

К ВОЗМОЖНОСТЯМ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ РАСТЕНИЙ

© 2016

Л.М. Кавеленова, доктор биологических наук, заведующий кафедрой экологии, ботаники и охраны природы
А.Б. Петрова, аспирант кафедры экологии, ботаники и охраны природы
А.М. Трубников, аспирант кафедры экологии, ботаники и охраны природы
Н.В. Янков, аспирант кафедры экологии, ботаники и охраны природы
К.А. Савицкая, студент биологического факультета
А.П. Кравцева, аспирант кафедры экологии, ботаники и охраны природы
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара (Россия)
М.И. Антипенко, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
А.А. Кузнецов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
*Научно-исследовательский институт садоводства и лекарственных растений «Жигулёвские Сады»,
Самара (Россия)*

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема оценки и сравнения экофизиологических показателей листового аппарата древесных растений, произрастающих в динамичных условиях окружающей среды. Дополнительно к уже применяемым методам скрининга параметров листьев предлагается показатель, характеризующий их функциональную активность, для чего расчетным способом после выполнения аналитических процедур определяется количество активных компонентов (в частности, фотосинтетических пигментов, золы и пр.), приходящееся на единицу площади листовой поверхности. Указывается перспективность использования данного подхода для различных целей, в том числе: для анализа особенностей сезонной динамики метаболической активности листовых пластинок; сравнения экофизиологических особенностей различных растений (видов, сортов, местных и интродуцированных объектов); выявления реакции на стрессовые воздействия, сравнения различных объектов по устойчивости к стрессам.

В статье использованы оригинальные данные, относящиеся к вегетационным периодам 2013–2015 гг. Пробы листовой массы отбирались: для дикорастущих видов деревьев и кустарников – в насаждениях Красносамарского леса, для плодовых культур – в питомниках НИИ «Жигулёвские сады», для деревьев и кустарников-интродуцентов – в дендрарии Ботанического сада Самарского университета. Обработка проб листовой массы выполнялась в соответствии с разработанным ранее алгоритмом.

В целом для всех рассмотренных групп показатель содержания пигментов в расчете на единицу площади поверхности демонстрируют более плавную динамику, чем при расчете на единицу массы. Такая ситуация вытекает из возрастных изменений листовых пластинок, которые за вегетационный период насыщаются определенным количеством «балластных» в отношении метаболизма веществ, накапливают различное количество осмотически активных соединений и пр. Рассмотрение качества единицы фотосинтезирующей поверхности позволяет заметить, что в изменчивых погодных условиях растения поддерживают определенный уровень метаболической активности листьев, производя оперативную «подстройку» пула фотосинтетических пигментов на основе видовых и сортовых особенностей их экологической пластичности.

Ключевые слова: древесные растения; фотосинтетические пигменты; скрининг параметров листьев; Красносамарский лес; НИИ «Жигулёвские сады»; сорта груши и земляники садовой; интродуценты; ботанический сад Самарского университета; вегетационный период; масса единицы площади.

Введение. Листья древесных растений, которые можно рассматривать в качестве важнейшего связующего звена между растением и окружающей средой [1], характеризуются разнообразием количественных и качественных показателей, часть которых представляет собой специфические функциональные, другие характеризуют ответные реакции на абиотические и биотические стрессы. Стандартизуя проведение полевых и лабораторных исследований, зарубежные специалисты предложили относить рассматриваемые показатели в группы морфологических, химических, физиологических признаков, симптомов [2; 3]. Происходит активное формирование мировых баз данных, в которые вносятся значения структурно-функциональных показателей для большого числа видов, произрастающих в различных районах (в частности, база показателей по флоре Северо-Западной Европы [4]). Представленные в базах фактические данные демонстрируют на уровне вида зависимость от место-

обитания, типа сообщества, что ставит задачу фильтрации данных и исчисления функциональных параметров с учетом вида и сообщества [1]. Скрининг параметров листьев древесных растений в целях изучения их фенотипических особенностей, мониторинга в лесном хозяйстве, территориального планирования [1–3] включает отбор проб листовой массы, комплекс легко определяемых в полевых условиях показателей, а также подготовку проб для лабораторного изучения с привлечением разнообразной приборной базы.

Поскольку данный подход является абсолютно логичным, одним из соавторов данной статьи ранее независимо на основе многолетних исследований была предложена методологическая схема (рис. 1), в соответствии с которой организуются отбор проб и изучение параметров листовой массы в лаборатории фитоиндикации кафедры экологии, ботаники и охраны природы Самарского университета [5]. Позиции в схеме, очерченные сплошными рамками, представ-

ляют обязательную часть исследований, при сокращенной программе не проводится обработка пробы 1 (не происходит определение водного дефицита). Обработка пробы 4 и определение других показателей, очерченных пунктирными рамками, реализуются

при постановке специальных целей. Эта методическая схема позволяет нам обеспечить получение сравнимых и достоверных данных, используя ограниченный арсенал оборудования и узкий круг исполнителей.

