

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ОЦЕНКЕ АДАПТИВНОГО  
ПОТЕНЦИАЛА АРИДНЫХ  
КОРМОВЫХ РАСТЕНИЙ**

**Москва 2018**

**Федеральное агентство научных организаций**

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии  
имени В. Р. Вильямса»**

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники  
и мелиорации имени А. Н. Костякова»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ОЦЕНКЕ  
АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА  
АРИДНЫХ КОРМОВЫХ РАСТЕНИЙ**

**Москва 2018 г.**

УДК 58.084.5+58.087+581.526.53

ББК 42.22

М545

**Методические рекомендации по оценке адаптивного потенциала аридных кормовых растений.** — М. : ООО «Угрешская Типография», 2018. — 20 с.

**Методические рекомендации подготовили:**

З. Ш. Шамсутдинов, чл.-кор. РАН, В. М. Косолапов, акад. РАН, Э. З. Шамсутдинова, канд. с.-х. наук, Ю. И. Ионис, снс, В. Н. Нидюлин, канд. с.-х. наук, В. В. Санжеев, канд. с.-х. наук [ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса»]; Б. М. Кизяев, акад. РАН, Н. З. Шамсутдинов, д-р. биол. наук [ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова»]; Н. Н. Дубенок, акад. РАН [РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева]; Ю. Н. Арылов, д-р. биол. наук, Ю. Б. Каминев, канд. с.-х. наук [ФГБОУ ВПО «Калмыцкий государственный университет»]; А. А. Хамидов, канд. биол. наук [Узбекский НИИ каракулеводства и экологии пустынь].

**Редакционная коллегия:**

З. Ш. Шамсутдинов, И. А. Трофимов, Э. З. Шамсутдинова, Н. И. Георгиади

**Рецензенты:**

д-р с.-х. наук В. П. Головин [Крымский международный институт нетрадиционного растениеводства, экологии и здоровья]; канд. с.-х. наук Б. А. Гольдварг [ФГБНУ «Калмыцкий НИИСХ им. М. Б. Нармаева»].

Методические рекомендации по оценке адаптивного потенциала аридных кормовых растений предназначены для научных работников, студентов образовательных учреждений биологического и сельскохозяйственного профилей, специалистов сельского хозяйства.

Методические рекомендации одобрены и утверждены к печати Ученым советом ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кормов имени В. Р. Вильямса» (протокол № 7 от 09.07.2015 г.).

**ISBN 978-5-91850-073-6**

© Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный научный центр кормопроизводства  
и агроэкологии имени В. Р. Вильямса»

© Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники  
и мелиорации имени А. Н. Костякова»

Растительность аридных областей используется преимущественно в качестве пастбищ, составляя основу кормовой базы овцеводства — ведущей отрасли животноводства республик Средней Азии, Казахстана и юго-восточных районов Российской Федерации.

Опыт освоения пустынь в бывшем СССР показал, что в современных условиях овцеводство является единственно целесообразным и экономически эффективным способом сельскохозяйственного освоения и использования аридных земель Средней Азии и России.

Пустынные и полупустынные пастбища пригодны к использованию в течение почти всего года, характеризуются разнообразием подножного корма, относительно высокой его питательной ценностью и дают самые дешевые корма [2; 11; 12; 16]. Наряду с этим они имеют существенные недостатки — низкую урожайность (1,5–3 ц/га сухой кормовой массы) и резкие колебания выхода пастбищных кормов по годам и сезонам, определяемые природными условиями пустынь и полупустынь. В последние годы эти недостатки еще более усугубились вследствие всевозрастающего давления антропогенных и техногенных факторов, под влиянием которых происходит нарушение аридных биогеоценозов, что приводит к опустыниванию территорий. Отрицательные последствия нарушения структуры и функционирования аридных биогеоценозов наблюдаются вдоль дорог, газопроводов, линий электропередачи, вокруг населенных пунктов, производственных помещений и колодцев [13–18].

Особенно тревожные факты массовой деградации и опустынивания земель под воздействием антропогенных факторов отмечаются в ряде африканских и азиатских стран. Согласно материалам конференции ООН по борьбе с опустыниванием, состоявшейся в Кении в 1977 г., пустыня Сахара за последние полвека, продвигаясь на юг, разрослась на 650 тыс. км<sup>2</sup>. По данным экспертов ООН, общая площадь опустыненных земель огромна — более 9 млн км<sup>2</sup>. Под угрозой опустынивания находятся 45 млн км<sup>2</sup>, или 30 % земной поверхности. Это явление достигло таких масштабов, что стало всемирной проблемой. Таким образом, современное состояние естественных пастбищ на обширных территориях пустынь и полупустынь характеризуется низкими и неустойчивыми урожаями пастбищных кормов, что сдерживает развитие овцеводства в этих районах [2; 8; 17; 18].

Важнейшая роль в решении этой проблемы отводится селекции и введению в культуру новых кормовых растений из природной флоры пустынь и полупустынь. Проблема эта многогранна и сложна вследствие исключительной жесткости природных условий аридной зоны. Отличительной особенностью природы пустынь являются крайне засушливый климат, небольшое количество атмосферных осадков (80–280 мм) и неравномерное их распределение по сезонам года.

