

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРОДУКТИВНОСТИ ВИНОГРАДА

В условиях Северного Причерноморья исследован энергетический баланс и выявлены физиологические критерии продукционного процесса растений винограда в ампелоценозах. На основе приходной и расходной части энергетического баланса установлены коэффициенты эффективности поглощенной и падающей физиологически активной радиации ампелоценозов с различной структурой насаждений и архитектурой растений. Показано, что энерго-балансовый метод в перспективе может быть использован в исследованиях продукционного процесса растений винограда и разработке современных агротехнологий.

Ключевые слова: виноград, ампелоценоз, энергетический баланс, продукционный процесс, продуктивность, структура насаждений, архитектура растений.

Введение. Продукционный процесс растений в агроценозах обусловлен фотосинтетической деятельностью (ФД) - процессом трансформации поглощенной энергии света в химическую энергию органических соединений. Известно, что в растениях более 90% сухой биомассы накапливается за счет ФД и лишь до 10% за счет минерального питания. Одной из актуальнейших проблем растениеводства, в т.ч. и виноградарства, является решение задачи выявления возможностей получения максимально возможной продуктивности и урожайности возделываемых культур. Увеличение эффективности агроценозов является наиболее насущной проблемой при решении первейших задач продовольственной безопасности и экономической эффективности культуры.

В исследованиях с культурами сплошного сева в качестве физиологических критериев продукционного процесса растений нашел широкое применение метод энергетического баланса (ЭБ), который позволяет экспериментально изучать приход солнечной радиации, ее поглощение листьями и посевами в отдельных участках спектра, а также истинный фотосинтез, транспирацию, теплообмен и другие физиологические процессы. На основе энергобалансовой модели и реализации сценария энергетического баланса посевов можно оценить потенциальную и фактическую влагообусловленную урожайность, потенциальную и фактическую транспирацию, потенциальную и фактическую эффективность использования физиологически активной радиации (ФАР) на создание конечной биомассы [1].

В отличие от агроценозов сплошного сева, виноград в культуре выращивают в основном на шпалере, что позволяет широко задавать параметры структуры насаждений, представляющей характер распределения растений на земельном участке, и архитектуры кустов – размера, расположения в пространстве ассимиляционной поверхности. В ампелоценозах структуру насаждений и архитектуру кустов следует рассматривать как основополагающие факторы продуктивности и агротехнологии, позволяющие управлять продукционным процессом растений, а также задавать уровень поглощения ФАР и ее использования на биосинтез продукции [2-5]. Однако метод ЭБ, который основан на приходе и расходе ФАР на отдельные физиологические процессы на винограде изучен недостаточно.

Цель исследований – изучение продукционного процесса растений винограда и определение физиологических критериев продуктивности различных ампелоценозов на основании данных энергобалансового метода.

Объекты и методы. Исследования проведены в 2013-14 гг. на технических сортах

винограда Рубин таировский, Сухолиманский белый и Одесский черный. Исследуемые ампелоценозы различаются между собой схемами посадок (структурой насаждений) и системами формирования кустов (архитектурой растений). Схема опыта построена на принципе оптимальности и целесообразности. Контролем служил крайний вариант. Опытные участки заложены в ННЦ «ИВиВ им. В.Е. Таирова» на черноземе южном, тяжелосуглинистом на лессах. Виноградник неорошаемый, содержание почвы под черным паром. Шпалерные ряды размещены с севера на юг.

Радиационный режим опытного участка оценивали по усредненным данным (за 22-летний период, с 1983 по 2005 гг.) Atmospheric Science Data Center NASA [6]. В частности, определяли месячную суммарную солнечную инсоляцию (Q), приходящуюся на горизонтальную поверхность. По данным прямой (Q_s) и рассеянной радиации (Q_a) рассчитывали приход фотосинтетически активной радиации (Q_f) исходя из общепринятых эмпирических коэффициентов: $Q_f = 0,43 \cdot Q_s + 0,57 \cdot Q_a$ (рис. 1).

