

## ХАРАКТЕР СВЕТОВЫХ КРИВЫХ РАСТЕНИЙ, КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Магомедова М.Х.-М.<sup>1</sup>, Маммаев А.Т.<sup>1</sup>, Алиева М.Ю.<sup>1</sup>, Пиняскина Е.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФАНО РОССИИ, ФГБУН Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского научного центра РАН Россия, 367025, г. Махачкала, ул. Гаджиева, д. 45 E-mail: pibrdnrcran@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБУ ВО ДГУ, 367000 Россия, РД, Махачкала, ул. Гаджиева, 43 а.

---

Предлагается методический подход к оценке вероятности засоления почв по параметрам флуоресценции растений для разработки концептуальных основ применения данного метода при мониторинге изменения системы почва-растение и моделирования экологического риска деградации почв аридных территорий. Использование флуоресцентного метода в исследовании проблем аридизации поможет своевременно информировать и расширить возможности прогнозирования дальнейшего развития событий, своевременно разработать методы борьбы с этими явлениями. Обнаружены различия в характере световых кривых растений Кермек Мейера (*Limonium Meyeri*), произрастающих в условиях различной солевой и гумусовой нагрузки. Анализ полученных результатов можно применить для разработки мероприятий своевременного отклика на проявление признаков аридизации на начальных этапах появления.

---

Ключевые слова: фотосинтез, флуоресценция, засоленность, гумус.

## THE CHARACTERISTICS OF LIGHT CURVE PLANTS AS SOIL CONDITIONS OF ARID AREAS

Magomedova M.H.-M.<sup>1</sup>, Mammaev A.T.<sup>1</sup>, Alieva M.U.<sup>1</sup>, Pinyaskina E.V.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>FANO RUSSIA, FGBUN Caspian Institute of Biological Resources of Dagestan Scientific Center, RAS Russia, 367025, Makhachkala, Gadjeva str., 45 E-mail: pibrdnrcran@mail.ru

<sup>2</sup>Dagestan State University 367000 Russia, Dagestan, Makhachkala, Gadjeva str, 43 a

---

It is proposed methodical approach to assessing the likelihood of soil salinity on plant fluorescence parameters for developing a conceptual basis for the use of this method for monitoring changes in soil-plant systems and modeling of ecological risk of soil degradation of arid areas. Using the the fluorescence method in the study of problems aridiation will help timely inform and to empower predict further developments in a timely manner to develop methods to combat these phenomena. The differences were found in the character of the light curves of plant Kermek Meyer (*Limonium Meyeri*), growing under the conditions varying saline load and humus. Analysis of the findings can be used to the development of activities of timely response to emergence of signs of aridity in the early stages emergence.

---

Keywords: photosynthesis, fluorescence, , soil salinization, humus.

Количественные показатели флуоресценции часто применяют для характеристики физиологического состояния фотосинтезирующих объектов, при этом широко используется метод импульсной флуориметрии [2]. По всем кинетическим теориям фотосинтеза может показаться, что максимальный квантовый выход, подсчитанный по предельному наклону световой кривой, должен быть равен числу квантов, действительно запрошенных для фотосинтеза (если пренебречь практически ничтожной частью, теряемой в виде флуоресценции). Экспериментально определяемая величина квантового выхода, часто оказывается значительно ниже 0,1, и этот факт свидетельствует о том, что во многих случаях фотосинтетический аппарат или его часть находятся в недействительном состоянии, что ведет к потере большей части поглощенных световых квантов [4]. Причины этого могут

быть связаны с недостатком энзиматических систем, недостатком питания или произрастанием растения в неблагоприятных условиях [3, 5].

Световая кривая фотосинтеза - кривая, отражающая зависимость интенсивности фотосинтеза от плотности лучистого потока падающей фотосинтетически активной радиации. Световая кривая характеризует эффективность использования лучистой энергии на фотосинтез. Значение плотности светового потока, при котором наступает светонасыщение фотосинтеза, — величина непостоянная и зависит от экологических условий и видовых свойств растений [6]. Напряженность любого внешнего фактора, выходящая за пределы нормы реакции генотипа, создает условия экологического стресса. Наиболее часто в наших условиях фактором экологического стресса для наземных растений является высокое содержание солей в почве, что приводит к расширению областей, имеющих крайне деградированный травянистый и почвенный покров.

