



Фото: Werner Sticium; NREL

Агровольтаика как сфера стратегических интересов в части продовольственной безопасности: потенциал южных регионов России

Рецензия эксперта на статью получена 11.02.2026 [The expert review of the article was received on February 11, 2026]

Обеспечение продовольственной безопасности остаётся одной из приоритетных задач государственной политики РФ, что закреплено в соответствующей «Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации» (утверждена Указом Президента №20 [1]). Санкционное давление, рост стоимости энергоресурсов, изменение климата, природные катаклизмы, дефицит водных ресурсов, деградация почвенного покрова вследствие эрозии и засоления усугубляют условия производства сельскохозяйственной продукции.

Южные регионы России (Краснодарский край, Ростовская область, Ставрополье, Крым, Астраханская и Волгоградская области) традиционно играют ключевую роль в производстве стратегически важных видов сельскохозяйственной продукции, таких как зерно, подсолнечник, овощи, фрукты и виноград [2]. Сегодня агропромышленный комплекс — это высокотехнологичная, быстро развивающаяся отрасль, требующая множество новых источников энергии и дополнительных мощностей, что не всегда доступно на сельских территориях, характеризующихся протяжённостью линий электропередач, малой плотностью нагрузки, изношенностью фонда основных средств энергообъектов, ограничениями на мощность подключаемых потребителей [3].

Одним из ресурсоэффективных решений для повышения уровня энергообеспеченности сельского хозяйства, позволяющих одновременно повышать устойчивость агроэкосистем и диверсифицировать источники энергии, становится агровольтаика, предлагающая совместное производство сельскохозяйственной продукции и электрической энергии на одной территории [4].

В отличие от традиционных наземных фотоэлектрических станций, которые требуют выделения земель, являющихся предметом труда в сельском хозяйстве, системы агровольтаики проектируются с учётом потребностей фитоценозов, создавая частичное затенение, которое в условиях юга России может не только не снижать, но и повышать урожайность ряда культур за счёт снижения температурного и водного стресса [5]. В жаркую погоду тень от фотоэлектрических модулей может защитить посевы не только от теплового стресса, снижая риск повреждения и потери урожая, но и от града, ураганного ветра и ливней, уменьшая вероятность физических повреждений.

Однако эффект затенения может также и негативно повлиять на процессы фотосинтеза и роста в результате снижения доступности света для некоторых культур.

УДК 620.92. Научная специальность: 2.4.5.

Агровольтаика как сфера стратегических интересов в части продовольственной безопасности: потенциал южных регионов России

Юлия Владимировна Даус, д.т.н., доцент, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (КубГАУ, г. Краснодар); **Евгений Евгеньевич Рудь**, аспирант, КубГАУ; **Игорь Викторович Юдаев**, д.т.н., профессор, КубГАУ; **Владимир Анатольевич Панченко**, к.т.н., доцент, Российский университет транспорта (МИИТ, г. Москва), Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (НИУ МГТУ, г. Москва)

В статье проанализированы природно-климатические и агроэкономические предпосылки для развития агровольтаики на юге России, дана оценка перспектив её применения для ключевых возделываемых в регионе культур. Даны рекомендации по техническим аспектам построения систем агровольтаики: параметры, направленные на минимизацию негативного воздействия на фитоценозы и максимизацию синергетического эффекта.

Ключевые слова: агровольтаика, продовольственная безопасность, фотоэлектрические модули, устойчивое сельское хозяйство.

UDC 620.92. Scientific specialty number: 2.4.5.

Agrovoltaics as a sphere of strategic interests in terms of food security: The potential of the southern regions of Russia

Yulia V. Daus, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (KubSAU, Krasnodar); **Evgeny E. Rud**, postgraduate student, KubSAU; **Igor V. Yudaev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, KubSAU; **Vladimir A. Panchenko**, PhD (Engineering), Associate Professor, Russian University of Transport (MIIT, Moscow), Bauman Moscow State Technical University (National Research University) (BMSTU, Moscow)

The article analyzes the climatic and agroecological prerequisites for the development of agrovoltaics in the South of Russia, and assesses the prospects for its application to key crops cultivated in the region. Recommendations are given on the technical aspects of building agrovoltaics systems: parameters aimed at minimizing the negative impact on phytocenoses and maximizing the synergistic effect.

