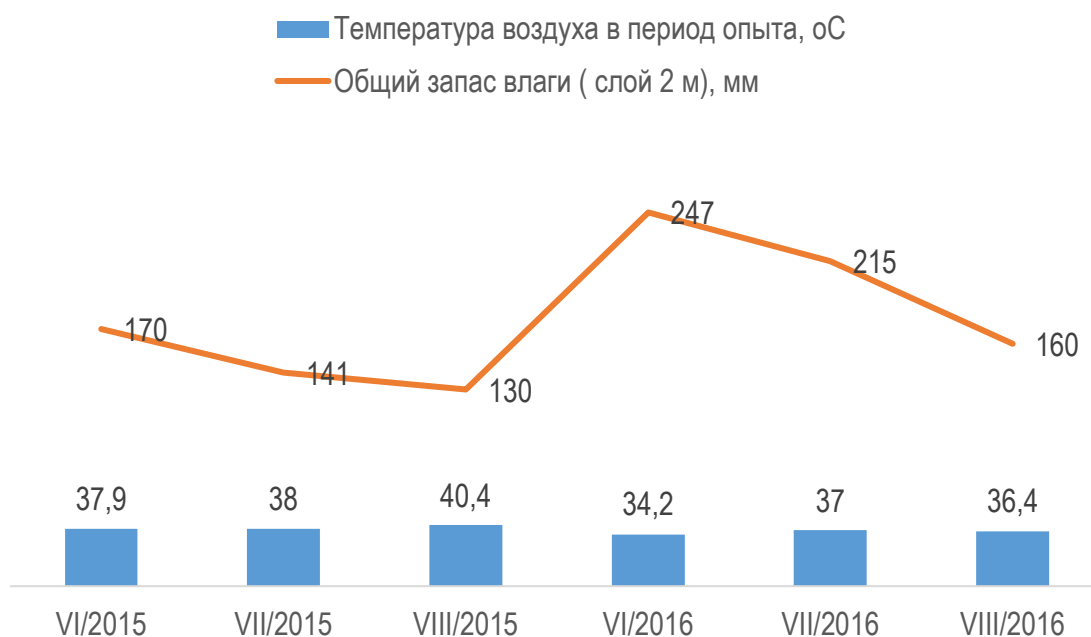
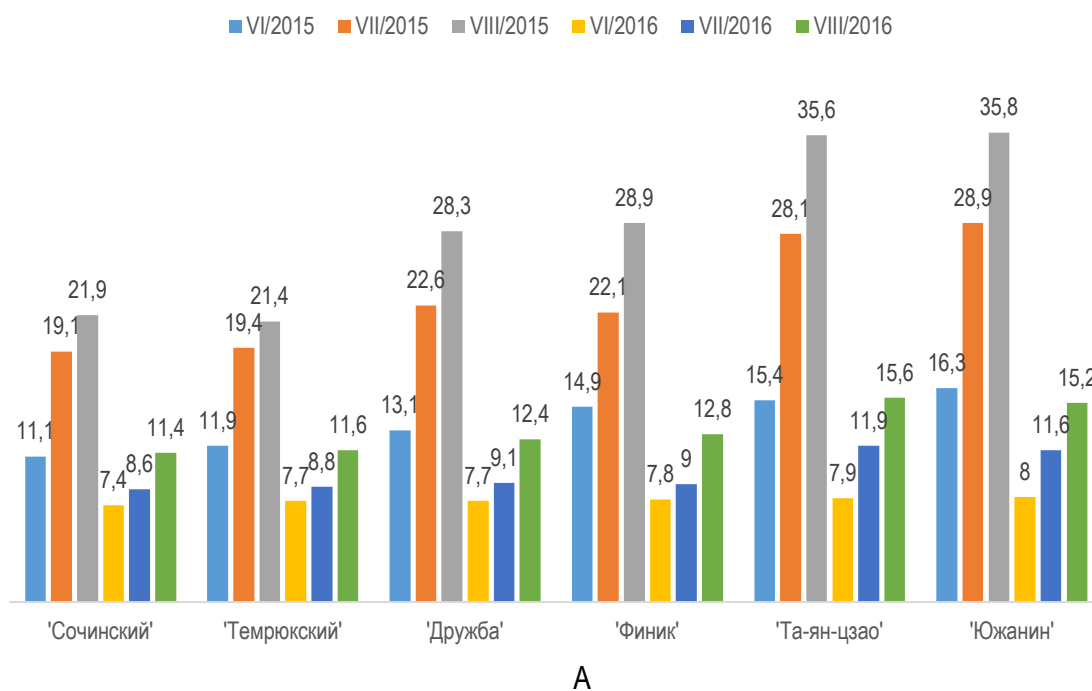


Рисунок 7. Состояние побегов после температурного стресса (+39,0-40,1°C; 01.VIII.15 г.)

Незначительное влияние засухи на состояние надземных органов растений в острозасушливые периоды отмечены у среднеплодных и крупноплодных сортов. Повреждаются молодые неодревесневшие побеги (при температуре воздуха около 40 °С и снижении влажности воздуха до 10%).

Разные уровни морфологической изменчивости, а также водообеспеченности приводят к изменению способности расходовать и удерживать воду, к дефициту влаги в листьях у *Z. jujuba* (Рисунок 8).



**Б**  
 Рисунок 8. Влияние экологических факторов на водный дефицит листьев  
 А – водный дефицит (% от общего содержания в состоянии полного насыщения);  
 Б – температурный режим воздуха (°C) и общий запас влаги (мм)

Снижение тургора листьев наблюдалось при показателях водного дефицита – 28,3-35,8 %. Водный дефицит снижается на 6-10 % с увеличением возраста, что обусловлено повышением адаптации и регуляции водного баланса.

Степень засухоустойчивости растений зависит от водоудерживающей способности и потери воды листьями (Дорошенко, 2016).

Характеристика сортоспецифических особенностей водного режима в разные вегетационные периоды представлена на Рисунке 9.