Целью настоящего исследования являлось изучение информативности световых кривых флуоресценции и фотосинтеза растений, произраставших в условиях различной степени засоленности и гумусированности почвы.

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

Отбор материала, объектов исследования и измерение квантового выхода флуоресценции и фотосинтеза в условиях различной степени засоленности почвы проводили в Тарумовском районе Республики Дагестан на территории Качубейской биосферной станции. Для исследования зависимости флуоресцентных показателей растений от концентрации гумуса и степени засоленности почвы объекты исследования отбирались на площадках с предположительно разным уровнем засоления: участок №1 («бугристый солончак») - геоморфологическая обл. и район – приморская полоса Терско-Кумской низменности, слабонаклонная равнина на север, мезорельеф бугристый. Растительность – сарсазановые сообщества: сарсазан, солянка однолетняя, полынь, кермек, лебеда, амарант и др. Солончак типичный, глубокопрофильный (-21,9 – -23,7 н.у.м.). Координаты: шир. 440 31,4724 долг. 460 36,9549; участок №2 («лугово-болотная») - луговая слабо - или среднесолончаковая, слабогумусированная, среднесуглинистая (-21,7 – -24,0 н.у.м.). Координаты: шир. 440 30,7054; долг. 460 38,4856; участок №3 – «солончак типичный» глубокопрофильный с солончаками луговыми, глубокопрофильными, среднесуглинистыми (тяжелосуглинистые и глинистые), (-13,8 – -15,8 н.у.м.). Координаты: шир. 440 26,3222; долг. 460 26,0874.

Образцы почв отбирали по генетическим горизонтам на глубинах 0-10 см и 20-30 см на всех трех опытных площадках.

Для определения общей концентрации водорастворимых солей в почвах проводился анализ водной вытяжки по общепринятым методам [1]. Определяли плотный остаток, состав анионов (щелочность от нормальных карбонатов  $\text{CO}_3^{2-}$  и бикарбонатов  $\text{HCO}_3^-$ , анионы  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) и состав катионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ).

Проводилось определение химического состава водных вытяжек почвы на степень засоленности, содержание гумуса (%) и концентрацию азота (мг/100г) в почвах с трех опытных площадок. Измерения параметров флуоресценции растений проводились на портативном хлорофилл - флуориметре анализаторе эффективности фотосинтеза MINI-PAM Heinz Walz GmbH. Математическую обработку материалов проводили с применением статистического пакета «Statistica 6».

### Результаты и обсуждение

На глубине 20-30см содержание гумуса заметно меньше, чем на глубине 0-10 см (рис. 1 А). В бугристом солончаке почти в 4 раза (3,97), в лугово-болотной почве в 5 раз меньше (возможно из-за легковесности самого гумуса, очень влажно); в солончаке типичном почти в три раза (2,7). Это, возможно, зависит от плотности и увлажненности почвы. Концентрация азота в бугристом солончаке на глубине 0-10 см выше, чем на глубине 20-30см; в лугово-болотной почве выше в 2 раза; в солончаке типичном также выше в 2 раза (рис. 1 В).