Пустыни и полупустыни как экологическая среда обитания растительных организмов характеризуются своеобразным, контрастным сочетанием факторов среды, одни из которых находятся в переизбытке, а другие — в дефиците [4]. Такое сочетание экстремальных факторов формирует абиотическую стрессовую среду обитания, что ограничивает возможность и интенсивность роста и развития растительных организмов в пустынях. К числу стрессовых абиотических факторов относятся: сухой климат (незначительное количество атмосферных осадков, высокая испаряемость); высокая температура воздуха летом и низкая (ниже 0 °С) зимой; недостаточное увлажнение поверхностных горизонтов и почвогрунтов при глубоком залегании грунтовых вод; перегрев поверхностных горизонтов почв; подвижность почвогрунта и его засоленность. Экологические особенности пустынь создают определенные трудности в исследовательской работе и диктуют необходимость реализации селекционных программ, сообразуясь со спецификой этих условий.

Селекционно-интродукционный процесс в условиях пустынь осложняется еще тем, что селекционер работает не с культурными растениями, а с дикорастущими популяциями кормовых растений, морфобиологические и генетико-популяционные параметры которых не изучены или слабо изучены.

Планомерные работы по интродукции пустынных кормовых растений из дикорастущей флоры были развернуты в 50-е годы XX века почти одновременно во всех среднеазиатских научно-исследовательских учреждениях животноводческого и ботанического профиля. Дальнейшее развитие интродукционных работ привело в конце 60-х годов к появлению и развитию в системе аридного кормопроизводства селекции пустынных кормовых растений.

В течение последних 15–20 лет достигнуты заметные успехи в области селекции, интродукции и семеноводства аридных кормовых растений [1; 14–18].

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА АРИДНЫХ КОРМОВЫХ РАСТЕНИЙ

### 1. Обоснование использования анатомо-физиологических признаков для оценки адаптивного потенциала аридных кормовых растений

Решение проблемы восстановления и повышения продуктивности аридных пастбищ базируется на использовании в качестве фитомелиорантов кормовых растений природной флоры, представляющих собой результат длительного приспособления экологических типов к жестким и крайне нестабильным условиям аридных районов. Трудности использования представителей природной флоры связаны, прежде всего, с недостаточной изученностью эколого-биологических особенностей и малым опытом возделывания их в аридных районах без применения орошения. Кроме того, принципиальная особенность их культивирования заключается в невозможности применения традиционных приемов оптимизации условий возделывания (орошение, подкормка, обработка почвы и др.). Поэтому единственно приемлемым может быть принцип подбора видов, жизненных форм, экотипов в наибольшей степени приспособленных к условиям конкретных экологических условий аридных районов. В связи с этим важно проанализировать структурные и функциональные особенности различных видов и экотипов аридных кормовых растений и выявить их адаптивные особенности [3; 9; 10].

Диапазон экологической пластичности аридных кустарников, полукустарников и полукустарничков в значительной мере определяется резистентностью к абиотическим факторам среды. В первую очередь, это устойчивость к дефициту влаги, высоким температурам, засолению почвы. Поэтому набор параметров для оценки адаптивных особенностей должен включать признаки и свойства, прямо или косвенно связанные с устойчивостью растений именно к этим факторам.

Известно, что большую роль в формировании адаптивного потенциала аридной растительности играет тип фотосинтеза.  $C_4$  и САМ-растения потенциально лучше приспособлены к условиям пустынь. Они способны интенсивнее осуществлять фотосинтез и нередко более эффективно, чем  $C_3$ -растения в условиях жесткой почвенной и воздушной засухи, интенсивной солнечной радиации и высоких температур, т. е.

трех условий, которые характерны для большей части периода их активной вегетации [9; 10].

Тестировать принадлежность к тому или иному типу фотосинтеза можно по характерному для каждого типа анатомическому строению ассимилирующих органов. По признаку преобладания типа метаболизма  $C_4$ -растения делятся на две группы: малатную и аспартатную. Существует предположение, что малатный путь энергетически более эффективен при относительно благоприятных условиях, ужесточение же условий (осмотический стресс) ведет к невозможности реализации этого пути и на первый план выходит аспартатный. Таким образом, способность к реализации аспартатного пути метаболизма повышает устойчивость растения к засухе и засолению [6; 7].

Дальнейшая конкретизация адаптивных свойств связана с выяснением водного режима, интенсивности фотосинтеза и устойчивости фотосинтетического аппарата. Существование растений в аридных условиях определяется их способностью переносить резко выраженную атмосферную и почвенную засуху. Расшифровка реакций растений на эти факторы связана с выявлением уровня показателей водного режима растений (интенсивность транспирации, содержание воды, водный дефицит, сосущая сила, осмотическое давление), скорости их реакции на течение и изменчивость факторов среды. Различия в интенсивности и диапазоне отклонений элементов водного баланса в течение дня, сезона и различных лет можно рассматривать как выражение физиологической адаптации к тем или иным условиям [9; 10].