Key words: agrivoltaics, food security, photovoltaic modules, sustainable agriculture.

Для максимизации преимуществ агровольтаических систем в отношении устойчивости культур важно выбирать виды и сорта сельскохозяйственных растений, способных успешно развиваться в условиях частичного затенения [6].

Таким образом, актуальным является исследование потенциала применения систем агровольтаики для юга России.

Целью данного исследования является комплексная оценка потенциала агровольтаики как инструмента укрепления продовольственной безопасности России с фокусом на южные регионы, включая анализ применимости технологии для ключевых сельскохозяйственных культур и разработку рекомендаций по проектированию таких систем с учётом местных агроклиматических условий.

Методологическую основу исследования составил системный подход, интегрирующий методы сравнительного анализа и обобщения научных данных. Для оценки воздействия систем агровольтаики на сельскохозяйственные культуры проводился мета-анализ рецензированных научных публикаций в международных базах данных с последующей экстраполяцией полученных зависимостей на условия юга России.

Природно-климатические условия юга России создают уникальные предпосылки для развития агровольтаики: высокий уровень инсоляции — 1300–1500 кВт·ч/(м²·год) — обеспечивает рентабельность фотоэлектрической генерации, а распространённость засушливых периодов и высоких летних температур делает положительные эффекты частичного затенения особенно значимыми для многих культур. Проведённый анализ позволил выделить несколько ключевых сельскохозяйственных культур, для которых внедрение систем агровольтаики представляется наиболее перспективным: виноград, яблоки, груши, томаты, огурцы, подсолнечник, кукуруза, рис, пшеница, ягодные культуры.

Виноград, являющийся одной из важнейших многолетних культур юга, демонстрирует высокую чувствительность к интенсивной солнечной радиации и тепловому стрессу. Исследования показывают, что частичное затенение на уровне 15–25 % может не только защитить ягоды от солнечных ожогов, но и положительно повлиять на энологические характеристики урожая — способствовать сохранению кислотности и формированию более сложного ароматического букета вина [7]. Для виноградников оптимальной считается высота установки нижней кромки фотоэлектрических модулей не менее 3,5–4 м, что обеспечивает



Фото: Jiri Bim, Petr Neugebauer, Czech Technical University

беспрепятственное проведение всех агротехнических мероприятий, включая обработку почвы и уборку урожая с помощью специализированной техники [8]. Угол наклона модулей должен быть подобран таким образом, чтобы в полуденные часы, когда солнечная активность максимальна, тень от панелей частично покрывала зону гроздей. Для этого могут применяться как статические системы с углом наклона 20–30°, так и системы с сезонной регулировкой угла [9]. Но следует отметить, что в работе [10] наблюдалось замедленное созревание, были зафиксированы изменения в развитии листьев и снижении долгосрочного роста.

Природно-климатические условия юга Российской Федерации создают уникальные предпосылки для развития агровольтаики: высокий уровень инсоляции обеспечивает рентабельность фотоэлектрической генерации, а распространённость засушливых периодов и высоких летних температур делает положительные эффекты частичного затенения особенно значимыми для многих культур

Летние сорта яблонь могут в условиях жаркого климата страдать от ожогов плодов и листьев, и здесь, казалось бы, агровольтаика может обеспечить рассеянное освещение. Но опыты по затенению деревьев данной сельскохозяйственной культуры показали, что наибольший негативный эффект наблюдался при постоянном затенении. В то же время растения, затеняемые в утренние часы, пострадали

сильнее, чем затеняемые вечером: их урожайность снизилась практически в два раза по сравнению с показателями постоянно освещённых солнцем деревьев. Кратковременное интенсивное затенение цветущих ветвей обеспечило их прорезывание [11]. Затенение на 50 % привело к падению урожайности на 27–30 %, но не повлияло на качество плодов у затенённых деревьев, а снизило завязываемость плодов и привело к снижению урожайности с дерева. Яблоня представляется лишь частично пригодной для интеграции в агровольтаические системы, но может показывать потенциал в рамках корректно определённых граничных условий [12]. Высота конструкции должна быть не менее 4–4,5 м для свободного перемещения ветвей и работы плодуборочных машин. Расстояние между рядами модулей должно соотноситься со схемой посадки деревьев.