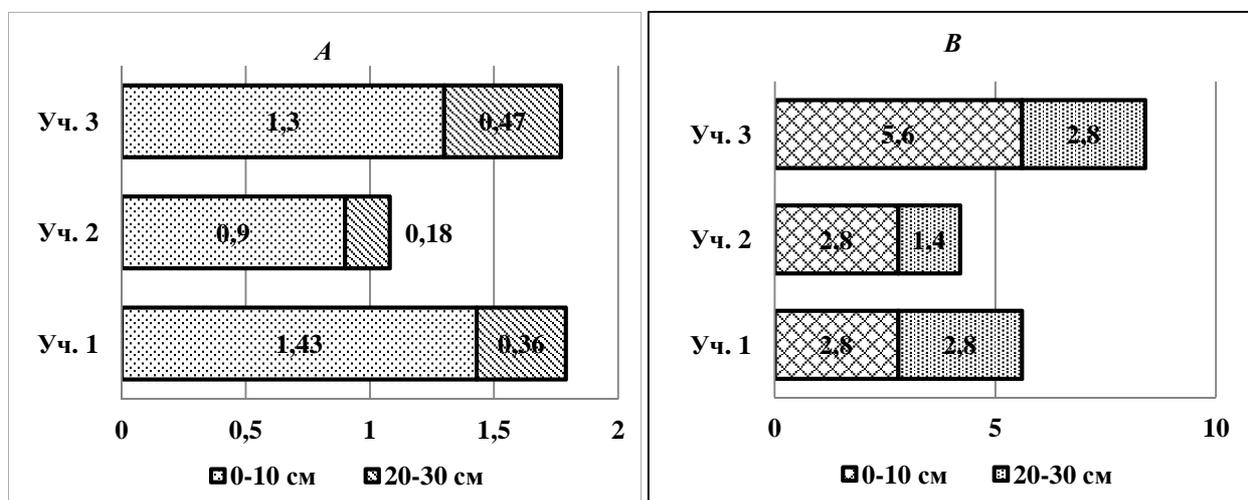


Рис. 1. Содержание гумуса (А) и азота (В) в почвах с различной солевой нагрузкой на глубине 0-10 и 20-30 см.

На уровне 0-10 см концентрация азота в бугристом солончаке равна концентрации азота в лугово-болотной почве. В бугристом солончаке условия для разложения органических остатков наименее благоприятные (наибольшая засоленность). Высокая влажность в лугово-болотной почве и наибольшая отдаленность от моря опытной площадки № 3 (солончак

типичный) способствует более успешному разложению органических остатков на поверхности почвы (0-10см).

На бугристом солончаке и лугово-болотной почве на глубине 0 – 10 см плотный остаток практически на одном уровне, в солончаке типичном меньше в 16 раз (рис. 2). Т.о., светло-каштановая карбонатная почва с участка № 3 наименее засолена. На глубине 20-30 см засоленность почвы в бугристом солончаке в 2,6 раз выше, чем в лугово-болотной

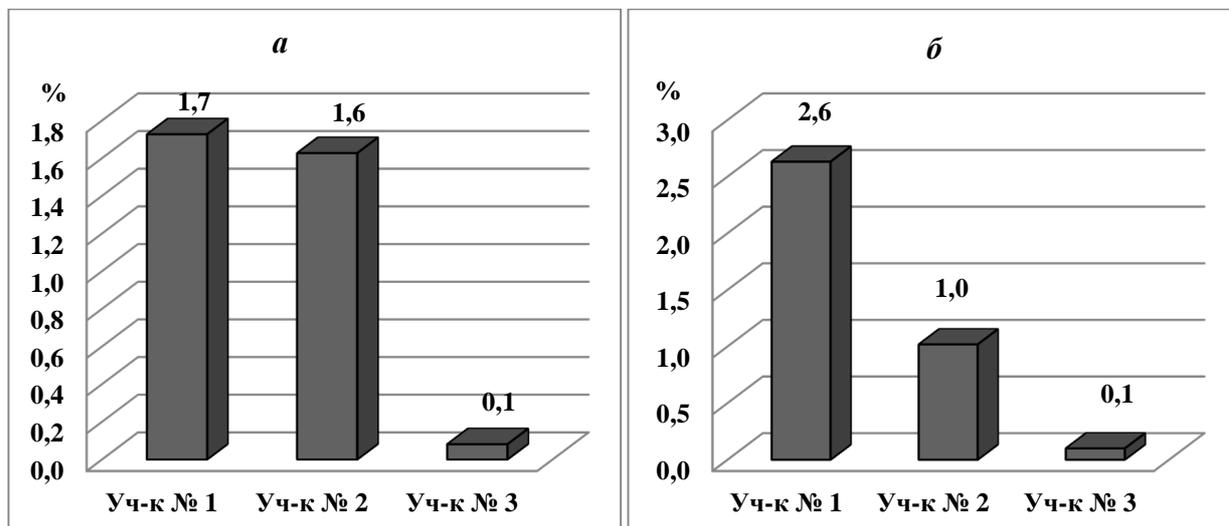


Рис. 2. Плотный остаток в почвах с опытных участков с различной степенью солевой нагрузки (%) на разных глубинах: *а* -0-10 см, *б* - 20-30 см.

почве и в 26 раз выше, чем на солончаке типичном. Т.е. в лугово-болотной почве на глубине 20-30 см засоленность ниже, чем на поверхности. Излишняя увлажненность лугово-болотной почвы, по-видимому, приводит к выпотному режиму засоления и поднятию солей на поверхность.