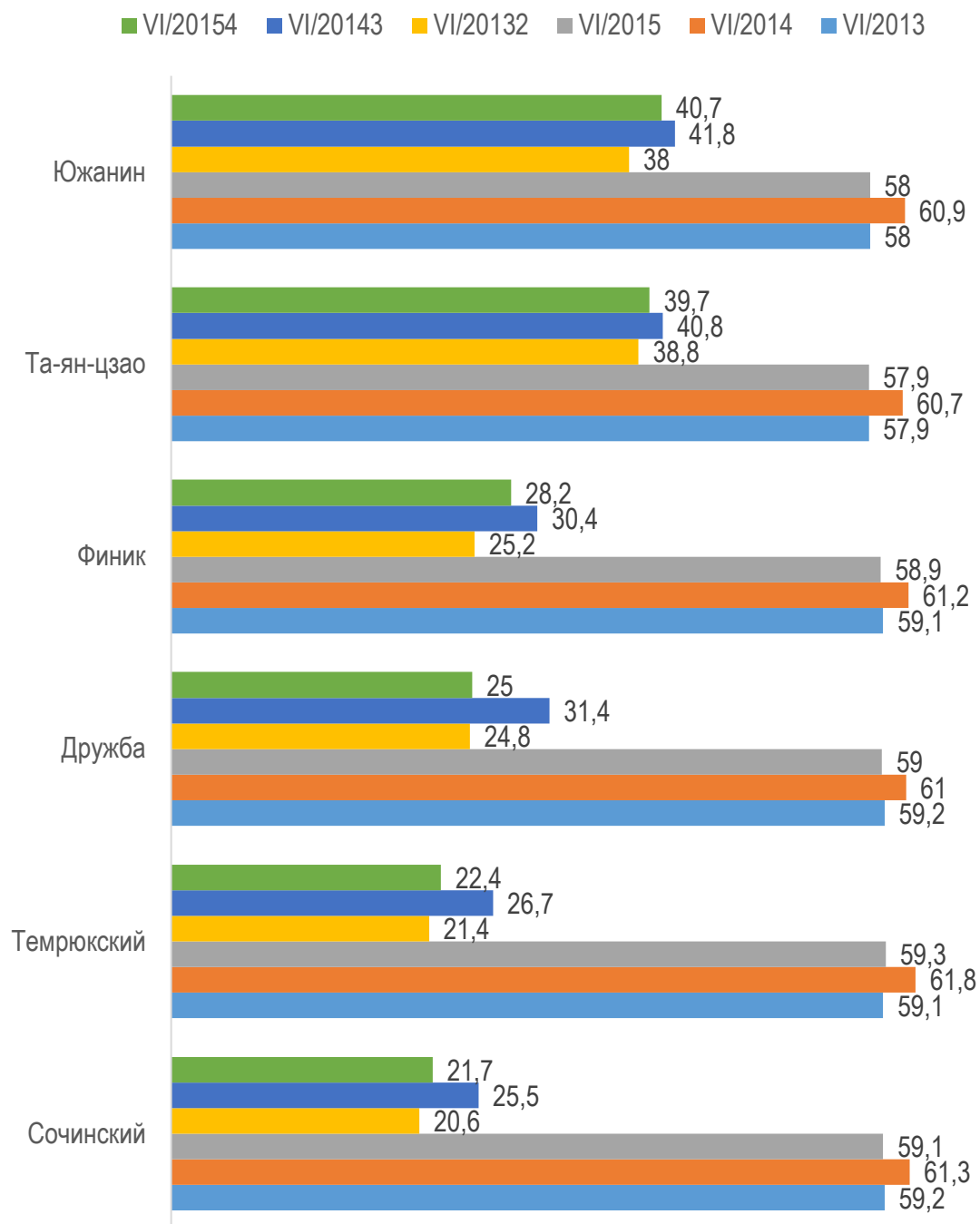


Рисунок 9. Сортоспецифические особенности водного режима *Zizyphus jujuba*

Расчет вододерживающих сил у растительных организмов показал на стабильную оводненность и высокую тургорисцентность тканей листа у образцов мелкоплодных форм (Рисунок 10).

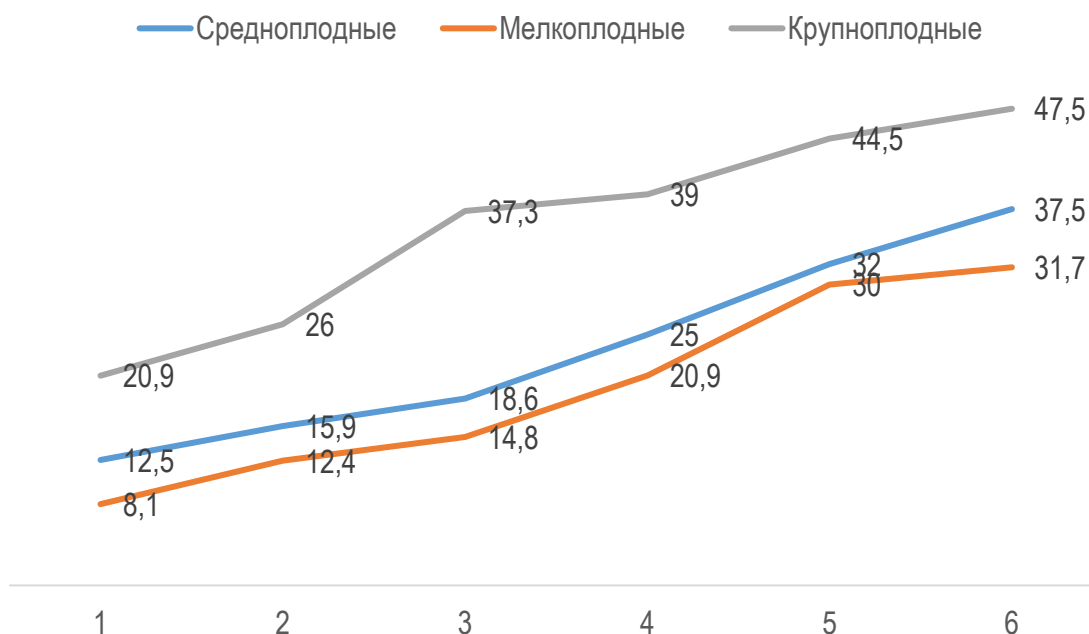


Рисунок 10. Вододерживающая способность листьев *Zizyphus jujuba* на светло-каштановых почвах (июль, 2013 г.)

Многие авторы указывают (Scoffoni, 2011; Volaire, 2008):

- 1) недостаток воды при сильном обезвоживании → увеличение концентрации растворимых веществ → повреждение протоплазматических структур;
- 2) обезвоживание → увеличение проницаемости протоплазмы для электролитов;
- 3) изменение структуры липидного бислоя мембран → нарушение целостности мембран.

Выявлена зависимость показателей выхода электролитов от количества потерянной воды при подсушивании, что выражается в нарушении и изменении коллоидных и осмотических свойств протоплазмы опытных образцов растений. При одинаковой временной экспозиции завядания листьев с высокой способностью удерживать воду увеличивается выход электролитов меньше относительно контроля.

По показателям относительного выхода электролитов определены группы по степени засухоустойчивости: низкая – Южанин, Та-Ян-Цзао (4,23-4,71), средняя – Финик, Дружба (3,10-3,61) и высокая – Темрюкский, Сочинский (1,64-1,99) (Рисунок 11).