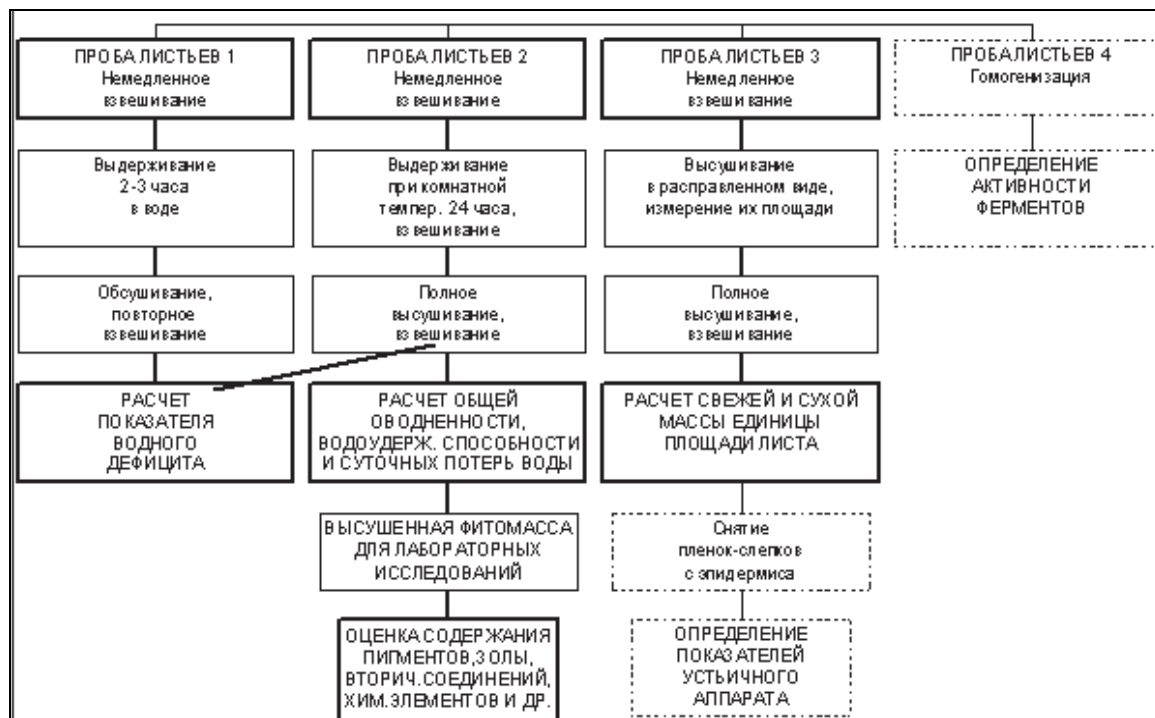


Рисунок 1 – Блок-схема экологического скрининга листьев (из [5])

Как известно, многие функциональные показатели листьев традиционно связаны с параметрами массы. Таковы показатели водного режима (общая обводненность, водный дефицит, суточные потери влаги и вододерживающая способность), содержание различных веществ. Связывающий показатель размеров и массы показатель массы единицы площади (удельной листовой массы, *leaf mass per area*) применяется в мировой и отечественной практике [1; 6; 7] при оценке меры склерофильности. Масса единицы площади листьев в зависимости от способа определения может исчисляться как сухая и свежая. Степень склерофильности определяется как отношение сухой массы листьев к их площади [8] и имеет различные показатели у растений, принадлежащих к разным экологическим группам, она существенно ниже у теневыносливых видов [9] и демонстрирует связь с условиями обитания [10]. Данный показатель для 45 видов древесных растений дендрологической коллекции Ботанического сада Самарского университета, а именно местных и интродуцированных деревьев, кустарников, древесных лиан, обнаружил варьирование в диапазоне от 2,7 до 21,2 при среднем уровне 7,5 мг/см² [11; 12, с. 98–130].

В данной статье мы хотели бы обратить внимание на возможности применения другого расчетного показателя, характеризующего функциональную активность листьев, для чего предлагается определение количества активных компонентов (в частности, фотосинтетических пигментов, золы и пр.), приходящегося на единицу площади листовой поверхности. Данный подход в хорошем смысле традиционен для физиологии растений, поскольку и интенсивность фотосинтеза, и поглощение ФАР, и содержание важнейших ферментов фотосинтеза традиционно рассматривают

в расчете на площадь фотосинтезирующей поверхности, м² либо дм², при оценке скорости протекания процессов – с учетом времени [13, с. 147–152; 14, с. 152–160].