В целях сокращения объема определяемых параметров из всего комплекса мы выделили два. На наш взгляд, наиболее интегрированные и информативные показатели: интенсивность транспирации и относительный водный дефицит. Поскольку уровень жизнедеятельности летне-вегетирующих кустарников, полукустарников и полукустарничков связан с обеспеченностью почвенной влагой, и судить об этом можно по интенсивности их транспирации, то этот показатель вполне приемлем в качестве индикатора. Больше того, способность к интенсивной транспирации позволяет растению снизить температуру листьев в жаркие периоды и тем самым оптимизировать условия для осуществления фотосинтеза.

Однако интенсивная транспирация может приводить и к негативным последствиям, в частности, значительно снизить уровень оводнен-

ности тканей, что может привести к угнетению не только процесса ассимиляции  $\text{CO}_2$ , но и к снижению активности фотосинтеза и общей физиологической активности. Поэтому, наряду с контролем интенсивности транспирации, необходимо осуществлять контроль уровня оводненности листьев. Такой контроль мы рекомендуем вести путем определения относительного водного дефицита. Относительный водный дефицит, в отличие от реального, учитывает не просто недостаток воды в тканях, но при соотношении его с сублетальным водным дефицитом дает представление о том, насколько величина водного дефицита, испытываемого растениями, близка к летальной. Используя этот показатель, можно оценить состояние водного баланса на разных этапах развития растений, а также сравнить различные виды и экотипы. Следует отметить, что оценивать водный режим необходимо в динамике, фиксируя его параметры в основных фазах развития растений и в критические периоды (резкое изменение условий при смене мезотермического периода на ксеротермический, экстремально высокие температуры, суховеи, необычно низкая сумма годовых осадков, неблагоприятное их распределение по сезонам, осмотический стресс и другие).

Безусловно, два указанных параметра водного режима, даже прослеженные в динамике, не дают полного представления о водном режиме растений, но, жертвуя полнотой информации, мы получаем возможность быстро и относительно легко оценивать водообеспеченность и, соотнося ее с реальной обстановкой, делать заключение о степени и диапазоне адаптации водного режима изучаемых растений.

Помимо этого, интерпретация параметров водного режима должна опираться на ряд биологических факторов, способствующих эффективному регулированию водного баланса растений. К ним относятся: тип корневой системы, мощность ее развития, способность к редукции листовой пластинки, сбрасыванию листьев, их склерификация. Могут использоваться и признаки, непосредственно связанные с водным режимом. Одним из таких признаков является антоциановая окраска побегов у кохии. Замечено, что особи кохии простертой, побеги которых к началу бутонизации приобретают красно-бурую окраску, как правило, менее развиты, менее облиственны, чем особи с хлорофилловой окраской побегов. Нередко они раньше заканчивают вегетацию, продуцируют меньше семян, а иногда вообще их не формируют. Сравнительное изучение биотипов кохии простертой с различной окраской побегов по-



казало, что чем интенсивнее антоциановая окраска побегов, тем «хуже» показатели водного режима, особенно четко эта зависимости проявляется между окраской и относительным водным дефицитом. Несмотря на то, что физиологическое значение окраски нам неизвестно, результаты наблюдений убеждают в возможности использования этого признака в качестве одного из критериев оценки влияния условий на физиологическое состояние растений.

Летне-вегетирующие растения аридных зон можно разделить на две экологические группы по отношению к гидротермическому фактору. Одну группу составляют растения, которые или завершают жизненный цикл до наступления ксеротермического периода, или же резко снижают физиологическую активность и впадают в состояние криптобиоза, пережидая действие неблагоприятных факторов. Другая группа продолжает активную вегетацию и в самые засушливые и жаркие периоды, т. е. большая часть периода активной работы фотосинтетического аппарата приходится на самое жаркое время. Поэтому огромное значение приобретает устойчивость фотосинтетического аппарата к гидротермическому фактору. Судить об этом можно по величине изменения интенсивности фотосинтеза под воздействием этих факторов.

Температурная зависимость фотосинтеза выявляется на уровне отдельных биотипов. На уровне же экотипов существует корреляция между величиной фотосинтеза и продуктивностью.

Адаптивные особенности находят отражение и в мезоструктуре фотосинтетического аппарата. Многофакторный анализ результатов исследований мезоструктуры видов и экотипов показал, что сходство мезоструктуры характерно для популяций, сформировавшихся в одинаковых экологических условиях. Другими словами, в особенностях мезоструктуры проявляется взаимодействие генетического и экологического факторов, выявляя характерный для популяции тип мезоструктуры и сопоставляя ее с экологическими условиями формирования и жизни популяции, можно выделить адаптивно значимые параметры мезоструктуры и их совокупность использовать в качестве критерия экологической дифференциации интродукционного и селекционного материала аридных кормовых растений.

Важнейшей характеристикой работы фотосинтетического аппарата является динамика пигментов состава. Выявлено, что для всех исследованных видов аридных кормовых растений характерно снижение содер-

жания пигментов от весны к осени. Это связано как со старением листьев, так и с адаптацией к изменяющимся гидротермическим и радиационным условиям. Замечено, чем менее устойчиво растение к экстремальным значениям этих факторов, тем более явны изменения пигментного комплекса. И хотя не обнаружено однозначной зависимости между пигментным составом и уровнем продуктивности, результаты наблюдений убеждают, что биотипы, пигментный комплекс которых более стабилен, как правило, отличаются большей продолжительностью вегетации, физиологической активностью и, нередко, большей продуктивностью.