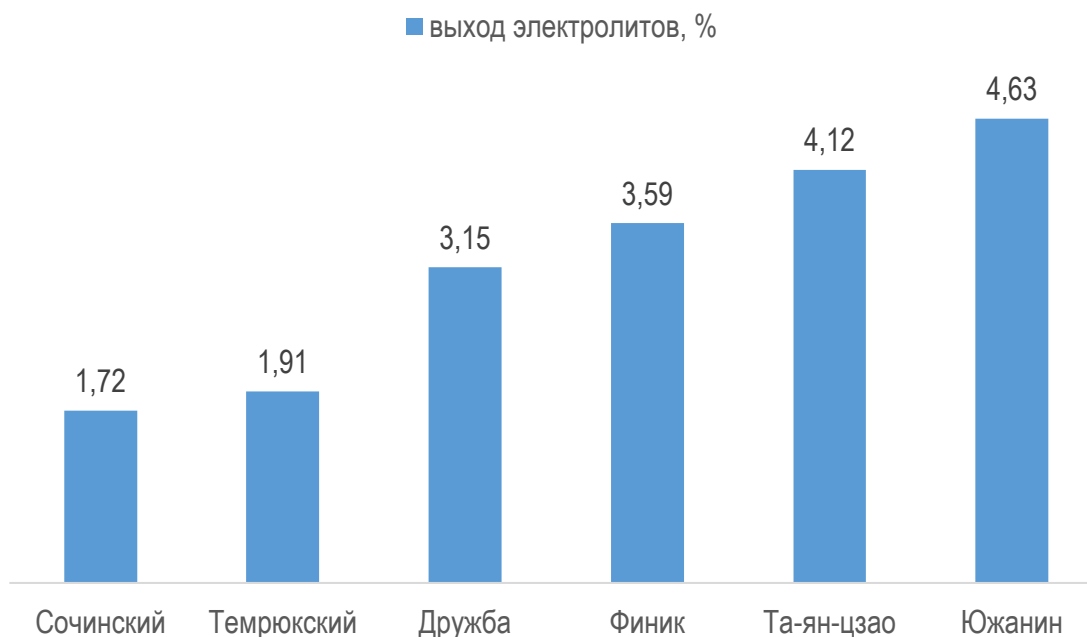


Рисунок 11. Сортоспецифичность растительных организмов унаби по засухоустойчивости (I-III группы)

При частых засухах у растений с увеличением возраста вырабатываются структурные приспособления. Они способствуют возрастанию устойчивости древесных растений к неблагоприятным условиям среды, вслед за снижением показателя выхода электролитов.

Экоморфологической реакцией организма на воздействие экологических стресс-факторов среды являются морфологические и физиологические изменения. У мелкоплодных сортов наблюдается выраженная ксероморфность (утолщение листовых пластинок и клеточных оболочек эпидермиса), как важного показателя их адаптации.

При оценке зимостойкости выявляют повреждаемость растений от воздействия факторов зимнего периода (амплитуда и продолжительность перепадов температур, их абсолютные минимумы, продолжительность и частота морозов, глубина и наличие снежного покрова и т.д.) (Карнатовская, 2013).

Экологическая толерантность различных организмов к низким температурам достаточно специфична (Кузнецов, 2011)

Унаби – субтропическая плодовая культура, поэтому при культивировании сортов и создании искусственных экосистем необходимо уделять внимание комплексному воздействию неблагоприятных факторов. Для условий Дагестана и Киева указывается способность растений *Zizyphus jujuba* переносить зимние температуры до минус тридцати градусов (Алиев, 2011; Красовский, 2007).

Степень зимостойкости различных сортов унаби в условиях Волгоградской области позволили выявить суровые зимы: 1998/1999; 1999/2000; 2005/2006; 2013/2014.

За пятилетний период экспериментальных работ самые низкие температуры наблюдались зимой 2013/2014 (Рисунок 12).



Рисунок 12. Метеорологические показатели зимнего периода 2013/14 гг.

Ранжирование сортов *Zizyphus jujuba* позволяет выявить маловыносливые (стенобионты) и более выносливые (эврибионты) и определить оптимальные условия культивирования и степень экологической пластичности (Рисунок 13).

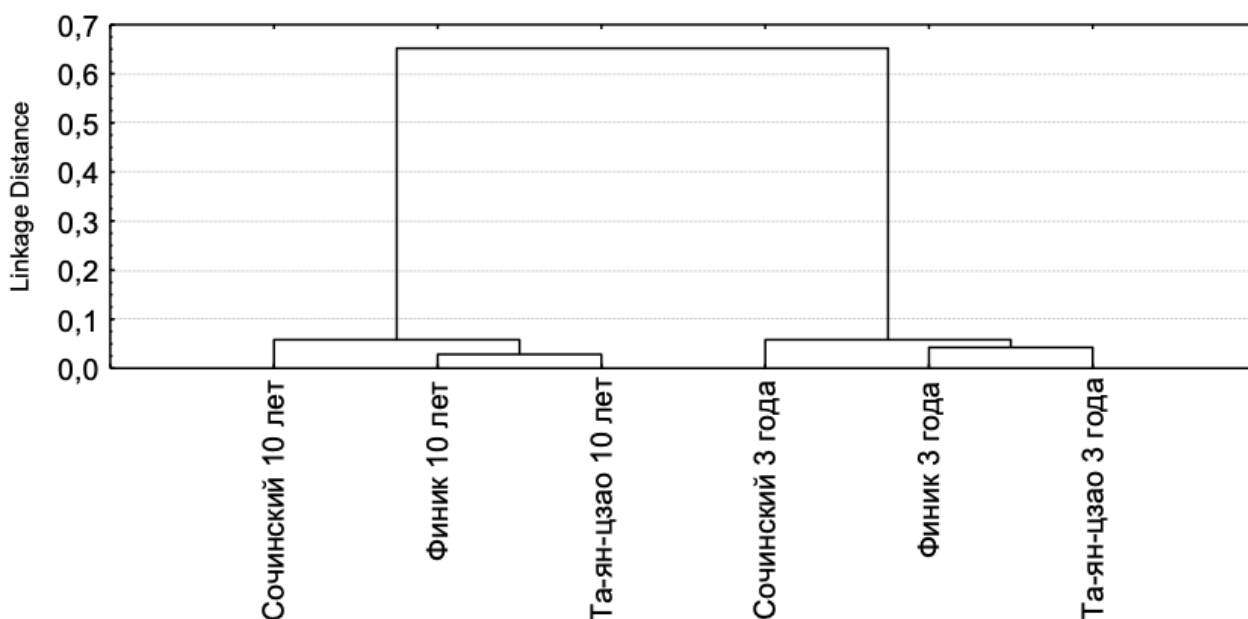


Рисунок 13. Различия сортов *Z. Jujuba* по уровню адаптации к низким температурам

Трёхлетние образцы растений по рассматриваемым характеристикам имеют уровень адаптации ниже, чем десятилетние. Осенью у Та-ян-цао (крупноплодный сорт) из-за длительного периода вегетации существует вероятность повреждения заморозками. У сортов Темрюкского и Сочи́нского с мелкими плодами завершается рост и вегетация раньше, сокращается продолжительность роста побегов. Образцы этих сортов имеют адаптивные преимущества к экстремально низким температурам.