Способ выражения метаболических показателей в расчете «на площадь» требует параллельного учета площади поверхности взятого биоматериала, но используемая нами методическая схема позволяет выражать полученные результаты в искомом виде путем нетрудного пересчета. Мы можем предположить в качестве возможных направлений использования показателя данного типа следующие: анализ особенностей сезонной динамики метаболической активности листовых пластинок; сравнение различных растений – видов, сортов, местных и интродуцентов; выявление реакции на стрессовые воздействия, сравнение различных объектов по устойчивости к стрессам.

Методика. В статье использованы данные, относящиеся к вегетационным периодам 2013–2015 гг. Пробы листовой массы отбирались: для дикорастущих видов деревьев и кустарников – в насаждениях Красносамарского леса, для плодовых культур – в питомниках НИИ «Жигулевские сады», для деревьев и кустарников-интродуцентов – в дендрарии Ботанического сада Самарского университета.

Объектами исследования служили листья следующих видов и сортов сем. Розоцветные дикорастущие: слива степная, вишня кустарниковая, черемуха обыкновенная, роза собачья, миндаль низкий, боярышник кроваво-красный; сорта груш, созданные селекционерами плодовых культур Самарской области и проходящие сортоизучение в НИИ «Жигулевские сады»: Александра, Болеро-1, Болеро-2, Волшебница, Галиана, Жигулинка, Журавлинка, Краса

Жигулей, Кристина, Лакомка, Лебедушка, Осенняя крупная, Ранняя, Румяная Кедрина, Самарская Жемчужина (Зимняя), Самарская красавица, Самарянка, Скромница, Средневожская, Усолка, Чижовская; сорта земляники садовой, проходящие сортоизучение в НИИ «Жигулевские сады» [15, с. 3–146]: Блестящая, Жанна, Звездочка, Зенга Зенгана, Избранница, Источник, Кама, Кармен, Лорд, Онега, Осенняя Ранняя, Пандора, Фестивальная. В группу объектов из дендрария ботанического сада входили интродуценты (абрикосы обыкновенный и сибирский, вишни магалебка, сахалинская, японская, миндаль Ледебура, персикобобовник, слива растопыренная, принсеция китайская, черемухи виргинская, Грея, поздняя и местные виды – вишня кустарниковая и черемуха обыкновенная).

В соответствии со схемой (рис. 1) проводили определение базовых показателей, которые использовали для расчета функциональной активности листьев. Математическая обработка данных и построение диаграмм производились с использованием пакета Excel.

Результаты и их обсуждение. Изменчивость погодных условий, свойственная нашему региону [16, с. 35–75; 17], отчетливо проявилась в несходстве вегетационных периодов, в первую очередь с точки зрения сроков и длительности возникновения дефицита осадков на фоне повышенной температуры (ситуация почвенной и воздушной засухи). Так, в 2013 г. жаркая погода весной способствовала быстрому прохожде-

нию начальных фаз вегетации, позднее развитие растений затруднил июньский дефицит влаги, обильное выпадение осадков в августе-сентябре и длительное сохранение положительных температур способствовало затягиванию завершения вегетационного периода (рис. 2).

В 2014 г. прохладная затяжная весна сменилась летним периодом с заметной выраженностью влагодефицита в июле и особо засушливой осенью, когда в сентябре практически не выпадало осадков. Наконец, в 2015 за периодом выпадения значительного количества осадков в апреле последовали их сокращение в мае и практическое отсутствие в июне (который оказался наиболее жарким месяцем), ослабление стрессовых условий в июле-августе и рост дефицита осадков в сентябре.

В ряде предыдущих публикаций, в которых нами рассматривались эколого-физиологические особенности листьев различных плодовых и дикорастущих растений [18–20], была продемонстрирована отчетливо выраженная изменчивость показателей листовой массы в различных по характеру погодных условий вегетационных периодов. Поэтому специфику гидро-термических условий периодов вегетации мы всякий раз имели в виду, рассматривая представленную в диаграммах (рис. 3–5) динамику показателей содержания фотосинтетических пигментов в единице площади листа у различных групп объектов.