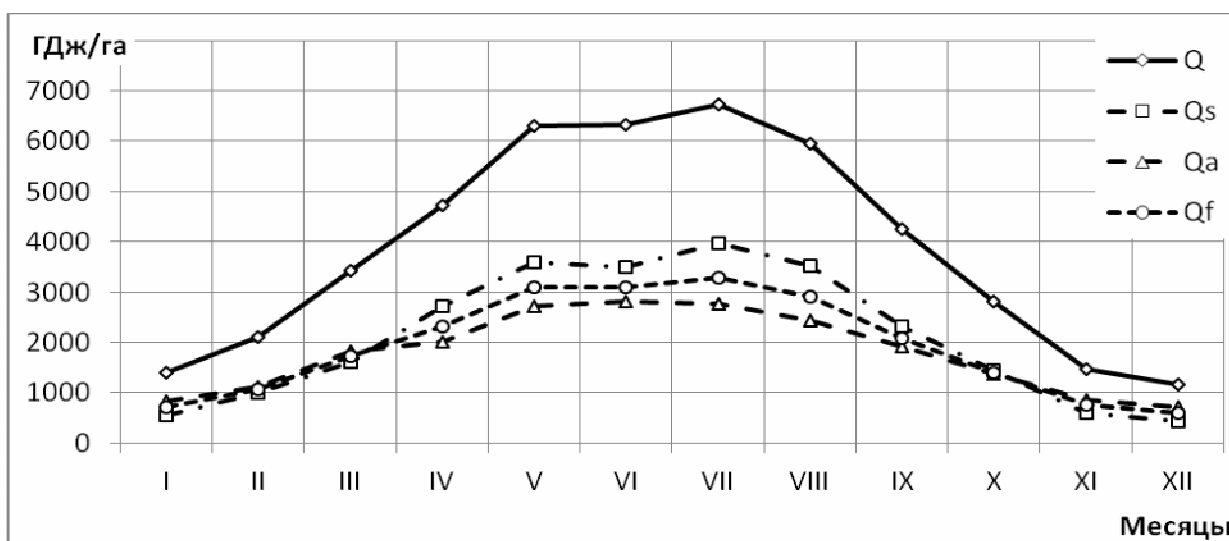


Рис. 1. Радиационный режим опытного участка (широта 46°, долгота 30°), в ГДж на 1 га горизонтальной поверхности (по данным [6])

Q - суммарная солнечная инсоляция; Q_s - прямая солнечная радиация;
 Q_a - рассеянная радиация; Q_f - физиологически активная радиация (ФАР)

ЭБ агроценоза за единицу биологического времени для области ФАР определяли в соответствии со следующим уравнением:

$$[Q_{Af} = Q_f \cdot A_f] = Q_M + Q_T + Q_t + Q_{ir}.$$

Приходная часть ЭБ ампелоценоза: Q_{Af} - поглощенная ФАР ампелоценозом; Q_f - фотосинтетически активная радиация; A_f - коэффициент поглощения ФАР ампелоценозом, рассчитанный на основании измерения фитометрических параметров габитуса кроны кустов, а также средним относительным потокам радиации в период вегетации на верхнюю (0,9), восточную и западную стороны кроны кустов (0,38-0,48) [7].

Расходная часть ЭБ агроценоза: Q_M - энергия ФАР, запасаемая в биомассе; $Q_M = M \cdot q$, где M - абсолютно сухая биомасса; q - энергоёмкость 1 г сухой биомассы, равная 16,8 кДж [7]; Q_T - энергия, расходуемая на транспирацию (Q_T), рассчитываемая по разнице $Q_T = Q_{Af} - Q_M - Q_t - Q_{ir}$; Q_t - энергия нагрева листьев, равная энергии Q_T в период дефицита влаги в корнеобитаемом слое почвы и закрытии устьиц листа; Q_{ir} - энергия ФАР, используемая на регуляторно-информационные процессы, равная 1-2 % от Q_{Af} [8].