Оценка различных сортов *Zizyphus jujuba* в условиях светло-каштановых почв показала, что адаптация растений к низким температурам повышается с увеличением возраста. Если до трехлетнего возраста зафиксировано значительное подмерзание растений, то в 10-летнем возрасте реакция



растений на критические показатели в зимний период (-33°C) проявлялась только в виде подмерзания 1-2-х летних побегов.

У мелкоплодных сортов с увеличением возраста повреждения незначительны (Рисунок 14).





Рисунок 14. Состояние стволиков и побегов мелкоплодных *Zizyphus jujuba* после воздействия отрицательных температур (-30–33°C)

Растения *Zizyphus jujuba* за период наблюдений проявили различную степень зимостойкости и морозостойкости. Данные по зимостойкости мелкоплодных сортов (Сочинский, Темрюкский) показали их толерантность (Рисунок 15).



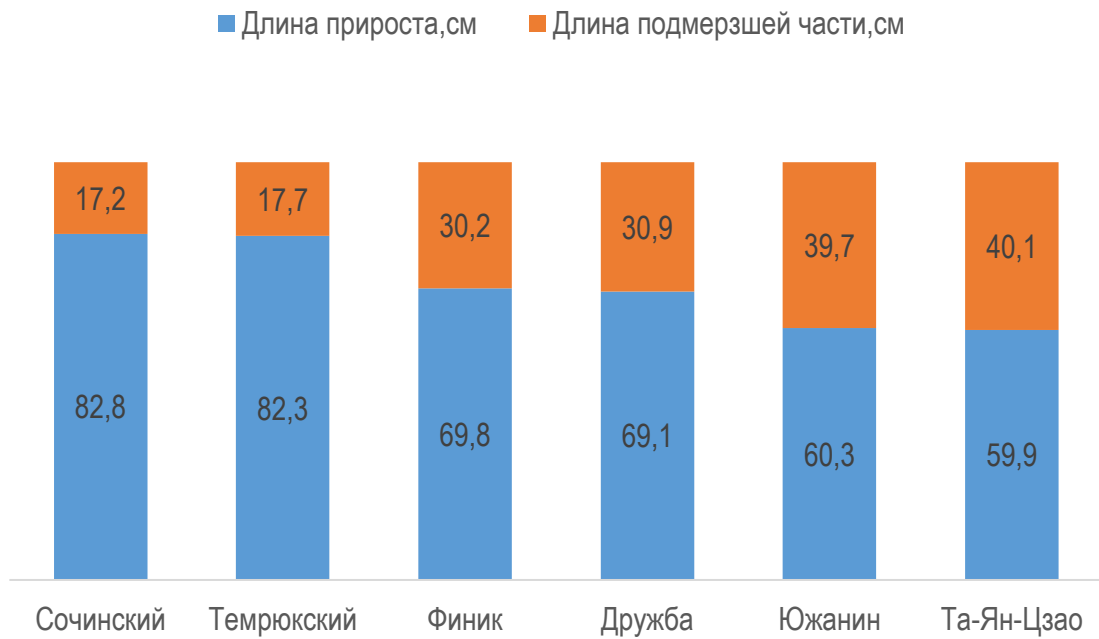
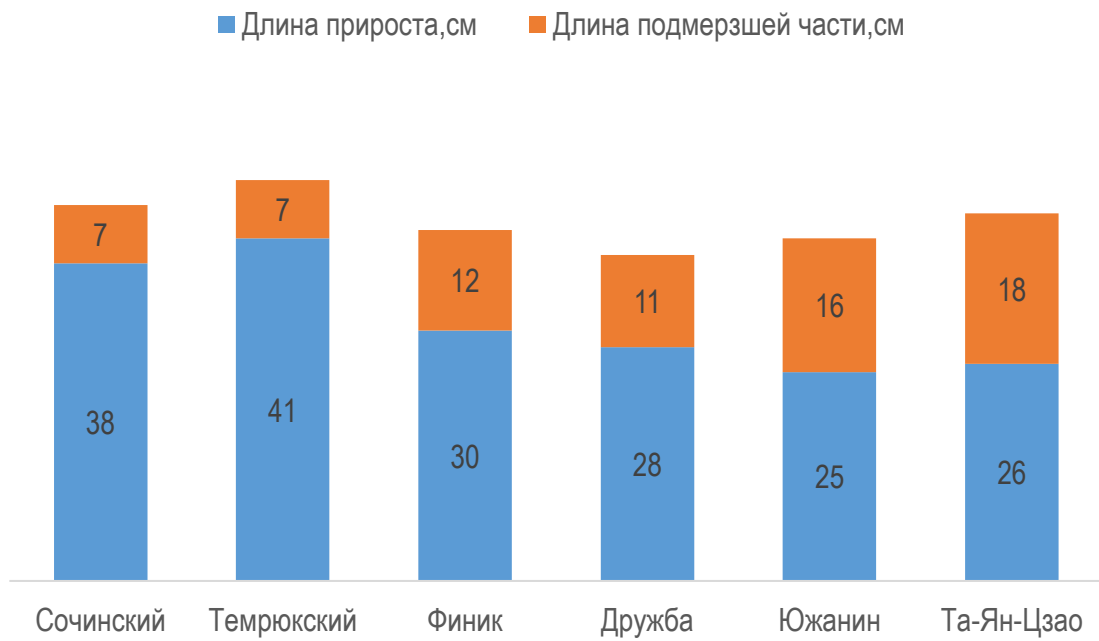
#### 10-летние

\*0,2 – у растений погибает надземная часть; 0,4 – обмерзают скелетные ветви и 2-3-летние побеги; 0,6 – отмирают побеги текущего года и частично повреждаются старые ветви; 0,8 – до 50 % эпизодически повреждаются однолетние побеги; 1,0 – не повреждаются