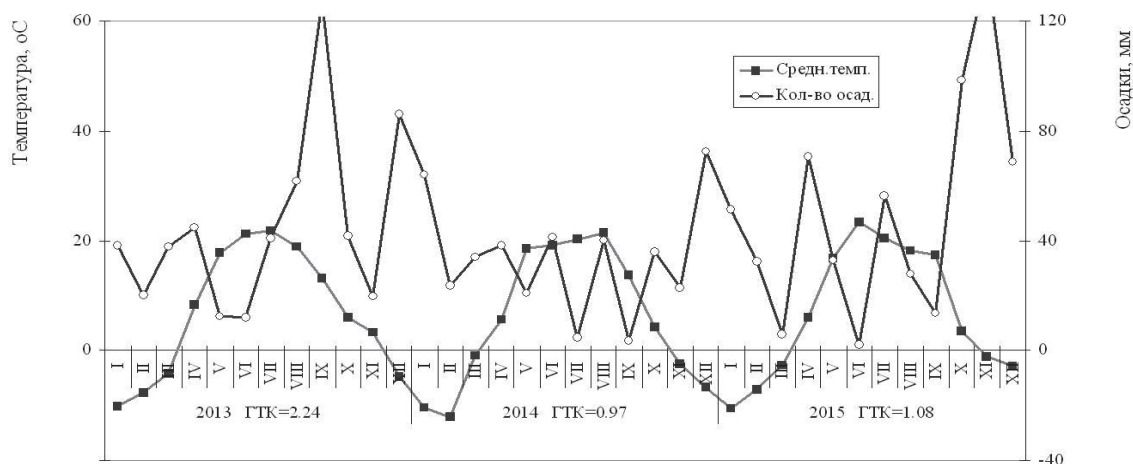


Рисунок 2 – Особенности погодных условий 2013–2015 гг.

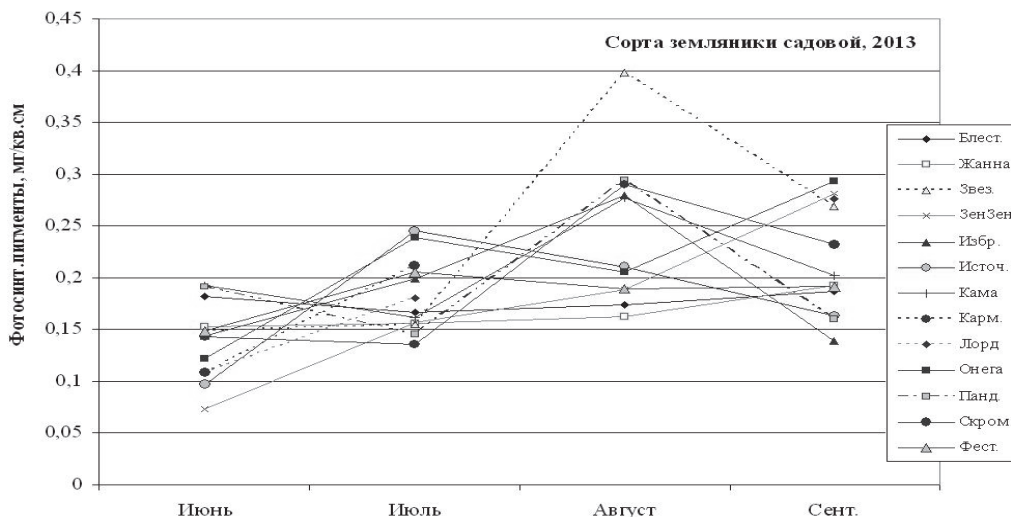


Рисунок 3 – Изменение содержания фотосинтетических пигментов в листьях различных сортов земляники садовой за вегетационный период 2013 года

Так, изучавшиеся нами сорта земляники характеризовались неодинаковым содержанием фотосинтетических пигментов в листьях в начале периода наблюдений (июнь), что могло соответствовать неодинаковой скорости развития фотосинтетического аппарата при быстром развертывании начала вегетации и последующем наступлении жаркой и довольно засушливой погоды. Последующее выпадение осадков, особенно обильное в августе, спровоцировало у растений накопление дополнительного количества фотосинтетических пигментов, причем у сортов Источник и Онега максимальный уровень показателя соответствовал июлю, а у сортов Звездочка, Жанна,

Пандора, Избранница, Скромница – августу. Повышение содержания фотосинтетических пигментов в расчете на единицу площади листа, на наш взгляд, означает сохранение на достаточно высоком уровне метаболической активности на фоне общих возрастных структурных изменений листовой пластинки, приводящих к изменению ее оптических характеристик (рис. 3).

Практическим выводом, который следует из полученных данных, служит рекомендация для сортов, продемонстрировавших способность до поздних сроков вегетации наращивать фотосинтетический аппарат листьев, не проводить их раннего срезания.