Погодные условия в годы проведения исследований, по данным метеорологического поста ННЦ «ИВиВ им. В.Е. Таирова», характеризовались повышенным температурным режимом (среднегодовая температура составила 12,0 °С, что выше среднемноголетних

значений на 1,5 °С) и неоднородным количеством осадков (в 2013 году сумма осадков за вегетационный период составила 253,8 мм, в 2014 году – 181,5 мм; при норме 224,5 мм). Гидротермический коэффициент (ГТК) в 2013 году за вегетационный период составил 0,7; в 2014 году – 0,5.

Результаты и их обсуждение. Агроценозы, состоящие из культур сплошного сева или культур, покрывающих листовую поверхностью всю площадь питания, обеспечивают поглощение Q_f около 80% при условии оптимального соотношения площади ассимиляционной поверхности к площади питания, в интервале от 4 до 5 м²/м² [9]. Большинство многолетних насаждений, в том числе виноград, в культуре выращивают в рядовых посадках, что создает неполное покрытие площади питания листовой поверхностью. В результате часть ФАР падает на поверхность почвы, которая в шпалерно-рядовых насаждениях винограда с шириной междурядий 3,0 м достигает 40-60% [10]. В связи с чем, A_f за периоды ФД ампелоценозов гораздо ниже по сравнению с агроценозами сплошного сева, варьируют в пределах 0,5-0,6 [11].

Следует отметить, что определение A_f многолетних насаждений возможно только с помощью показателей относительных потоков радиации падающей Q_f на горизонтальную и боковые стороны модельных крон растений (рядов), а также динамики фитометрических параметров габитуса крон в период активной ФД. Проведенные наблюдения и фитометрические измерения роста и развития кустов винограда в период вегетации позволили выявить, что на начальных стадиях морфогенеза процесс роста молодых побегов и листьев винограда идет медленно и осуществляется за счет потребления резервных веществ, накапливаемых в многолетних частях кустов и корнях. В период после распускания почек до третьей декады мая молодые листья достигают половины своих конечных размеров. С этого момента листья проявляют донорные свойства, а акропетальный ток ассимилятов сменяется базипетальным током [9].

В начале третьей декады мая на шпалерно-рядовых насаждениях винограда с вертикальным ведением побегов после проведения первой, так называемой «зеленой» подвязки, кроны кустов в ряду смыкаются и образуют приближенный прямоугольный параллелепипед, высотой 80-100 см, шириной 30-40 см. На формировках со свободным ведением зеленых побегов вместо первой подвязки проводится заводка между сдвоенными проволоками, создаются кроны высотой 60-80 см, шириной 40-50 см.

С третьей декады мая и до второй декады июня (начало роста ягод) темпы роста побегов и листьев приближаются к максимальным значениям, среднесуточный прирост побегов достигает 10 см [9]. В этот период после проведения второй «зеленой» подвязки размеры крон кустов на среднештамбовых формировках достигают высоты 100-120 см, ширины 40-50 см; на высокоштамбовых формировках – 80-100 и 60-80 см соответственно.

В период роста ягод вследствие изменения донорно-акцепторных связей, темпы роста побегов резко снижаются. В этот период основная часть ассимилятов используется для роста и развития генеративных органов (ягод, семян) [9]. В конце июня – начале июля, при вертикальном ведении побегов, высота кроны составляет 120-140 см, ширина 50-60 см; при свободном ведении – 80-100 и 60-100 см.

В течение июля процессы роста побегов завершаются и в начале августа прекращаются в связи с подготовкой растений к зимовке. Параметры крон кустов винограда существенно не изменяются и поддерживаются на прежнем уровне.

В условиях опыта за весь период активной ФД ампелоценозов (Рубин таировский и Сухолиманский белый в среднем 130 дней, у сорта Одесский черный – 140 дней), с исследуемыми параметрами структуры насаждений и архитектуры кустов, поглощенная Q_f достигает 6,2-7,2 тыс. ГДж/га, или 49-59% от падающей на горизонтальную поверхность Q_f .