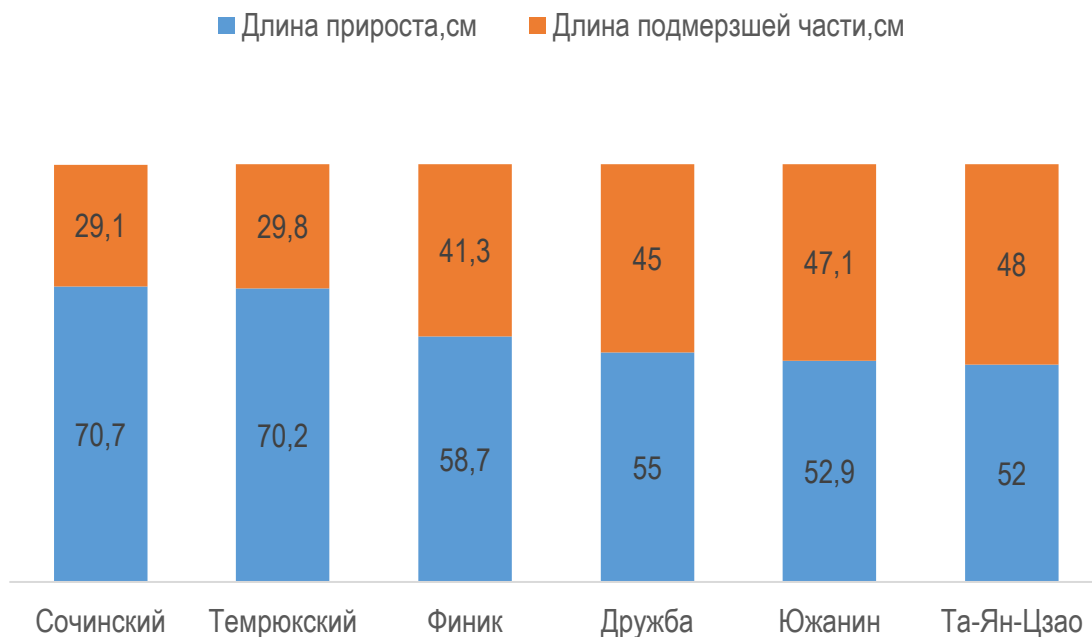
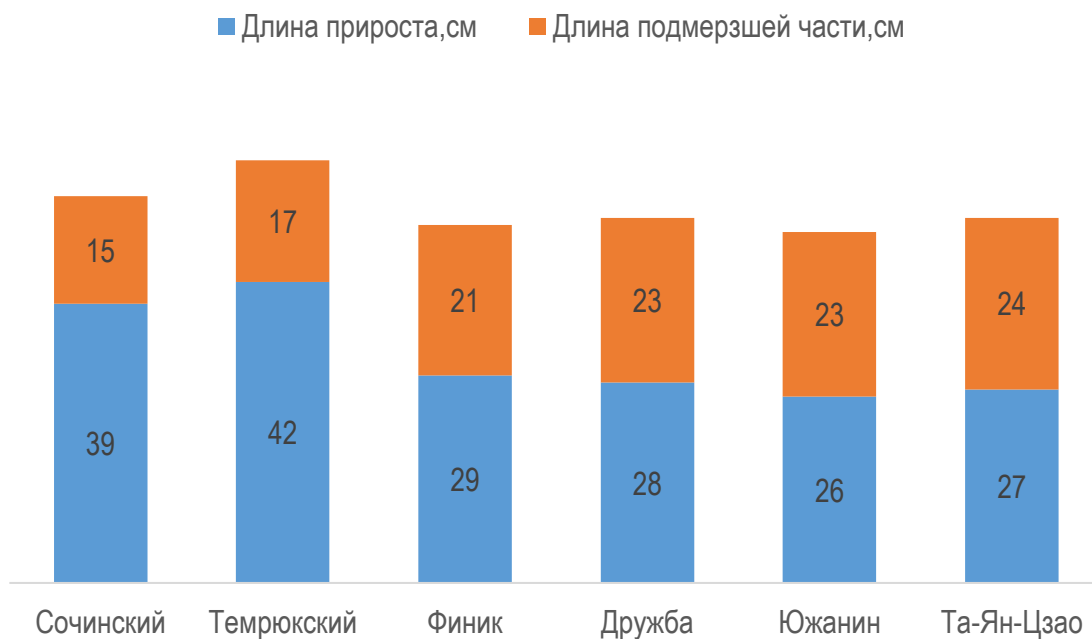
Рисунок 15. Адаптация *Zizyphus jujuba* Mill. разного возраста к экстремально низким температурам

У растительных организмов в условиях северной границы культивирования с целью выявления механизмов адаптации и биоэкологического обоснования отбора выявлено, что до 3-летнего возраста при температурах ( $-30-33^{\circ}\text{C}$ ) у некоторых растений (Та-ян-цзао, Южанин) погибает надземная часть выше уровня снежного покрова.

Экспериментально (КХТВ–0,22) определены пределы существования растений *Zizyphus jujuba* по их экологической толерантности (диапазон экстремально минимальных  $t -30-37^{\circ}\text{C}$ ) (Рисунок 16).



А



Б

Рисунок 16. Результаты воздействия  $t = -30$  °С (А) и  $-37$  °С (Б) в КХТВ-0,22 на побеги унаби

Биоэкологическое обоснование применения *Z. jujuba* базируется также на изучении их толерантности к засолению.

Известно, что представители родового комплекса *Zizyphus* имеют широкий ареал естественного произрастания и распространения в культуре на почвах с различной степенью засоления. Поэтому они характеризуются как экологически пластичные растения по отношению к содержанию токсичных солей. Относительно солеустойчивости сортов *Zizyphus jujuba* существуют различные мнения. Наши опыты свидетельствуют о возможности *Zizyphus jujuba* произрастать в новых условиях культивирования.

По материалам вегетационного опыта установлены пределы экологической толерантности мелкоплодных форм *Zizyphus jujuba* к хлоридному засолению, что дает возможность прогнозировать их успешное выращивание на почвах с содержанием ионов хлора 0,1% (Рисунок 17).



Рисунок 17. Пределы экологической толерантности мелкоплодных форм *Zizyphus jujuba* к хлоридному засолению

У всех растений наблюдались солевые ожоги листовой пластинки в виде побурения краёв при 0,2% Cl-. Растения снизили прирост. Состояние *Zizyphus jujuba* было хуже по сравнению с вязом (1,1 и 1,9 балла соответственно).

Сохранность проростков *Zizyphus jujuba* в экспериментальном опыте зависит от засоления NaCl, МПа (Таблица 3).