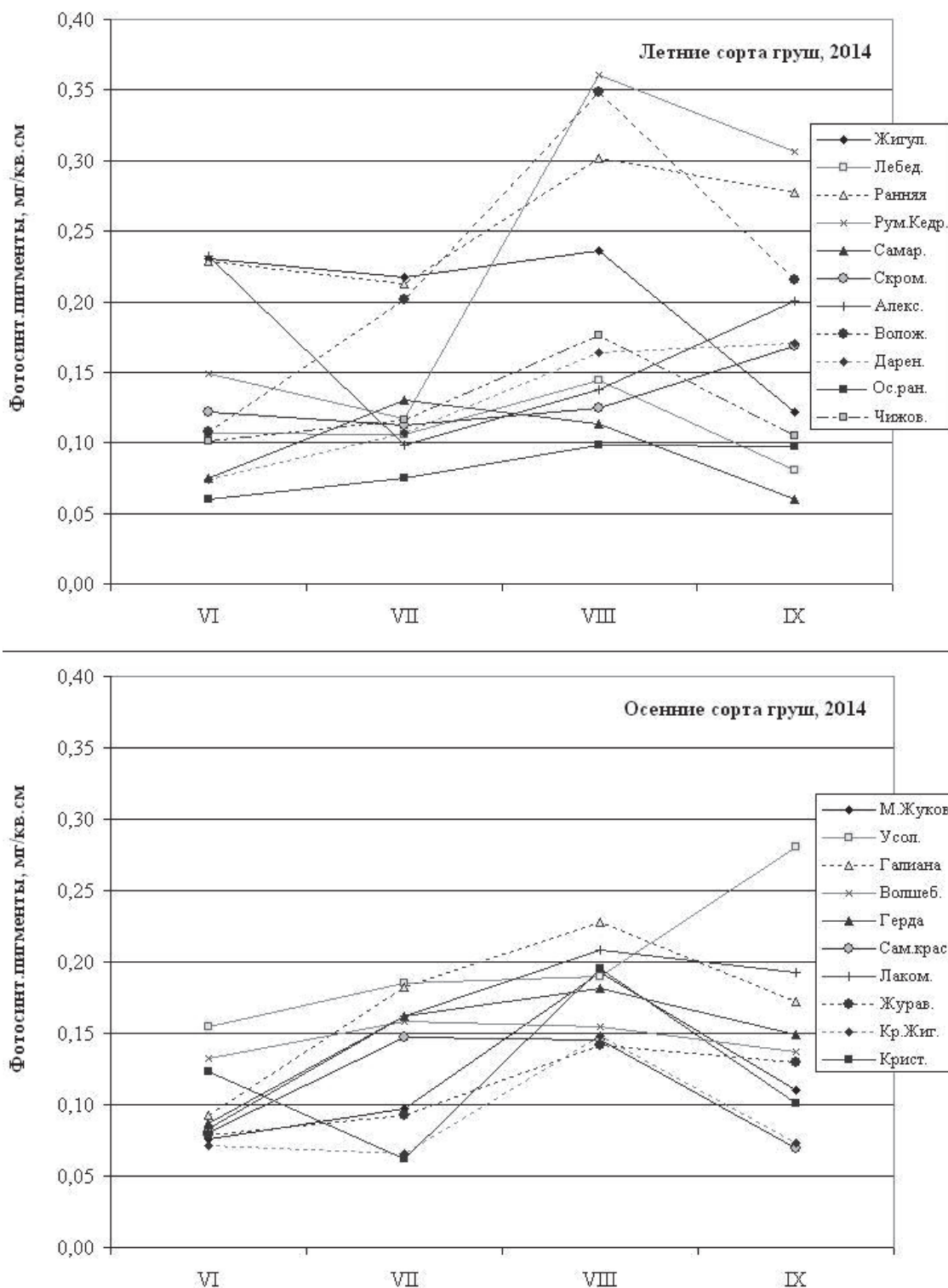


Рисунок 4 – Изменение содержания фотосинтетических пигментов в листьях различных сортов груши