Энергия, запасаемая в биомассе (Q_m) – наиболее информативный показатель эффективности агроценоза. Определение всей массы годичной фотосинтетической продукции многолетних растений связано с большими методическими и техническими трудностями. Поэтому в исследованиях с виноградом за величину биологической

продукции принимают массу однолетних побегов (с листьями) и гроздей [7]. Установлено, что значения Q_m ампелоценозов в зависимости от структуры насаждений и архитектуры кустов варьируют в большом интервале от 97 до 179 ГДж/га. Достоверные изменения Q_m проявляются в ампелоценозах различных по силе роста сортов и площади питания кустов. При загущении насаждений до 2666 кустов/га, по сравнению с 2222 куста/га показатель Q_m возрастает на 28% (Сухолиманский белый) и 45% (Одесский черный). При сравнении фактора ведения побегов на фоне одинаковой площади питания кустов (Рубин таировский), значения Q_m изменяются только на 4% (рис. 2).

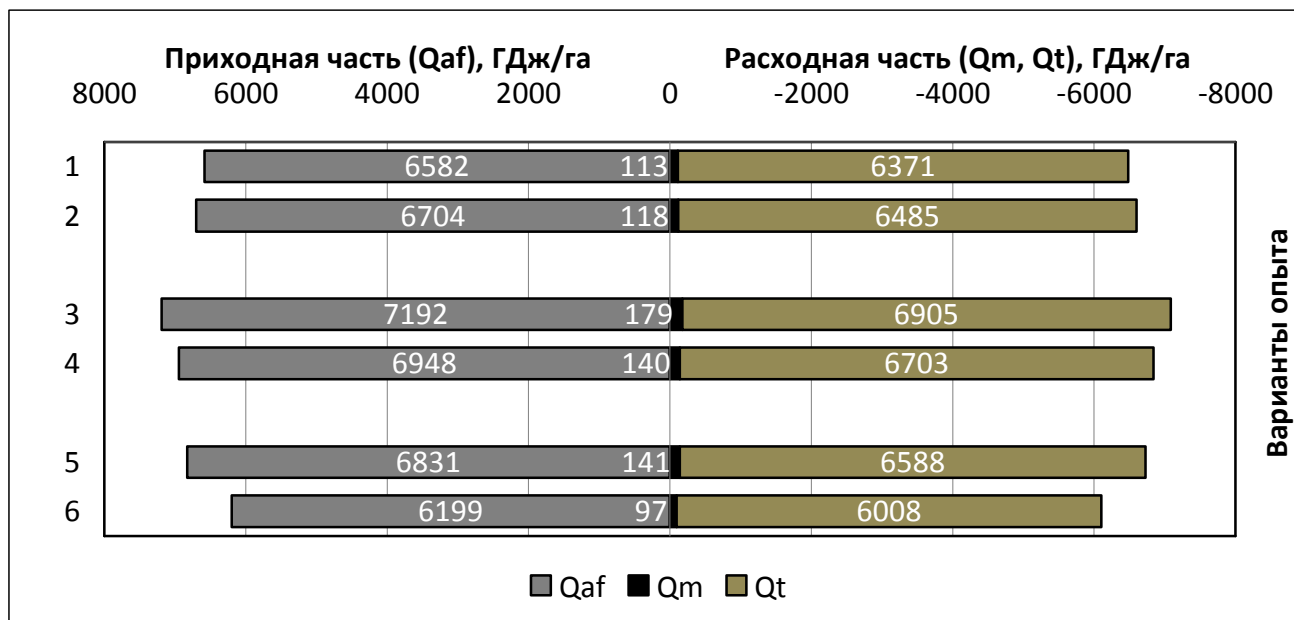


Рис. 2. Энергетический баланс ампелоценозов с различной структурой насаждений и архитектурой кустов, в среднем за 2013-2014 гг.

Более 90% Q_{af} используется на транспирацию (Т), которая обеспечивает верхний ток влаги в растениях и постоянную температуру ассимиляционного аппарата. При дефиците подаваемой из корней влаги, часть поглощенной энергии, не используемой на фотосинтез и фототранспирацию, расходуется на нагрев тканей листьев на свету и градиент температуры между листом и воздухом может быть больше нуля. Если же нет дефицита влаги в зоне корней, то температура листьев за счет Т может быть на несколько градусов ниже температуры воздуха. Расчетные данные показывают, что для растений винограда в солнечный день на транспирацию расходуется от 84 до 97%, а на теплообмен с воздухом – 3-16% от Q_{af} [12]. Учитывая, что большая часть Q_{af} расходуется на Т и сравнительно небольшая – на конвективный теплообмен с воздухом, то для практических целей транспирационный расход виноградника возможно приравнять к Q_{af} в качестве водного эквивалента, который рассчитывается исходя из затрат энергии на скрытую теплоту испарения воды, равной около 2420 Дж на 1 г воды, независимо от механизма превращения жидкой воды на внешней стороне клеток в парообразную.