Таблица 3. Засоление разного уровня и сохранность проростков *Zizyphus jujuba*

| Засоление NaCl, МПа   | Длина проростка, см | Процент сохранности | Толерантность, балл |
|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0,3                   | 2,9±0,07            | 98,8                | 3,2±0,090           |
| 0,6                   | 2,5±0,04            | 84,3                | 1,7±0,060           |
| 0,9                   | 2,2±0,06            | 15,4                | 0,2±0,010           |
| 1,2                   | 2,0±0,05            | 6,5                 | 0,1±0,010           |
| Засоление отсутствует | 6,4±0,08            | 100,0               | 4,0±0,121           |

С увеличением осмотического давления скорость роста растений падает в 3,2 раза.

Таким образом, экспериментально установлены пределы толерантности мелкоплодных сортов *Zizyphus jujuba* к хлоридному засолению, что дает возможность прогнозировать их успешное выращивание на почвах с содержанием ионов хлора 0,1 %.

### Заключение

1. Проведенные комплексные эколого-физиологические исследования адаптационной способности субтропических растений *Zizyphus jujuba* выявили индикаторные признаки, позволяющие оценивать и прогнозировать степень адаптации в зависимости от сортовой принадлежности и реакцию на стрессовые факторы, специфичные для условий Нижнего Поволжья.

2. Выявлены эколого-физиологические показатели для оценки адаптации растений к лимитирующим факторам среды. Установлены общие закономерности в проявлении приспособительных реакций в ответ на влияние неблагоприятных факторов. Наиболее высоким уровнем засухоустойчивости и толерантности к низким температурам и хлоридному засолению характеризовались мелкоплодные сорта (Сочинский, Темрюкский). Определены оптимум и степень выносливости.

3. Адаптация сортов *Zizyphus jujuba* к новым условиям происходит на клеточном и организменном уровнях. Разная оводненность и водоудерживающая способность, различная степень морфологической изменчивости способствуют колебаниям и изменениям дефицита влаги в листьях у *Zizyphus jujuba*.

4. Сходство растительных организмов *Zizyphus jujuba* на основе дендрограммы показало возрастную сортоспецифичность адаптации растений к низким температурам. В результате изучения их роста и развития выявлены осенние и зимние повреждения. В их основе лежат градиентные изменения температуры и оводненности побегов, что приводит к незавершению вегетационного процесса.

5. Выявлены механизмы и пути адаптации сортов *Zizyphus jujuba* в Нижнем Поволжье. Выделили группы по степени засухоустойчивости: с низкой (4,23-4,71); средней (3,10-3,61), и высокой (1,64-1,99). Отмечена ксероморфность по утолщению листовых пластинок и клеток эпидермиса, важного показателя адаптации растений.

### Список литературы

1. Алиев Х.А., Мукайлов М.Д., Гасанбеков Б. Перспективы интродукции субтропических культур в новые агроэкологические условия // Проблемы развития АПК региона. – 2011. – №4(8). – С. 11-12.
2. Васильев Ю.И., Турко С.Ю., Овечко Н.Н. Математическое моделирование многолетнего варьирования урожайности озимой пшеницы на открытом и облесенном пространстве // Российская сельскохозяйственная наука. – 2016. – №1. – С. 38-41.
3. Волгоградская область: природные условия, ресурсы, хозяйство, население, геоэкологическое состояние / Под ред. В.А. Брылева. – Волгоград: Перемена, 2011. – 528 с.
4. Дорошенко Т.Н., Захарчук Н.В., Максимцов Д.В. Особенности проявления жароустойчивости плодовых растений в течение летнего периода // Плодоводство и ягодоводство России. – 2016. – Т. XXXVII. – С. 116-119.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
6. Карнатовская М.Ю. Результаты изучения зимостойкости некоторых сортов зизифуса в Херсонской области. // Интродукція рослин. – 2013. – №2. – С. 37-39.
7. Красовський В.В. Інтродукція унабі *Zizyphus jujuba* в лісостепу України (біоекологічні особливості, розмноження, вирощування): автореф. дис. ... канд. біол. Наук. – Київ: НБСім. М.М.Гришка, 2007. – 16 с.
8. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений: учебник. – М.: Абрис, 2011. – 783 с.
9. Лапин П.И., Сиднева С.В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений // Опыт интродукции древесных растений. – М., 1973. – С. 7-67.
10. Полевой В.В. Практикум по росту и устойчивости растений. – Л., 2001. – 212 с.
11. Сажин А. Н., Кулик К. Н., Васильев Ю. И. Погода и климат Волгоградской области. Изд. 2-е перераб. и доп. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. – 334 с.
12. Свинцов И. П., Семенютина В. А. Методологические основы изучения растительных организмов в условиях интродукции // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия естественные и технические науки. – 2014. – №9-10. – С. 42-47.
13. Семенютина А. В. Лесомелиорация и обогащение дендрофлоры аридных регионов России: диссертация доктора с.-х. наук: 06.03.04; ВНИАЛМИ. – Волгоград, 2005. – 440 с.
14. Семенютина В.А. Оценка засухоустойчивости *Zizyphus jujuba* Mill. по коллоидно-осмотическим свойствам протоплазмы листьев // Инновационные направления современной физиологии растений: матер. Всеросс. науч. конф. с международным участием. – М., 2013. – С. 336-337.
15. Синько Л.Т. Зизифус - одна из ценнейших субтропических плодовых пород на юге Советского Союза // Итоги работ по субтропическому плодоводству: тр. Гос. Никитского бот. сада. – 2012. – Т.52. – С. 31-53.
16. Garnier J., Billen G. The Riverstrahler modelling approach applied to a tropical case study (the Red-Hong-River, Vietnam): nutrient transfer and impact on the coastal zone // SCOPE. Coll. Mar. – 2002. – P. 51-65.