Одним из наиболее существенных по воздействию на рост, развитие и продуктивность аридных кормовых растений факторов в аридных районах является засоление почвы. В зависимости от характера и степени засоления формируется видовой состав фитоценоза, его продуктивность. Наиболее губительное влияние засоление почвы оказывает на процесс прорастания семян и проростки на ранних стадиях их развития и тем самым препятствует нормальному протеканию возобновительного процесса. Поэтому для характеристики адаптивного потенциала важно знать не только солеустойчивость взрослого растения, но и устойчивость семян и проростков.

Существует несколько модификаций оценки солеустойчивости проростков. Все они основаны на выявлении реакции семян и проростков на осмотический стресс, тогда как соли оказывают помимо осмотического и непосредственное химическое воздействие на физиологические процессы, проникая в клетки и ткани растений. Поэтому мы предлагаем в дополнение к существующим использовать и тест, основанный на проращивании семян на растворах солей, имитирующих различные типы и степень засоления, а оценивать воздействие солей не только по проценту проросших семян, но и по темпам и особенностям развития проростков, фиксируя их морфометрические параметры и количество накапливаемых в организме солей. Последнее мы считаем существенным, поскольку исследования, проводимые совместно с Институтом физиологии растений, показали, что одни виды аридных растений способны противостоять проникновению солей в организм, другие же выработали механизмы вывода или локализации солей в структурах, где значительно ослаблено их воздействие на организм.

Таким образом, предлагается следующая схема оценки адаптивного потенциала аридных кормовых растений [9]:

1. Дифференциация видов и экотипов по типам фотосинтеза ( $C_3$ ,  $C_4$ , САМ) и путям метаболизма (малатный, аспартатный);
2. Выявление характера и особенностей водного режима, выяснение диапазона его адаптации;
3. Выявление уровня фотосинтеза и его температурной зависимости;
4. Определение качественного и количественного состава пигментного комплекса и особенностей его сезонной динамики;
5. Экологическая дифференциация по особенностям мезоструктуры фотосинтетического аппарата и морфометрическим особенностям ассимилирующих органов.

При оценке влияния засоления на прорастание семян и развитие проростков, следует иметь в виду, что адаптивный потенциал аридных растений во многом определяется полиморфностью их природных популяций, обусловленной постоянной рекомбинацией различных генотипов. Именно гетерозиготность отражает запас их экологической пластичности и устойчивости. Поэтому важно выяснить адаптивные способности не только отдельных особей, но и совокупности основных биотипов популяции. В связи с этим при характеристике популяций и селекционных номеров особое внимание следует уделять репрезентативности выборки.

Следует отметить, что использование физиологических, анатомических и морфологических признаков в селекционном отборе эффективно лишь во взаимосвязи с утилитарными признаками.

## **2. Определение анатомо-физиологических и морфологических параметров**

### **2.1. Отбор проб растительного материала для анализа**

Для исследований отбираются особи без признаков патологии, с характерными для вида, экотипа, образца признаками. При определении структурно-функциональных признаков отбираются ассимилирующие органы, завершившие развитие и не имеющие признаков повреждения. Для сравнительной оценки желательно проводить отбор проб в одни и те же часы и, по возможности, подбирать растения в одинаковых фенофазах. В каждом конкретном случае число повторений и объем выборки подбирается экспериментальным путем с учетом степени консервативности признака, необходимой точности его измерения, степени

полиморфности популяции.

## 2.2. Определение типа фотосинтеза и пути метаболизма

Определение проводится по характерному анатомическому строению ассимилирующих органов. В частности, по наличию крапчатой структуры, характерной для растений C<sub>4</sub>-типа, а также определению активности малатного и аспартатного пути метаболизма с использованием радиоактивной метки.

## 2.3. Мезоструктура

Мезоструктурой фотосинтетического аппарата А. Т. Мокронос [6; 7] предложил называть клеточный и тканевый уровни его организации. Объект оценивается по структурно-функциональным показателям, часть которых получается при непосредственном измерении, а часть определяется как произведенные от них расчетные характеристики.

Площадь листа. Площадь листа с выраженной листовой пластинкой определяется весовым способом. Контуры листа обрисовывают на миллиметровую бумагу и вырезают. Бумажный лист взвешивают и полученную массу делят на массу 1 см<sup>2</sup> такой же бумаги, полученный результат представляет площадь листа в квадратных сантиметрах.

Удельная плотность пластинки листа (УПЛЛ). Данный показатель представляет отношение массы листа к его площади, т. е. масса единицы площади листа. Выражается в мг/см<sup>2</sup>. Пересчет можно произвести на сырую и сухую биомассу.