Варианты опыта (сорт / площадь питания / формировка / ведение побегов):

- 1 – Рубин таировский / 3 x 1,5 м / горизонтальный кордон / вертикальное;
- 2 – Рубин таировский / 3 x 1,5 м / горизонтальный кордон / свободное;
- 3 – Сухолиманский белый / 3 x 1,25 м / горизонтальный кордон / вертикальное;
- 4 – Сухолиманский белый / 3 x 1,5 м / спиральный кордон / свободное;
- 5 – Одесский черный / 3 x 1,25 м / Гюйо двухсторонний / вертикальное;
- 6 – Одесский черный / 3 x 1,5 м / Веер на штамбе / вертикальное.

В общепринятом понимании эффективность агроценозов зависит от количества

поглощенной растениями энергии ФАР и использования ее в процессе фотосинтеза на образование биомассы. При этом энергетическая эффективность агроценоза, как фотосинтезирующей системы, оценивается по значению КПД поглощенной ФАР на образование биомассы в процессе фотосинтеза (η_{Af}). На рис. 3 показано, что значения η_{Af} слабо варьируют в зависимости от ведения побегов (Рубин таировский), но изменяются в широком интервале (от 1,55 до 2,86%) в зависимости от силы роста сорта и площади питания кустов. Относительно высокими уровнями η_{Af} в пределах 2013-14 гг. характеризуются насаждения с площадью питания кустов 3 x 1,25 м. У сорта Сухолиманский белый значения η_{Af} в этих насаждениях изменяются в интервале 2,77-2,86%; у сорта Одесский черный от 2,20 до 2,36 %.

Если η_{Af} характеризует энергетическую эффективность агроценоза как светопоглощающей и фотосинтезирующей системы, то η_f характеризует эффективность использования солнечной радиации единицей земельной площади. Сопоставление данных η_f по вариантам опыта указывает на аналогичную закономерность с показателем η_{Af} . По степени использования падающей ФАР на P^1 насаждения с вертикальным ведением побегов близки к насаждениям со свободным ведением побегов, на фоне одинаковой площади питания кустов (Рубин таировский) значения η_f составляют 0,63-0,67%. Независимо от формировки кустов с увеличением количества кустов на единицу площади до 2666 кустов на 1 га, по сравнению с 2222 кустов на 1 га, значения η_f возрастают до 0,99-1,02% (Сухолиманский белый) и 0,76-0,82% (Одесский черный). По-видимому, для условий, ограничивающих потенциал растений (недостаток влаги, низкое плодородие и др.) увеличение ФД может идти за счет уплотнения кустов в ряду до оптимальных значений.