Естественные потери световой энергии при открытых реакционных центрах ( $F$ ) в начале световой кривой (первый насыщающий световой импульс) минимальный у растений с бугристого солончака и максимальный с лугово-болотной почвы (рис. 3) (обратная корреляция с концентрацией гумуса и азота (рис. 2)). К концу световой кривой максимальный уровень  $F$  у растений с бугристого солончака, минимальный с солончака типичного. Т.к. растения на бугристом солончаке подвержены воздействию высоких концентраций солей и более закалены к действию стресса другого рода, первый импульс растения выдерживают лучше и теряют световую энергию меньше, чем растения с менее засоленных участков. Но длительную атаку световыми импульсами растения выдерживают меньше и к восьмому импульсу истощаются и теряют световую энергию больше, что указывает на значительные фотоповреждения фотосинтетических систем.

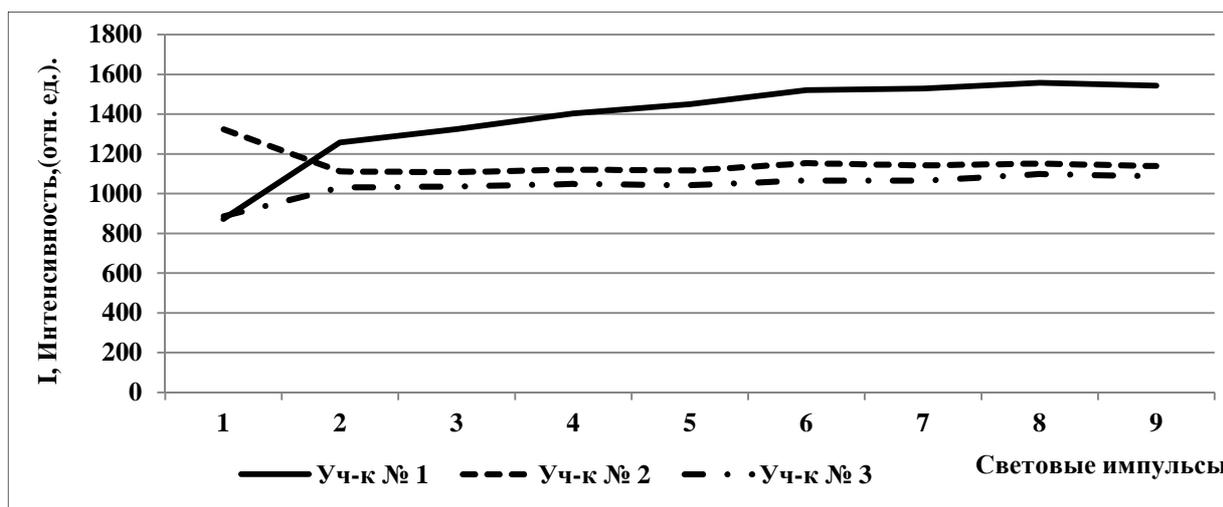


Рис. 3. Световые кривые квантового выхода флуоресценции ( $F$ ) растений, произраставших на почвах с различной степенью солевой нагрузки.

Максимальная флуоресценция ( $Fm$ ) при первом импульсе растений с бугристого солончака и с лугово-болотной почвы на одном уровне и выше, чем у объектов с солончака типичного (рис. 4).