Подсчет числа клеток фотосинтезирующих тканей в листе. Растительный материал известной массы и площади (около 50 мг) помещают в мерную пробирку. Наливают 20 % КОН (около 2 мл) и нагревают на спиртовке до вскипания несколько раз. Затем стеклянной палочкой со шлифованным концом растирают до гомогенного состояния. Суспензию мацерата доводят 20 % КОН до 2 мл. Перед взятием пробы суспензию тщательно перемешивают. Клетки досчитывают в камере Горяева в 90 ячейках сетки. Расчет производят по формуле:

$$N = \frac{A \times 250 \times V \times 10^3}{90 \times S \text{ или } P}, \text{ где}$$

N — число клеток на 1 см<sup>2</sup> листа, тыс. шт./см<sup>2</sup>;

A — число растительных клеток в 90 ячейках сетки камеры Горяева, шт.;

V — объем гомогената, мл;

90 — число ячеек сетки, в которых велся подсчет;

S — площадь взятых листьев, см<sup>2</sup>;

P — масса навески, мг.

Можно подсчитать отдельно мезофильные, палисадные, губчатые и клетки обкладки, либо общее число клеток.

Из одной суспензии отбираются и подсчитываются 20–25 камер, а затем высчитывают среднее.

Подсчет числа хлоропластов в клетке. Навеску сырых листьев (около 50 мг) заливают 3–65 мл 5%-ного раствора окиси хрома ( $\text{CrO}_3$ ) в 0,1 н  $\text{HCl}$ , пробирку нагревают на водяной бане при 50 °С около 10 мин. Затем содержимое пробирки гомогенизируют стеклянной палочкой со шлифованным концом. Каплю гомогената помещают на предметное стекло, накрывают покровным и в полученном препарате подсчитывают хлоропласты в отдельных клетках. Подсчет проводят не менее чем в 100 клетках, причем разных по величине.

Количество хлоропластов на единицу площади листа. Определяется как произведение числа клеток и количества хлоропластов в клетке. У 75 % видов число пластид не превышает 20 млн/см<sup>2</sup>. Большое содержание пластид в листе характерно для ксерофитов аридных пустынь. Неблагоприятные факторы, например дефицит воды, вызывая задержку растяжения клеток, приводят к формированию мелкоклеточных тканей. Как правило, при этом число пластид в клетке уменьшается в меньшей степени, чем объем клетки. В результате увеличивается относительный объем хлоропластов в клетке и значительно возрастает число хлоропластов на 1 см<sup>2</sup>. Во многих случаях изменение числа хлоропластов на 1 см<sup>2</sup> является основной причиной изменения интенсивности фотосинтеза, рассчитываемого на площадь листьев.

Толщина листа и размеры клеток. Измерения проводятся на поперечных срезах листьев. Лист закладывают в прорезь пенопласта и с помощью лезвия делают тонкие срезы одним движением через весь пенопласт вместе с листом. Срез с помощью препаровальной иглы помещают на предметное стекло в каплю раствора 0,35 М сорбита в 0,05 М трис- $\text{HCl}$  буфере (рН 7,4). Толщина среза — 30–50 мкм. Измерение производится с помощью окуляра-микрометра, в котором 0,1 мм = 100 мкм, объектив 20х, повторность измерения — 100.

Измеряется длина (L) и короткая (Д) ось клеток. Объем клеток рассчитывается двумя способами в зависимости от формы клетки. Если L/Д меньше, чем 2,6, то объем клетки рассчитывают по формуле объема эллипсоида:  $0,525 \times L \times \text{Д}^2$ . Если L/Д больше, чем 2,6, то объем рассчитывается по формуле объема цилиндра:  $0,78 \times \text{Д}^2 \times L \times K$ , где K — ко-

эффицент Цельникер, найденный эмпирически и представленный в табл. 1.

### 1. Поправочные коэффициенты

L/Д	К	L/Д	К
2,6	0,69	4,0	0,86
2,8	0,70	4,2	0,89
3,0	0,73	4,4	0,92
3,2	0,76	4,6	0,94
3,4	0,78	4,8	0,97
3,6	0,82	5,0	1,00
3,8	0,83		

Объем хлоропластов. Размеры пластид могут изменяться в зависимости от функционального состояния, поэтому перед измерением листа необходимо осветить, чтобы привести пластиды в активное состояние. Объем хлоропласта рассчитывается по формуле объема эллипсоида:  $0,525 \times L \times D^2$  мкм<sup>3</sup>, где L и D — оси хлоропласта. Оси хлоропласта измеряются на фотоснимках поперечных срезов листа. Срезы снимаются с лезвия мягкой кисточкой и помещаются на предметное стекло в каплю 0,5 М раствора сахарозы, накрываются покровным стеклом и фотографируются.

Площадь поверхности наружной мембраны хлоропласта. Рассчитывается по номограмме № 1.

Площадь поверхности клетки. Расчет зависит от формы клетки. Если L/Д больше 2,6, то клетки имеют цилиндрическую форму и площадь их поверхности определяется по формуле:

$$1,57 \times D \times (2L + D) \text{ мкм}^2.$$

Если L/Д меньше, чем 2,6, то клетка имеет эллипсоидную форму и площадь ее поверхности рассчитывается по номограмме № 1 как поверхность наружной мембраны хлоропласта.

Площадь проекции хлоропласта. Измеряется по номограмме № 2 в мкм<sup>2</sup>.

Индекс проективной поверхности хлоропластов (ИПХ). Для определения ИПХ площадь проекции одного хлоропласта умножается на число хлоропластов на единице площади листа.