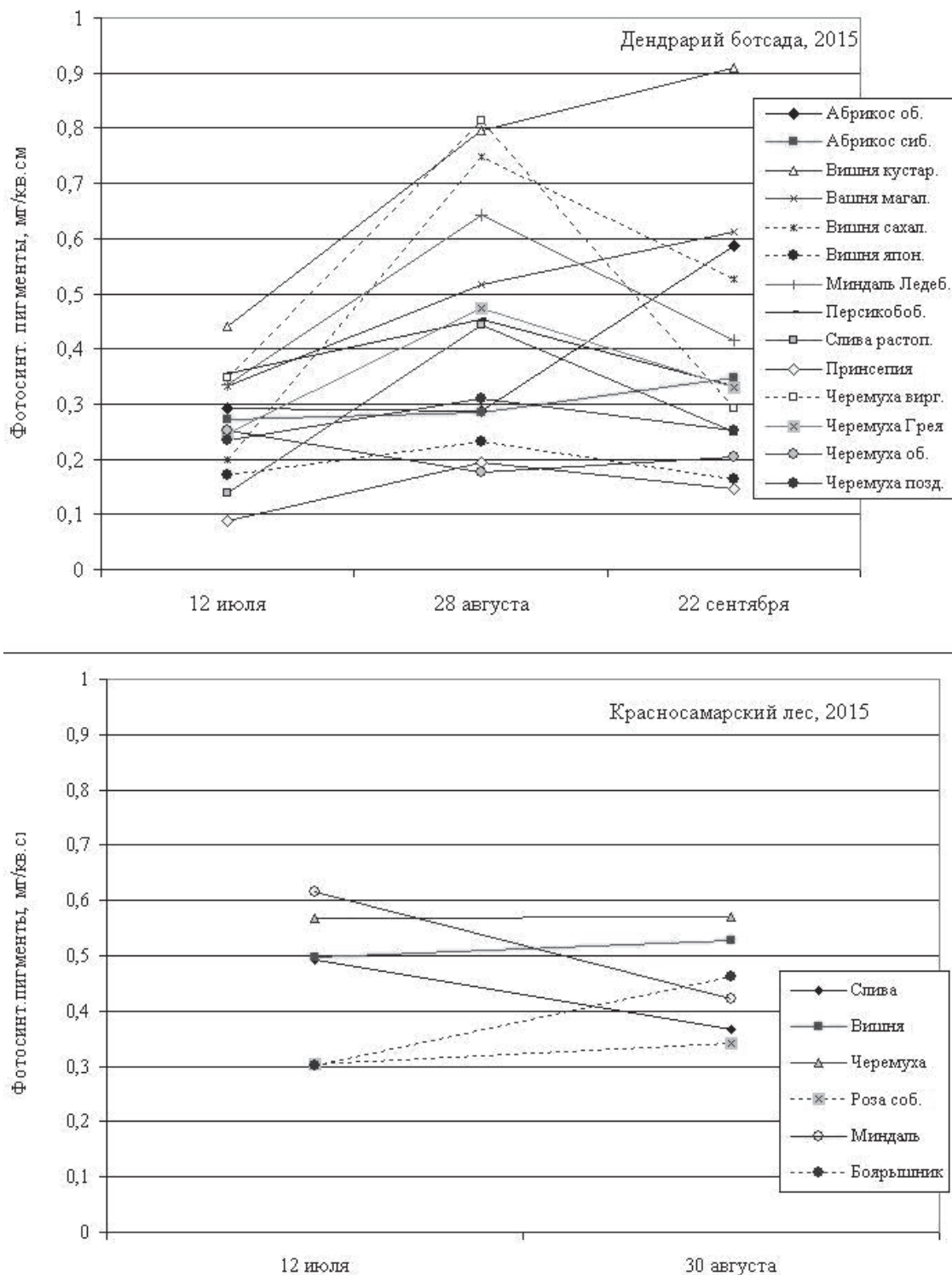


Рисунок 5 – Изменение содержания фотосинтетических пигментов в листьях различных представителей сем. Розоцветные (дендрарий Ботанического сада и Красносамарский лес 2015 г.)

Показатели листьев сортов груши (рис. 4) сгруппированы в соответствии со сроками созревания их плодов. При этом оказалось, что группа «летних» сортов была более разнородной по уровню накопления пигментов в единице площади листа: за вегетационный период не превысили уровень 0,1 мг/см² листья сорта Осенняя ранняя, в августе вышли на максимальный уровень значений сорта Румяная Кедрина и Воложка (0,35 мг/см²). Среди этой группы сортов заметную реакцию на неблагоприятные погодные условия июля обнаружили листья сортов Румяная Кедрина, Воложка и Жигулинка. В этой группе сезонная динамика показателя характеризовалась наличием

максимума в августе у сортов Воложка, Ранняя, Чижовская, Лебедушка, в июле – у сорта Самарянка, плавным ростом показателя к сентябрю у сортов Александра, Скромница, Даренка. Особо отметим группу сортов Чижовская, Даренка, Лебедушка, Скромница, Самарянка и Осенняя ранняя, имеющих близкие, не превышающие 0,2 мг/см² показатели содержания фотосинтетических пигментов в листьях.

Показатели, соответствующие августу, обнаружили наибольшие расхождения у разных сортов, что может означать неодинаковую способность активизировать метаболические процессы после снятия стрессовой нагрузки (июльского дефицита осадков). Групп

па осенних сортов проявила более заметную близость по уровню показателя и характеру сезонной динамики. В целом, для листьев этих сортов наиболее изменчивыми были показатели июля, при сближении значений с выходом на максимальный уровень показателя – в августе и последующим снижением у всех сортов группы, за исключением сорта Усолка.

Дикорастущие представители сем. Розоцветные имели сравнительно высокие значения показателя (рис. 5), что может отражать их специфику как кустарниковых растений либо деревьев нижнего яруса (черемуха). Различия между июльскими и августовскими значениями показателя были сравнительно слабо выражены. Группа древесных растений из дендрария Ботанического сада проявила высокую неоднородность показателя, от минимального уровня значений (принсепия, не более 0,2 мг/см²) до 0,8 мг/см² (черемуха виргинская).

Различия между объектами наиболее отчетливо обнаруживались в августе, что может быть связано как с неодинаковой способностью растений восстанавливаться после стрессового воздействия, так и с различием сроков вегетации (ранним либо поздним завершением вегетации в местных условиях).