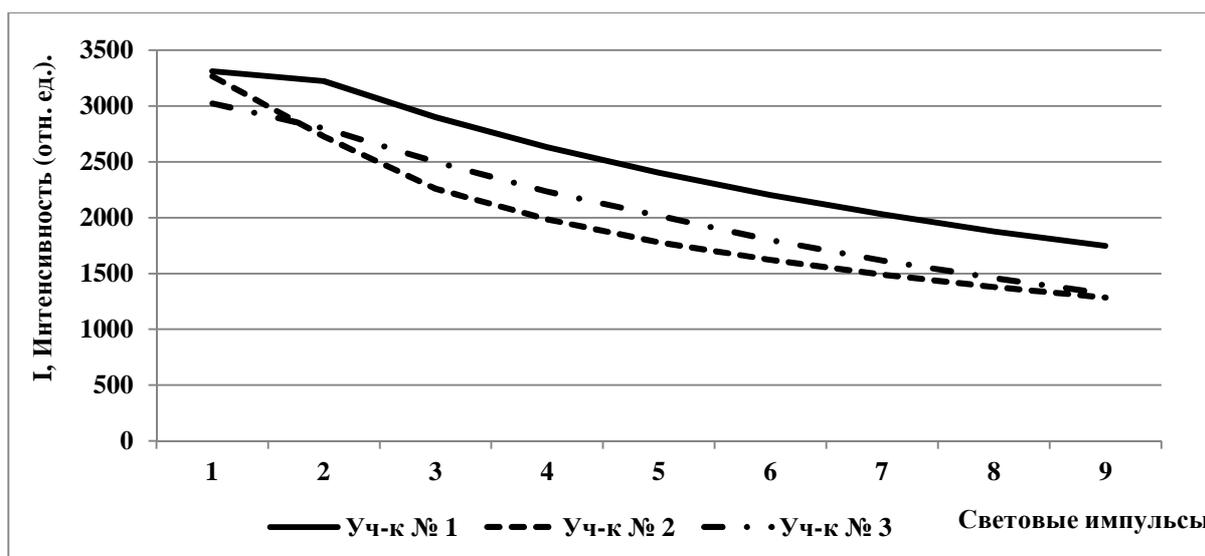


Рис. 4. Световые кривые квантового выхода максимальной флуоресценции ( $Fm$ ) растений, произраставших на почвах с различной степенью солевой нагрузки.

К концу световых кривых показания максимальной флуоресценции растений с лугово-болотной почвы и солончака типичного на одном уровне и ниже, чем у растений с бугристого солончака. У растений с бугристого солончака показания  $Fm$  на протяжении всей световой кривой держится выше двух других участков, что свидетельствует о значительных потерях световой энергии при световом насыщении и уже закрытых реакционных центрах.

При начальном насыщающем импульсе низкий выход  $Fm$  растений солончака типичного указывает на меньшие потери световой энергии и на то, что растения находятся

в более благоприятных условиях произрастания по признаку засоленности (рис. 2). По всей световой кривой показания  $Fm$  ниже показаний с других участков, проходят у растений с лугово-болотной почвы. Наблюдается прямая корреляция показаний интенсивности максимальной флуоресценции с содержанием гумуса в почве (рис. 1 А) Снижение показаний максимальной флуоресценции у растений с лугово-болотной почвы свидетельствует о том, что идет смена флуоресцентных потерь на безизлучательные потери световой энергии (тепловая диссипация) и может рассматриваться как фотопротекторная реакция.

Минимальные значения квантового выхода фотосинтеза ( $Y$ ) при первом световом импульсе наблюдаются у растений с лугово-болотной почвы, максимальные с бугристого солончака (рис. 5). Далее световая кривая фотосинтеза выше других проходит у растений с солончака типичного, т.е. здесь наиболее высокий квантовый выход фотосинтеза и устойчивость растений к атакам световых импульсов.