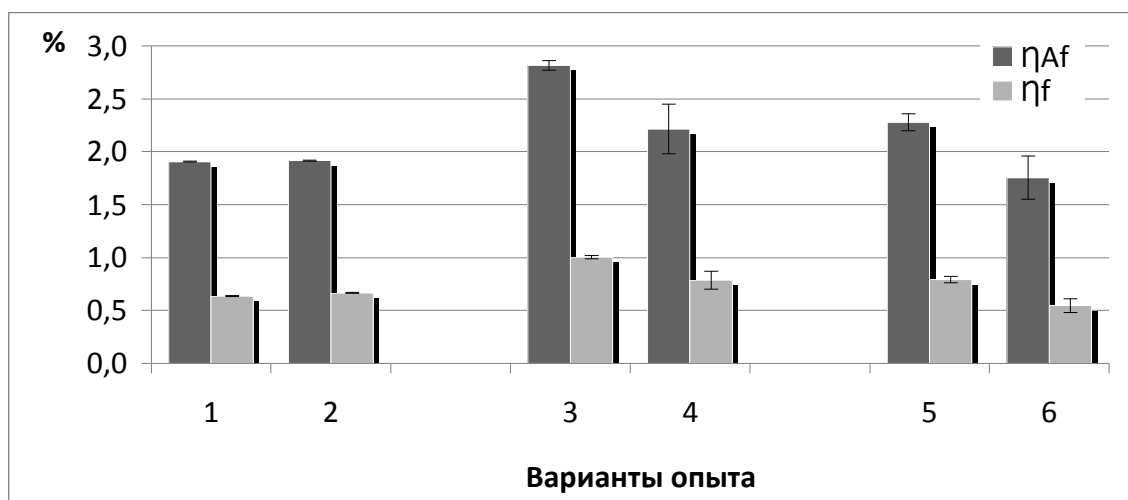


Рис. 3. Коэффициенты использования поглощенной ФАР (η_{Af}) и падающей ФАР (η_f) за продукционный период ампелоценозов с различной структурой насаждений и архитектурой кустов, в среднем за 2013-14 гг.

Варианты опыта (сорт / площадь питания / формировка / ведение побегов):

- 1 – Рубин таировский / 3 x 1,5 м / горизонтальный кордон / вертикальное;
- 2 - Рубин таировский / 3 x 1,5 м / горизонтальный кордон / свободное;
- 3 - Сухолиманский белый / 3 x 1,25 м / горизонтальный кордон / вертикальное;
- 4 - Сухолиманский белый / 3 x 1,5 м / спиральный кордон / свободное;
- 5 - Одесский черный / 3 x 1,25 м / Гюйо двухсторонний / вертикальное;
- 6 - Одесский черный / 3 x 1,5 м / Веер на штамбе / вертикальное.

В целом фактические значения η_f ампелоценозов, изучаемых в опыте (0,48-1,02%), можно охарактеризовать как относительно низкие для агроценозов. Причин низких значений η_f много, среди которых выделяются в первую очередь низкие нормы годовых осадков [12], характерных для умеренно-континентального климата. Однако данное

предположение требует дальнейшего изучения, т.к. во-первых, норма осадков в доступном выражении сильно зависит от рельефа участка; во-вторых, корневая система винограда проникает глубоко (до 2-3 м и более) и может использовать продуктивную влагу подземных горизонтов.

Заключение. Результаты исследования продукционного процесса растений винограда и определение физиологических критериев продуктивности различных ампелоценозов на основании данных энергобалансового метода дают основание сделать следующие выводы:

1. Метод энергетического баланса, учитывающий приход и использование растениями фотосинтетически активной радиации, позволяет при сравнительно небольших затратах труда выявить физиологические критерии продуктивности винограда и установить эффективность продукционного процесса ампелоценозов.

2. Ампелоценозы с исследуемой структурой насаждений и архитектурой кустов отличаются низким уровнем биологической продуктивности, что требует дальнейшего изучения и разработки биоадаптивных схем посадок и формировок кустов, которые в условиях недостаточного естественного влагообеспечения должны отвечать оптимальным соответствием между водным и радиационным балансом растений.

3. В перспективе метод энергетического баланса может быть использован при оценке общей и хозяйственно-ценной максимально возможной продуктивности, минимально необходимого количества влаги в почве для получения такой продукции, а также установлении реальной урожайности винограда, обусловленной, в частности, фактическими запасами почвенной влаги, при прочих оптимальных условиях роста.