В целом, для всех рассмотренных групп объектов изменения показателя содержания пигментов в расчете на единицу площади поверхности демонстрируют более плавную динамику, чем при расчете на единицу массы. Такая ситуация вытекает из возрастных изменений листовых пластинок, которые за вегетационный период насыщаются определенным количеством «балластных» в отношении метаболизма веществ, накапливают различное количество осмотически активных соединений и пр. Рассмотрение качества единицы фотосинтезирующей поверхности позволяет заметить, что в изменчивых погодных условиях растения поддерживают определенный уровень метаболической активности листьев, производя оперативную «подстройку» пула фотосинтетических пигментов на основе видовых и сортовых особенностей их экологической пластичности.

Отметим, что изучавшиеся нами интродуценты-розоцветные в условиях дендрария Ботанического сада продемонстрировали достаточно высокую устойчивость [12], хотя имеют различное географическое происхождение и в естественных ареалах приурочены к иным почвенно-грунтовым условиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Bussotti F., Pollastrini M. Evaluation of leaf features in forest trees: Methods, techniques, obtainable information and limits // *Ecological Indicators*. 2015. Vol. 52. P. 219–230.
2. Cornelissen J.H.C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S., Buchmann N., et al. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide // *Australian Journal of Botany*. 2003. Vol. 51. P. 335–380.
3. Perez-Harguindeguy N., Diaz S., Garnier E., Lavorel S., Poorter H. et al., 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide // *Aust. J. Bot.* 2013. Vol. 61. P. 167–234.
4. Kleyer M., Bekker R.M., Knevel I.C., Bakker J.P., Thompson K., et al. 2008. The LEDA Traitbase: a database of life-history traits of Northwest European flora // *Journal of Ecology*. 2008. Vol. 96. P. 1266–1274.

5. Кавеленова Л.М., Малыхина Е.В., Розно С.А., Смирнов Ю.В. К методологии экофизиологических исследований листьев древесных растений // *Поволжский экологический журнал*. 2008. № 3. С. 200–210.

6. Малыхина Е.В., Кавеленова Л.М., Минин А.Н. К оценке экофизиологических особенностей клоновых подвоев для косточковых культур в лесостепи среднего Поволжья // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2009. Т. 11, № 1–4. С. 711–714.

7. Кавеленова Л.М., Кравцева А.П., Трубников А.М., Янков Н.В. К возможностям оценки функциональной активности листовых пластинок древесных растений // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2013. Т. 15, № 3–7. С. 2333–2336.

8. Burghardt M., Riederer V. Ecophysiological relevance of cuticular transpiration of deciduous and evergreen plants in relation to stomatal closure and leaf water potential // *Journal of Experimental Botany*. 2003. V.54. N.389. P. 1941–1949.

9. Niinemets U., Kull O., Tenhunen J.D. An analysis of light effects on foliar morphology, physiology and light interception in temperate deciduous woody species of contrasting shade tolerance // *Tree Physiology*. 1998. V.18. P. 681–696.

10. Bussotti F., Borghini F., Celesti C., Leonzio C., Bruschi P. Leaf morphology and macronutrients in broad-leaved trees in central Italy // *Trees*. 2000. V. 14. № 7. P. 361–368.

11. Кавеленова Л.М., Розно С.А., Киреева Ю.В., Смирнов Ю.В. К структурно-функциональным особенностям листьев древесных растений в насаждениях лесостепи // *Бюллетень Самарская Лука*. 2007. Т. 16, № 3. С. 568.

12. Розно С.А. Итоги интродукции древесных растений в лесостепи Среднего Поволжья: монография / Розно С.А., Кавеленова Л.М.; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Самарский гос. ун-т». Самара, 2007. 228 с.

13. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н.Н. Третьяков, Е.И. Кошкин, Н.М. Макрушин и др.; под ред. Н.Н. Третьякова. М.: «Колос», 2000. 640 с.

14. Гудвин Т., Мерсер Э. Введение в биохимию растений: В 2-х т. Т. 1. Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 393 с.

15. Лучшие сорта плодовых, ягодных культур и винограда селекции государственного бюджетного учреждения Самарской области «Научно-исследовательский институт садоводства и лекарственных растений "Жигулевские сады"» / под общ. ред. О.И. Азарова, Л.Г. Демениной, Л.Г. Деменина, М.И. Антипенко, А.А. Кузнецова, Г.И. Соболева, А.А. Верченнова. Самара: Изд-во «Ас Гард», 2013. 148 с.

16. Климат Куйбышева / под ред. д-ра геогр. наук Ц.А. Швер. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 224 с.

17. Кавеленова Л.М., Розно С.А. Временная неоднородность климатических условий лесостепи и ее значение для биомониторинга и интродукции растений // *Вестник Самарского государственного университета*. 2002. Сер. Естественные науки. Внеочередной выпуск. С. 156–165.