Нограмма № 1

Поверхность наружной мембраны хлоропласта, мкм<sup>2</sup>

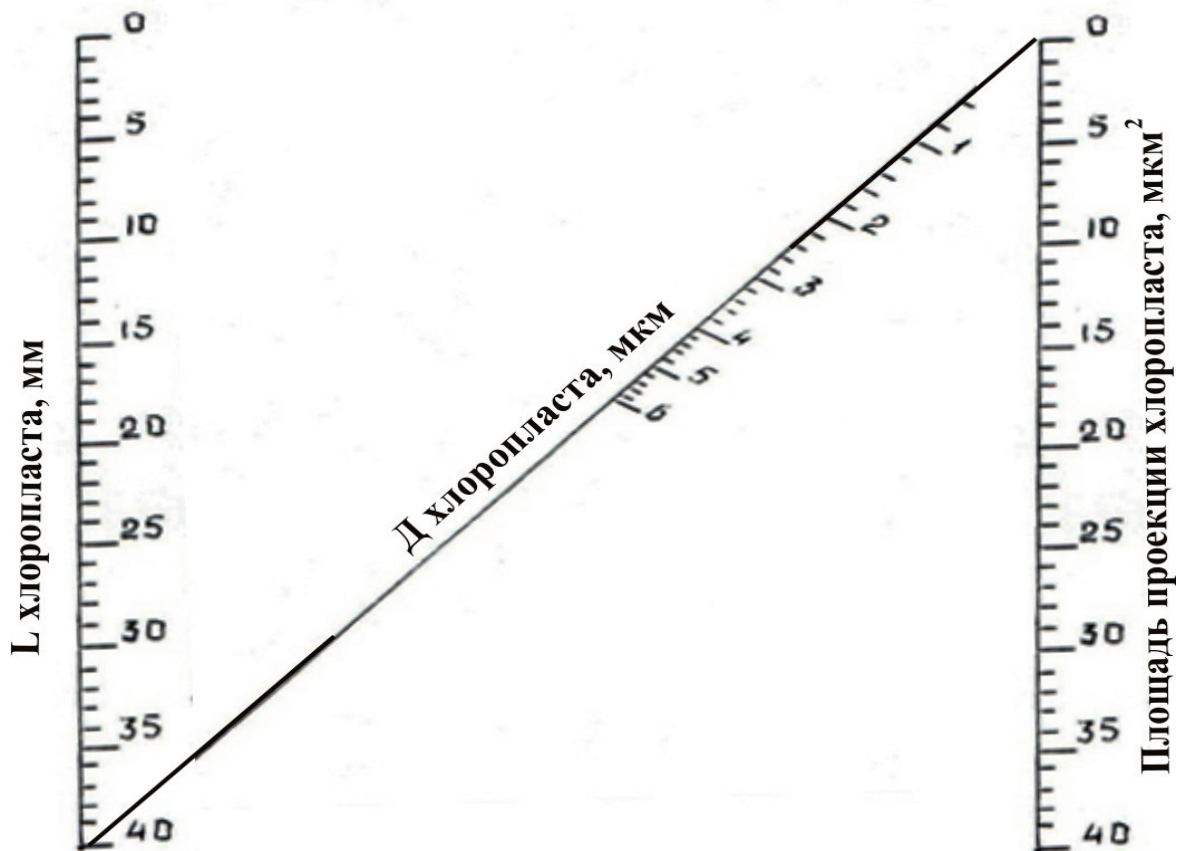
Д/Л	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2	6,4	6,6
2,4	24,4	25,4	26,5	27,6	28,7	29,8	30,9	32,0	33,2	34,3						
2,6	26,9	28,0	29,2	30,3	31,5	32,7	33,9	35,1	36,3	37,5	38,7					
2,8		30,7	31,9	33,2	34,4	35,7	37,0	38,2	39,5	40,8	42,1	43,4				
3,0			34,7	36,1	37,4	38,7	40,1	41,1	42,8	44,2	45,6	46,9	48,3	49,0		
3,2			37,6	39,0	40,1	41,9	43,3	44,7	46,2	47,6	49,1	50,6	52,0	53,5	55,0	
3,4				42,1	43,6	45,1	46,6	48,1	49,7	51,2	52,7	54,3	55,8	57,4	58,9	60,5
3,6					46,9	48,4	50,0	51,6	53,2	54,8	56,4	58,1	59,7	61,3	63,9	64,6
3,8					50,2	51,9	53,5	55,2	56,8	58,5	60,2	61,9	63,6	65,4	67,0	68,8
4,0						56,2	57,1	58,8	60,6	62,3	64,1	65,9	67,7	69,5	71,3	73,1
4,2						59,0	60,8	62,6	64,4	67,2	68,1	69,9	71,8	73,7	75,5	77,4
4,4							64,5	66,4	68,3	70,2	72,1	74,1	76,0	78,0	79,9	81,9
4,6								70,4	72,3	74,3	76,3	78,3	80,3	82,3	84,4	86,4
4,8									76,4	78,5	80,5	82,6	84,7	86,8	88,9	91,0
5,0										82,7	84,9	87,0	89,2	91,3	93,5	95,7
5,2												91,6	93,8	96,0	98,3	100,0
5,4												96,2	98,5	101,0	103,0	105,0
5,6													103,0	106,0	108,0	110,0
5,8													109,0	110,0	113,0	115,0