Использованные источники

1. Шульгин И. Энергетический баланс и физиологические критерии продуктивности посевов сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата / И. Шульгин // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем: труды Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН. – Москва, 2013. – Т. 25. – С. 224-250.
2. Schultz HR. The eco-physiology of grapevine canopy systems – learning from models / HR Schultz, P. Pieri, S. Poni, E. Lebon // Recent Advances in Grapevine Canopy Management. Dedicated to Emeritus Professor W. Mark Kliewer / University of California. – Davis, 2009. P. 7-12.
3. Дерендовская А. Параметры фотосинтетической деятельности листьев интродуцированных столовых сортов винограда при прививке на различные подвои / А. Дерендовская, О. Китаев, А. Штирбу // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования : мат. IX междунар. симп. – Москва : РУДН, 2011. – Т. I. – С. 53-55. - ISBN 978-5-209-04045-3.
4. Штирбу А. Архитектура виноградных насаждений как основа регулирования продуктивности / А. Штирбу // Виноградарство і виноробство: міжв. наук. тем. зб. – Одеса: ННЦ «ІВіВ ім. В.Є. Таїрова», 2014. – Вип. 51. – С. 257-260.
5. Штирбу А. Особенности функциональной активности листьев у растений винограда (*Vitis vinifera* L.) в зависимости от условий освещения / А. Штирбу // Садівництво: міжв. тем. наук. зб. / Інститут садівництва НААН України [редкол.: М.О. Бублик (відп. ред) та ін.]. – К., 2012. – Вип. 66. – С. 242-254. – ISSN 0558-1125.
6. Atmospheric Science Data Center [Электронный ресурс]: Processing, archiving and distributing Earth science data at the NASA Langley Research Center. – Режим доступа: <https://eosweb.larc.nasa.gov/>
7. Амирджанов А. Методические указания по учету и контролю важнейших показателей фотосинтетической деятельности винограда в насаждениях для ее оптимизации : метод. указ. / А. Амирджанов, И. Шульгин, Д. Сулейманов. – Баку, 1982. – 59 с.
8. Алехина Н. Физиология растений: учебник для студ. вузов / Н. Алехина,

- Ю. Балконин, В. Гавриленко / [под ред. : И. Ермакова] – Москва : Изд. Центр «Академия», 2005. – 640 с. – ISBN 5-7695-1669-0.
9. Дерендовская А. Физиологические особенности привитых растений винограда: монография / А. Дерендовская, А. Штирбу. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 140 с. – ISBN : 978-3-659-36882-0.
10. Власов В. Теоретическое обоснование оптимизации светового режима в шпалерно-рядовых насаждениях винограда / В. Власов, Е. Власова, А. Штирбу // Horticultură, viticultură și vinificație, silvicultură și grădini publice, protecția plantelor: lucrări științifice / Universitatea agrară de stat din Moldova. [red.-șef: Gh. Cîmpoiș]. – Chișinău : Centrul editorial UASM, 2013. – Vol. 36. – P. I. – С. 229-233. – ISBN 978-9975-64-125-8.
11. Власов В. Енергетичний баланс ампелоценозів при різній структурі насаджень та архітектурі рослин / В. Власов, А. Штирбу // Вісник аграрної науки. – 2015.
12. Амирджанов А. Г. Солнечная радиация и продуктивность виноградника / А. Г. Амирджанов. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1980. – 208 с.

A. V. Shtirbu

Енергетичний баланс і фізіологічні критерії продуктивності винограду

В умовах Північного Причорномор'я досліджено енергетичний баланс та виявлено фізіологічні критерії продукційного процесу рослин винограду в ампелоценозах. На основі прибуткової і видаткової частини енергетичного балансу встановлені коефіцієнти ефективності поглинутої та падаючої фізіологічно активної радіації ампелоценозів з різною структурою насаджень та архітектурою рослин. Показано, що енерго-балансовий метод в перспективі може бути використаний в дослідженнях продукційного процесу рослин винограду і розробці сучасних агротехнологій.

Ключові слова: виноград, ампелоценоз, енергетичний баланс, продукційний процес, продуктивність, структура насаджень, архітектура рослин.

A. Shtirbu

Energy balance and physiological criteria of grape plant productivity

The energy balance was studied in the conditions of the Black Sea Northern coast. Physiological criteria of vineyards effectiveness were identified. On the basis of receipt and expenditure energy balance the efficiency coefficients of absorbed and total physiologically active radiation of ampeloceneses with different plantation structure and plant architecture were established. The obtained results confirm the perspective of energy-balance method using in the research of the plants production process and the development of modern agrotechnologies.

Keywords: grape, ampelocenose, energy balance, productivity process, productivity, plantation structure, plants architecture.