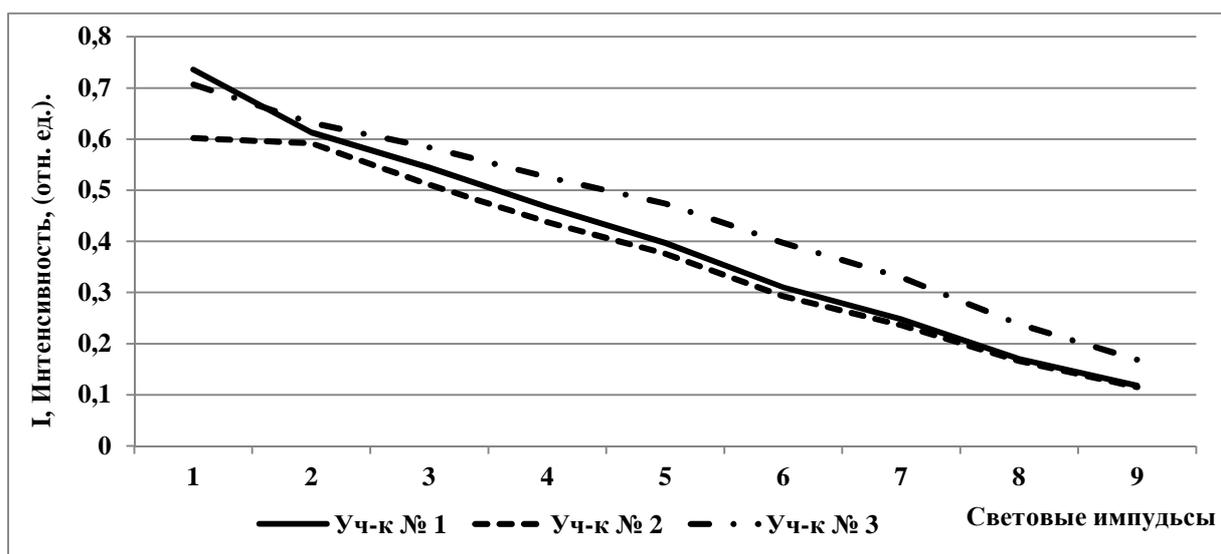


Рис. 5. Световые кривые квантового выхода фотосинтеза ( $Y$ ) растений, произраставших на почвах с различной степенью солевой нагрузки.

Световые кривые  $Y$  растений с лугово-болотной почвы и бугристого солончака проходят заметно ниже, что свидетельствует о низком уровне фотосинтеза в этих условиях при действии светового стресс-фактора. Наблюдается прямая корреляция интенсивности фотосинтеза с концентрацией азота в почве на глубине 0-10 см (рис. 1 В) и обратная корреляция с засоленностью (рис. 2). Выход фотосинтеза падает под действием всех факторов, ингибирующих реакционные центры фотосистемы II, при этом растет тепловая диссипация или показания флуоресценции.

Необходимо отметить, что различия в световых кривых фотосинтеза растений Кермек Мейера (галофит) с трех разных по засоленности и гумусированности опытных площадок, не

такие существенные, как мы наблюдали в световых кривых флуоресценции. Это свидетельствует о поддержании растением уровня фотосинтеза на максимально возможном высоком уровне, независимо от условий произрастания, ввиду слишком высокой значимости процесса фотосинтеза для развития целого растения и перспективы дальнейшей передачи качественного генетического материала. Фотосинтез - процесс, обеспечивающий растительную клетку энергией, поэтому сохранение фотосинтетической активности в условиях физиологического стресса во многом определяет устойчивость растения к неблагоприятным факторам окружающей среды.

### **Заключение**

Обнаруженные нами корреляционные зависимости в характере световых кривых флуоресценции  $F$  растений от общей засоленности,  $Fm$  от содержания гумуса и фотосинтеза  $Y$  от концентрации азота в почвах свидетельствует о присутствии заметной реакции оптических параметров растений на различия в состоянии почвы и позволяет проводить интегральную комплексную оценку состояния почвенной среды по флуоресцентной реакции высших растений на действие избыточного количества солей, гумусированность, концентрацию азота, суммарный эффект которых очень сложно выявить стандартными химическими методами контроля. Высокое временное разрешение, экспрессность, чувствительность и возможность автоматического измерения большого числа параметров флуоресценции растений в естественной природной среде позволяет рекомендовать применение метода в биомониторинге почвенной среды для своевременного обнаружения возникновения признаков аридизации на самых начальных этапах проявления.

### **Список литературы**

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1972. — 487с.
2. Беляева Н.Е., Пашенко В.З., Ренгер Г., Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б. Использование модели фотосистемы II для анализа индукционной кривой флуоресценции вызванной насыщающим импульсом во временном диапазоне 100 нс-10с // Биофизика. — 2006. — Том 5, вып. 6, — С. 976-990.
3. Магомедова М.Х.-М., Алиева. М.Ю. Флуоресцентная реакция растений на различия в минеральном питании // Известия ДГПУ естественные и точные науки. — 2010. — № 3. — С. 60-65.
4. Рабинович Е. Фотосинтез. М.: Иностран. лит-ра, 1953. Том 2. — 652 с.

5. M.H.M. Magomedova, A.T. Mammaev, M.U. Alieva, and E.V. Pinyaskina Express Monitoring of a Soil System by Measuring Plant Fluorescence Response to Soil Salinity //Aridnye Ekosistemy. — 2014. Vol. 20, No. 1(58). — P. 31-34.

6. Световая кривая фотосинтеза [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://sortov.net/info/svetovaya-krivaya-fotosinteza.html> (дата обращения: 23. 11.15).

**Рецензенты:**

Асадуллаев З.М., д. б. н., профессор, директор института ФГБУН Горный ботанический сад ДНЦ РАН, г. Махачкала;

Гасанов Г.Н., д.с. х.н., руководитель лаборатории биогеохимии, ФАНО РОССИИ, ФГБУН Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского научного центра РАН, г. Махачкала.