18. Брагина О.М., Власова Н.В., Кравцева А.П., Петрова А.Б., Помогайбин Е.А., Трубников А.М., Янков Н.В. Особенности химического состава фитомассы некоторых дикорастущих и культивируемых древесных растений: к оценке зольного компонента // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2014. Т. 16, № 1(3). С. 724–727.

19. Кравцева А.П., Петрова А.Б., Савицкая К.С., Кавеленова Л.М., Кузнецов А.А., Антипенко М.И. Особенности сезонной динамики зольного компонента в листьях различных сортов груши и земляники садовой // Вестник молодых ученых и специалистов Самарского гос. университета. 2014. № 2. С. 31–36.

20. Кавеленова Л.М., Кравцева А.П., Трубников А.М., Янков Н.В. К возможностям оценки функциональной активности листовых пластинок древесных растений // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15, № 3 (7). С. 2333–2336.

CONCERNING THE PROSPECTS OF QUANTITATIVE VALUING OF LEAF SURFACE FUNCTIONAL ACTIVITY FOR DIFFERENT PLANTS

© 2016

L.M. Kavelenova, doctor of biological sciences, head of Ecology, Botany and Nature Protection Department

A.B. Petrova, postgraduate student of Ecology, Botany and Nature Protection Department

A.M. Trubnikov, postgraduate student of Ecology, Botany and Nature Protection Department

N.V. Yankov, postgraduate student of Ecology, Botany and Nature Protection Department

K.A. Savitskaya, student of Biology Faculty

A.P. Kravtseva, postgraduate student of Ecology, Botany and Nature Protection Department

Samara National Research University, Samara (Russia)

M.I. Antipenko, candidate of agricultural sciences, senior researcher

A.A. Kuznetsov, candidate of agricultural sciences, senior researcher

Research Institute of Horticulture and Medicinal Plants «Zhiguliovskye Sady», Samara (Russia)

Abstract. The following paper discusses the problem of ecophysiological indicators evaluation and comparison for trees foliage formed in dynamic environment conditions. In addition to the already used methods of leaf parameters screening we propose to use one more indicator, characterizing foliage functional activity. In these aims, after performing some analytical procedures with leaf mass samples, some calculations must be made allowing to determine the quantity of active components (for instance, photosynthetic pigments, ash, etc.), per unit of leaf surface area.

The prospects of proposing parameter use seem to be fruitful for a variety of purposes, including: – analysis of the seasonal dynamics features of the leaf metabolic activity; – comparison of ecophysiological characteristics of various plants (species and varieties, local and introduced objects); – reactions to stress factors, a comparison of various objects in resistance to stress.

The article bases on the original data relating to the vegetation period of 2013–2015. The leaf mass samples were taken: for wild tree or shrub species – in the Krasnosamarsky forests, for fruit crops – in the gardens of Samara regional research institute «Zhiguliovskye Sady», for exotic tree and shrub species – in the dendrarium of the Botanical Garden of the Samara University. The leaf samples treatment mass procedure was performed according to the algorithm previously developed. In general, all aforementioned objects demonstrated more smooth dynamics of pigments component content per surface area unit than per mass unit. This situation seems to be connected with age-related changes of the leaf blades, saturated during the vegetative period with a certain amount of «ballast» substances or osmotically active compounds during stress periods, and so forth. The screening of photosynthetic surface unit quality allows us to note that the plants maintain a certain level of the metabolic activity of the leaf during variable weather conditions, producing a rapid «adjustment» pool of photosynthetic pigments on the basis of specific and varietal characteristics of their ecological plasticity.

Keywords: woody plants; photosynthetic pigments; leaf parameters screening; Krasnosamarsky forest; Research Institute of Horticulture and Medicinal Plants «Zhiguliovskye Sady»; pear and strawberry varieties; exotic species; Botanical Garden of Samara University; vegetative season; leaf mass per area unit.

УДК 332.1/ 504.03

ЭКОМОДЕРНИЗАЦИЯ БАССЕЙНОВ КРУПНЫХ РЕК КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА И БАССЕЙНА РЕКИ ЯНЦЗЫ)

© 2016

Г.Э. Кудинова, кандидат экономических наук, доцент,

старший научный сотрудник, заведующий группой экономики природопользования

Г.С. Розенберг, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН,

заведующий лабораторией моделирования и управления экосистемами, директор

Н.В. Костина, кандидат биологических наук,

старший научный сотрудник лаборатории моделирования и управления экосистемами

А.Г. Розенберг, кандидат биологических наук,

младший научный сотрудник группы экономики природопользования

Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти (Россия)

Аннотация. В статье обсуждаются основные понятия экологической модернизации. Рассмотрена экологическая модернизация в России, проведено сравнение хода экологической модернизации в России и Китайской