17. Liu M., Jiang M. Germplasm resources of Chinese jujube. – Beijing: Chinese Forestry Publisher, 2008.
18. Mishra S., Krska B. Temperature as a basic factor influencing phenological stages in *Zizyphus jujuba* Mill // *Acta Univ. Agric. Silvicult. Mendeliane Brunensins.* – 2009. – V. 57. – №1. – P. 89-95.
19. Niinemets Ü. Global-Scale Climatic Controls of Leaf Dry Mass per Area, Density, and Thickness in Trees and Shrubs // *Ecology.* – 2001. – №82(2). – P. 453-469.
20. Niinemets Ü., Sack L. Structural determinants of leaf light-harvesting capacity and photosynthetic potentials. In *Progress in botany.* – Springer Berlin Heidelberg, 2006. – P. 385-419.
21. Qi X.Y., Zhang X.Q., Chen Z.L., Xue H., Liu W., Xie L. The effect of NaCl stress on the subculture of test-tube seedlings of chinese jujube 'Muzao' // *Acta Hort.* 2013. №993. P. 143-148. doi: 10.17660/ActaHortic.2013.993.21
22. Qu Z., Wang Y. Fruit Tree Record of China. Chinese Jujube Volume. Beijing: China Agriculture Press, 1993.
23. Quero J.L., Villar R., Marañón T., Zamora R. Interactions of drought and shade effects on seedlings of four *Quercus* species: physiological and structural leaf responses // *New Phytologist.* 2006. – 170(4). – P. 19-34. DOI: 10.1111/J.1469-8137.2006.01713
24. Scoffoni C., Rawls M., McKown A., Cochard H., Sack L. Decline of leaf hydraulic conductance with dehydration: relationship to leaf size and venation architecture // *Plant Physiology.* – 2011. – 156(2). – P. 832-843. – doi: 10.1104/PP.111.173856 PMID: 21511989
25. Shen C.Q., Cao S.Y., Guo J.Y., Chen Y.L., Xue H.B., Si P., Zhang L., Xie S.X. Salt tolerance of four jujube cultivars.. *Acta Hort.* – 2009. – №840. – P. 161-166 doi: 10.17660/ActaHortic.2009.840.19
26. Volaire F. Plant traits and functional types to characterise drought survival of pluri-specific perennial herbaceous swards in Mediterranean areas // *European Journal of Agronomy.* – 2008. – V. 29. – №2–3. – P. 116-124.
27. Zhang X.H., Chen Q.L., Wang D.J., Zhao Z.H., Liu M.J. Cultivation practices of table cultivar of chinese jujube in the cold north Xinjiang // *Acta Hort.* – №993. – P. 57-61. – doi: 10.17660/ActaHortic.2013.993.8



## Indicator signs of the adaptation of subtropical wood plants based on complex researches

**Victoria A. Semenyutina**

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the  
Russian Academy of Science  
Volgograd, Russia  
VSem89@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-7345-2740

**Igor P. Svintsov**

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the  
Russian Academy of Science  
Volgograd, Russia  
igorsvintsov@yandex.ru  
ORCID: 0000-0003-2138-7390

Received: 11.12.2018

Accepted: 27.01.2019

Published: 15.03.2019

**DOI: 10.25726/NM.2019.60.66.005**

### Abstract

For the Lower Volga region with difficult soil and climatic conditions, forecasts bear an increase in the length of the growing season, an increase in heat, and a softer winters. This indicates the need for studies of subtropical plants for an objective assessment of the identification of mechanisms for their adaptation and prospects for creating protective forest plantations in sparsely wooded regions. Theoretical and practical interest for the Volgograd region is a valuable fruit, medicinal, forest reclamation and ornamental shrub (unabi) plant *Zizyphus jujuba* Mill. (family *Rhamnaceae*).

The purpose of the research is to study the ecological and physiological features of subtropical woody plants of *Zizyphus jujuba* and to identify indicator signs of their adaptation in the Volgograd region. The objects of research were the varietal plants of the unabi (Ta-yang-zao, Southerner - large-fruited, Druzhba, Phenicia - medium-fruited, Sochi, Temryuk - small-fruited). They are tested in the Volgograd region for the first time, obtained from the FSBI (city of Sochi) and are cultivated in FSBI FNTS Agroecology RAS (Volgograd region, Russia). The soils of the experimental plot (50 ° 4' -50 ° 5' N and 45 ° 22' -45 ° 23' E) are characterized by a low humus content (from 0.57 to 1.15%). It was revealed that the study area (Volgograd region) is characterized by a small amount of precipitation, low temperatures in winter, high temperatures in summer, droughts of high and medium intensity. The amplitude of the absolute maxima and minima varies from seventy-eight (dry steppe) to ninety degrees Celsius (semi-desert). It has been established that the agroclimatic resources of natural distribution areas differ from the introduction points of *Zizyphus jujuba* Mill. to culture. Different levels of morphological variability, as well as water availability, lead to a change in the ability to expend and retain water, to a lack of moisture in the leaves of *Z.jujuba*. The insignificant effect of drought on the state of the aboveground plant organs during the arid periods was observed in medium-sized and large-fruited varieties. Young, non-lignified shoots are damaged (at an air temperature of about 40 ° C and a decrease in air humidity of up to 10%). A decrease in leaf turgor was observed with water deficit indicators of 28.3-35.8%. Water deficiency decreases by 6-10% with increasing age, which is due to increased adaptation and regulation of water balance.

According to the indicators of the relative electrolyte yield, groups were determined according to the degree of drought resistance: low - Southerner, Ta-Yan-Zao (4.23-4.71), medium - Finik, Friendship (3.10-3.61) and high - Temryuk, Sochi (1.64-1.99). Ecological tolerance of various organisms to low temperatures is quite specific. Evaluation of different varieties of *Zizyphus jujuba* under light-brown soils showed that the adaptation of plants to low temperatures increases with increasing age. In small varieties with an increase in age, the damage is minor. Based on the vegetation experience, the limits of ecological tolerance of small-fruited forms

of *Zizyphus jujuba* to chloride salinity were established, which makes it possible to predict their successful cultivation on soils with a chlorine ion content of 0.1%. Thus, complex ecological and physiological studies of the adaptive capacity of subtropical plants *Zizyphus jujuba* revealed indicator signs that allow to evaluate and predict the degree of adaptation depending on the variety and the response to stress factors specific to the conditions of the Lower Volga region.

### Keywords

indicator traits, adaptation, subtropical plants, *Zizyphus jujuba*, biodiversity, dendroflora enrichment, dry conditions, Lower Volga region.

Studies have been performed on the State Task No. 0713-2019-0004 of the FSC of Agroecology RAS