Продолжение номограммы № 1

Д/Л	6,6	6,8	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4	8,6	8,8	9,0	9,2	9,4	9,6
3,6	64,6	66,3														
3,8	68,8	70,5														
4,0	71,1	74,9	76,7													
4,2	77,4	79,3	81,3	83,1												
4,4	81,9	83,9	85,8	88,8	89,8											
4,6	86,4	88,5	90,5	92,6	94,7											
4,8	91,0	93,1	95,3	97,4	99,6											
5,0	95,7	97,9	100,0	102,0	105,0											
5,2	100,0	103,0	105,0	107,0	110,0	113,0										
5,4	105,0	108,0	110,0	112,0	115,0	117,0	120,0	122,0	124,0	127,0	129,0	131,0	133,0			
5,6	110,0	113,0	115,0	118,0	120,0	123,0	125,0	128,0	130,	133,0	135,0	138,0	141,0	143,0		
5,8	115,0	118,0	121,0	123,0	125,0	128,0	131,0	133,0	136,0	139,0	141,0	144,0	147,0	149,0	151,0	
6,0						133,0	136,0	139,0	142,0	144,0	147,0	149,0	152,0	155,0	158,0	161,0
6,2							142,0	145,0	148,0	150,0	153,0	155,0	157,0	160,0	163,0	165,0
6,4								151,0	153,0	156,0	158,0	161,0	163,0	166,0	169,0	171,0
6,6								157,0	159,0	162,0	165,0	167,0	170,0	172,0	175,0	178,0
6,8									166,0	168,0	171,0	173,0	175,0	178,0	180,0	182,0



## Площадь проекции хлоропласта



Объем клетки, соответствующий одному хлоропласту (КОХ) определяется как частное от деления объема клетки на число хлоропластов в ней, измеряется в мкм<sup>3</sup>. Другим выражением этого же признака является относительный объем хлоропластов, т. е. суммарный объем всех хлоропластов в процентах к объему клетки. Все ксерофиты аридных пустынь имеют высокие значения этого параметра — до 60–80 %.

Индекс поверхности наружных мембран хлоропластов (ИМХ) равен произведению площади поверхности одного хлоропласта на число хлоропластов на единице площади листа.

Индекс мембран клеток (ИМК) вычисляется умножением площади поверхности одной клетки на число клеток на 1 см<sup>2</sup> листа.

#### 2.4. Определение содержания пигментов

Растительный материал (100 мг) тщательно измельчается в фарфоровой ступке в присутствии мела и кварцевого песка. Добавляется примерно 1 мл петролейного эфира, тщательно растирается, эфир дол-

жен полностью испариться. Растертая масса быстро смывается небольшим количеством 90%-ного ацетона. В таком виде в пробирках с притертыми пробками в темноте экстракт может храниться несколько дней. Перед определением экстракт доводится 90%-ным ацетоном до определенного объема, который подбирается экспериментальным путем для каждого вида, тщательно перемешивается и часть центрифугируется в пробирках с крышками в течение 5 мин при 12 тыс. об/мин. Надосадочная жидкость спектрометрируется при следующих длинах волн: 440,5 мкм, 644 и 662 мкм. Вся работа с пигментами проводится при рассеянном свете. Количество пигментов рассчитывается по формулам Ветштейна для ацетоновых растворов:

$$C_a = 9,784 \times E_{662} - 0,99 \times E_{644};$$

$$C_b = 21,426 \times E_{664} - 4,65 \times E_{662};$$

$$C_c = 4,695 \times E_{440,5} - 0,268 \times C_{(a+b)} \text{ в мл/л, где}$$

$C_a$  — концентрация хлорофилла *a*,  
 $C_b$  — концентрация хлорофилла *b*,  
 $C_c$  — концентрация каротиноидов *c*.

Длина волны для хлорофилла *a* — 662 мкм, для хлорофилла *b* — 644 мкм, для каротиноидов — 440,5 мкм.

Расчет пигментов в мг/г сырого вещества производится по формуле:

$$A, \text{ мг/г} = \frac{C \times V}{P \times 100}, \text{ где}$$

$C$  — концентрация пигмента, мг/л;  
 $V$  — объем экстракта;  
 $P$  — навеска, г.

Соответственно можно рассчитать количество пигментов на сухую массу или площадь.

## 2.5. Фотосинтез

Для оценки уровня фотосинтеза применяются общеизвестные методики измерения  $\text{CO}_2$  — газообмена с помощью оптических газоанализаторов. Принцип работы серийно выпускаемых газоанализаторов и техника работы с ними достаточно широко представлены в литературе.

Также широко представлены различные конструкции листовых камер и, по усмотрению исследователя, можно выбрать наиболее приемлемый вариант. Одна из наиболее удачных моделей описана в книге «Кинетика фотосинтеза и фотодыхания  $C_3$ -растений» (Лайск, 1977).

Определение суточной динамики фотосинтеза, по возможности, проводится без отчуждения листа от растения. Через каждые 1–2 часа в течение 10 минут регистрируется поглощение  $CO_2$ .

Определение потенциального фотосинтеза ведется на отчужденных листьях, помещенных в камеру, где создается повышенная концентрация  $CO_2$  и вводится радиоактивная метка. Интенсивность освещенности — не ниже 40–60 тыс. люкс.

Для выявления температурной зависимости фотосинтеза используется термостатирующая камера.

Подробнее методику изучения фотосинтеза можно найти в работах А. Х. Лайска [5], В. И. Пьянкова [9; 10].

## **2.6. Оценка действия засоления на прорастание семян и развитие проростков**

Семена проращиваются либо в рулонах из трех слоев фильтровальной бумаги, либо в чашках Петри на трех слоях фильтровальной бумаги, смоченной до полной влагоемкости раствором солей, влияние которых необходимо исследовать. Каждый вариант представлен четырьмя повторностями по 50 семян или тремя повторностями по 100 семян. Контролем служат семена, проращиваемые на дистиллированной воде. Для поддержания нужной концентрации смена лож производится ежедневно. Температурный режим проращивания подбирается для каждого вида, экотипа, образца так, чтобы в контроле была максимальная всхожесть.

Учет проросших семян проводится ежедневно. Проростки переносятся в чашки Петри (не более 10 штук в каждую), ложе смачивается тем же раствором, что и при проращивании семян. Смена лож производится ежедневно. Через 5 дней измеряется длина проростков, их сырая и сухая масса, определяется содержание золы.

### Литература

1. Адаптивная система селекции кормовых растений (биогеоэкологический подход) / Под ред. З. Ш. Шамсутдинов. – М. : МГОЦ, 2007. – 224 с.

2. Гаевская Л. С. Каракулеводческие пастбища Средней Азии. – Ташкент : Фан, 1971. – 320 с.
3. Гамалей Ю. В., Вознесенская Е. В. Структурно-биохимические типы С<sub>4</sub>-растений // Физиология растений. – 1986. – Т. 33. – Вып. 4. – С. 802–819.
4. Залетаев В. С. Жизнь в пустыне. – М. : Мысль. – 1976. – 271 с.
5. Лайск А. Х. Кинетика фотосинтеза и фотодыхания С<sub>3</sub>-растений. – М. : Наука, 1977. – 195 с.
6. Мокроносов А. Т. Мезоструктура и функциональная активность фотосинтетического аппарата. – Свердловск, 1978. – С. 5–30.
7. Мокроносов А. Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза. – М. : Наука, 1981. – 196 с.
8. Нечаева Н. Т., Шамсутдинов З. Ш., Мухамедов Г. М. Улучшение пустынных пастбищ Средней Азии. – Ашхабад : Ылым, 1978. – 62 с.
9. Пьянков В. И., Вахрушева Д. В., Бурундукова О. Л. Типы фотосинтеза растений Центральных Каракумов и их экологическое значение // Проблемы освоения пустынь. – 1986. – № 2. – С. 45–54.
10. Пьянков В. И., Вахрушева Д. В., Дуриков М. Х. Структурно-функциональные особенности экотипов в агроценозах Центральных Каракумов и предгорий Копетдага // Проблемы освоения пустынь. – 1988. – № 1. – С. 67–73.
11. Шамсутдинов З. Ш. Создание долголетних пастбищ в аридной зоне Средней Азии. – Ташкент : Фан, 1975. – 176 с.
12. Шамсутдинов З. Ш. Введение в культуру пустынных кормовых растений. – Ташкент : Мехнат, 1987. – 178 с.
13. Шамсутдинов З. Ш., Ибрагимов И. О. Долголетние пастбищные агрофитоценозы в аридной зоне Узбекистана. – Ташкент : Фан, 1983. – 167 с.
14. Шамсутдинов З. Ш., Савченко И. В., Шамсутдинов Н. З. Галофиты России, их экологическая оценка и использование. – М. : Эдель-М, 2000. – 399 с.
15. Экологическая реставрация пастбищ (на основе новых сортов кормовых галофитов) / З. Ш. Шамсутдинов, В. М. Косолапов, И. В. Савченко, Н. З. Шамсутдинов. – М. : ФГОУ ДПОЛС РАКО АПК, 2009. – 295 с.
16. Шамсутдинов З. Ш., Шамсутдинов Н. З. Биогеоэкологические принципы и методы экологической реставрации пустынных пастбищных экосистем Средней Азии // Аридные экосистемы. – 2012. – № 3. – С. 5–21.
17. Шамсутдинов З. Ш., Шамсутдинов Н. З. Галофитное растениеводство (эколого-географические основы). – М. : Советский спорт, 2005. – 404 с.
18. Шамсутдинов Н. З. Биоресурсный потенциал галофитов и проблемы фитомелиорации деградированных аридных земель. – М. : «Угрешская Типография», 2016. – 348 с.

*Научное издание*

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ОЦЕНКЕ  
АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА  
АРИДНЫХ КОРМОВЫХ РАСТЕНИЙ**

Верстка, оригинал-макет Н. И. Георгиади

Подписано в печать 20.02.2018 г.  
Бумага «Снегурочка». Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Гарнитура «Таймс». Печать ризографическая  
Усл. печ. л. 1,1 Тираж 500. Заказ 029

ООО «Угрешская Типография»  
т. 700-12-29, 700-06-66  
111621, Москва, ул. Оренбургская, 15