### References

1. Aliyev, Kh.A., Mukailov, M.D., Gasanbekov, B. (2011). Perspektivy introdukcii subtropicheskikh kul'tur v novye agrojekologicheskie uslovija [Prospects for the introduction of subtropical crops into new agro-ecological conditions]. *Problemy razvitiya APK regiona [Problems of development of the agro-industrial complex of the region]*, 4, 11-12.
2. Armor, B.A. (1985). Metodika polevogo opyta [Methods of field experience]. Moscow: Agropromizdat, 351.
3. Bryleva V.A. (Ed.). (2011). Volgogradskaja oblast': prirodnye uslovija, resursy, hozjajstvo, naselenie, geojekologicheskoe sostojanie [Volgograd region: natural conditions, resources, economy, population, geo-ecological state]. Volgograd: Change, 528.
4. Doroshenko, T.N., Zakharchuk, N.V., Maximtsov, D.V. (2016). Osobennosti projavlenija zharoustojchivosti plodovyh rastenij v techenie letnego perioda [Features of manifestation of heat resistance of fruit plants during the summer period]. *Plodovodstvo i jagodovodstvo Rossii [Fruit and berry growing in Russia]*, XXXVII, 116-119.
5. Garnier, J., Billen, G. (2002). The Riverstrahler modelling approach applied to a tropical case study (the Red-Hong-River, Vietnam): nutrient transfer and impact on the coastal zone. *SCOPE. Coll. Mar*, 51-65.
6. Karnatovskaya, M.Yu. (2013). Rezul'taty izuchenija zimostojkosti nekotoryh sortov zizifusa v Hersonskoj oblasti [The results of the study of winter hardiness of some varieties of zizifus in the Kherson region]. *Introdukciya roslin [Introduksiya roslin]*, 2, 37-39.
7. Krasovsky, V.V. (2007). Introdukcija unabi *Zizyphus jujuba* v lisostepu Ukraïni (bioekologichni osoblivosti, rozmnozhennja, viroshhuvannja) [Introduksiya unabi *Zizyphus jujuba* in the losostepu Ukraine (biochemical specialty, breeding, viroshivannaya)]: dis. ... Cand. biol Of science. Kyiv: NBSim. M.M. Grishka, 16.
8. Kuznetsov, V.V., Dmitrieva, G.A. (2011). Fiziologija rastenij: uchebnik [Plant physiology: a textbook]. Moscow: Abris, 783.
9. Lapin, P.I., Sidneva, S.V. (1973). Ocenka perspektivnosti introdukcii drevesnyh rastenij po dannym vizual'nyh nabljudenij [Evaluation of the prospects for the introduction of woody plants according to visual observations]. Opyt introdukcii drevesnyh rastenij [Experience the introduction of woody plants]. Moscow, 7-67.
10. Liu, M., Jiang, M. (2008). Germplasm resources of Chinese jujube. Beijing: Chinese Forestry Publisher.
11. Mishra, S., Krska, B. (2009). Temperature as a basic factor influencing phenological stages in *Zizyphus jujuba* Mill. *ActaUniv. Agric. Silvicult. Mendeliane Brunensins*, 57(1), 89-95.
12. Niinemets, Ü. (2001). Global-Scale Climatic Controls of Leaf Dry Mass per Area, Density, and Thickness in Trees and Shrubs. *Ecology*, 82(2), 453-469.
13. Niinemets, Ü., Sack, L. (2006). Structural determinants of leaf light-harvesting capacity and photosynthetic potentials. In *Progress in botany*. Springer BerlinHeidelberg, 385-419.
14. Polevoj, V.V. (2001). Praktikum po rostu i ustojchivosti rastenij [Workshop on plant growth and resistance]. L., 212.

15. Qi X.Y., Zhang X.Q., Chen Z.L., et al. The effect of NaCl stress on the subculture of test-tube seedlings of chinese jujube 'Muzao'. *Acta Horti*, 993, 143-148. doi: 10.17660/ActaHortic.2013.993.21
16. Qu Z., Wang Y. (1993). *Fruit Tree Record of China. Chinese Jujube Volume*. Beijing: China Agriculture Press.
17. Quero, J.L., Villar, R., Marañón, T., et al. (2006). Interactions of drought and shade effects on seedlings of four *Quercus* species: physiological and structural leaf responses. *New Phytologist*, 170(4), 19-34. doi: 10.1111/J.1469-8137.2006.01713
18. Sazhin, A.N., Kulik, K.N., Vasilyev, Yu.I. (2017). *Pogoda i klimat Volgogradskoj oblasti [Weather and climate of the Volgograd region]*. 2 ed. Volgograd: Federal Science Center of Agroecology RAS, 334.
19. Scoffoni, C., Rawls, M., McKown, A. (2011). Decline of leaf hydraulic conductance with dehydration: relationship to leaf size and venation architecture. *Plant Physiology*, 156(2), 832-843. doi: 10.1104/PP.111.173856 PMID: 21511989
20. Semenyutina, A.V. (2005). *Lesomelioracija i obogashhenie dendroflory ariidnyh regionov Rossii [Forest reclamation and enrichment of the dendroflora of the Ariid regions of Russia]: dissertation of the doctor of C.-h. Sciences*. Volgograd, 440.
21. Semenyutina, V.A. (2013). *Ocenka zasuhoustojchivosti Zizyphus jujuba Mill. po kolloidno-osmoticheskim svojstvam protoplazmy list'ev [Assessment of drought tolerance Zizyphus jujuba Mill. on the colloid osmotic properties of leaf protoplasm]*. Innovacionnye napravlenija sovremennoj fiziologii rastenij: mater. Vseross. nauch. konf. s mezhdunarodnym uchastiem [Innovative areas of modern plant physiology: mater. Ross. scientific conf. with international participation]. Moscow, 336-337.
22. Shen, C.Q., Cao S.Y., Guo J.Y., et al. (2009). Salt tolerance of four jujube cultivars. *Acta Horti*, 840, 161-166 doi: 10.17660/ActaHortic.2009.840.19
23. Sinko, L.T. (2012). Zizifus - odna iz cennejsih subtropicheskikh plodovyh porod na juge Sovetskogo Sojuza [Zizifus is one of the most valuable subtropical fruit species in the south of the Soviet Union]. *Results of work on subtropical fruit growing: tr. State Nikitsky bot. Garden*, 52. 31-53.
24. Svintsov, I.P., Semenyutina, V.A. (2014). *Metodologicheskie osnovy izuchenija rastitel'nyh organizmov v uslovijah introdukcii [Methodological Basis for Studying Plant Organisms under Introduction]. Sovremennaja nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Serija estestvennye i tehniczeskie nauki [Modern science: actual problems of theory and practice. A series of natural and technical sciences]*, 9-10, 42-47.
25. Vasilyev, Yu.I., Turko, S.Yu., Ovechko, N.N. (2016). *Matematicheskoe modelirovanie mnogoletnego var'irovanija urozhajnosti ozimoj pshenicy na otkrytom i oblesennom prostranstve [Mathematical modeling of many years of variation in the yield of winter wheat in open and forested space]. Rossijskaja sel'skohozjajstvennaja nauka [Russian agricultural science]*, 1, 38-41.
26. Volaire, F. (2008). Plant traits and functional types to characterise drought survival of pluri-specific perennial herbaceous swards in Mediterranean areas. *European Journal of Agronomy*, 29(2-3), 116-124.
27. Zhang, X.H., Chen, Q.L., Wang, D.J. (2013). Cultivation practices of table cultivar of chinese jujube in the cold north Xinjiang. *Acta Horti*, 993, 57-61. DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.993.8