Оценка переменного влияния уровня затенения (от 0 до 30 %) на выращивание и урожайность груш показала, что у затенённых деревьев отмечается более продолжительный период цветения и снижается ущерб от весенних заморозков, что приводит к лучшему завязыванию плодов и уменьшению их осыпания. Во время сбора урожая показатель урожайности плодов был на 4,5 % ниже, а содержание сахара сократилось на 11,8 %. Однако сбор урожая можно было отложить на 14 дней, что позволяет распределить выручку. Затенение на 80 % после цветения привело к уменьшению плодов в диаметре. При использовании прозрачных фотоэлектрических модулей с затенением на 40 % были зафиксированы потери урожайности на 16 %. То есть при правильном выборе сроков сбора урожая груши могут быть подходящей культурой для культивации в системе агровольтаики [13].

Томаты открытого грунта, широко возделываемые в Краснодарском крае и Астраханской области, демонстрируют парадоксальную реакцию на затенение. Несмотря на то, что томат является светолюбивой культурой, в условиях южной жары частичное затенение на уровне 30–40 % способствует снижению эвапотранспирации на 25–30 %, что позволяет существенно экономить водные ресурсы на орошении [14]. При этом продуктивность растений не падает, а в некоторые годы даже возрастает за счёт улучшения завязываемости плодов и снижения количества плодов с солнечными ожогами. Наблюдалось, что растения томата избегают затенения посредством гипонастии (приподнимания листьев) и быстрого роста листьев и стеблей. Аналогично, количество и вес томатов увеличивались при затенении 25 % [15]. Для томатов высота системы может быть снижена до 2,5–3 м, что упрощает конструкцию и снижает её стоимость. Эффективными могут быть вертикальные агровольтаические системы, где модули устанавливаются перпендикулярно земле в направлении с востока на запад, создавая движущуюся тень в течение дня [4].

Что касается такой важной овощной культуры, как огурцы, изучался их рост при уровне затенения 40, 65 и 85 %: в рассматриваемых климатических условиях максимальная урожайность была достигнута при уровне затенения 35 % [16]. Однако в работе [17] огурцы, выращиваемые при затенении 35 и 50 %, демонстрировали снижение интенсивности фотосинтеза. Данные об урожайности не представлены. Увеличение урожайности огурца в условиях агровольтаики ожидается только в жарком климате.

Подсолнечник и кукуруза, являющиеся основными полевыми культурами региона, требуют более осторожного подхода. Будучи гелиофитами, они могут негативно реагировать на значительное затенение. Однако предварительные данные указывают на возможность применения систем с низкой плотностью покрытия (до 15–20 %) и использованием бифациальных модулей, которые минимизируют потери урожайности. В засушливые годы этот незначительный спад может быть полностью компенсирован доходом от генерации электроэнергии, делая использование земли в целом более рентабельным [4].

Для риса влияние частичного затенения на рост культуры и компоненты урожая зависит от времени воздействия данного стрессового фактора [18]. Снижение радиации на вегетативной стадии в основном уменьшает количество метёлок и количество колосков в метёлке на репро-

дуктивной стадии, тогда как затенение на стадии после антезиса снижает наполненность зерна и его массу. Также хорошо известно, что существует компенсаторный эффект между компонентами урожая, который часто приводит к незначительным различиям в урожайности зерна при различных методах управления. Размер метёлки часто увеличивается, когда посевы риса производят небольшое количество метёлок, что не приводит к чистому изменению размера стока. Однако, когда размер стока уменьшается, более высокая наполненность зерна и большая масса зерна могут компенсировать это снижение.

Высота установки модулей над поверхностью земли должна учитывать стоимость конструкции, ветровую нагрузку на неё и агротехнические требования. Для большинства пропашных культур и трав минимальная высота составляет 2–2,5 м, для садов и виноградников — 3,5–4,5 м. Угол наклона модулей, как правило, соответствует оптимальному для данной широты углу для максимизации сбора солнечной радиации (для Краснодарского края это 30–35°)

При динамическом затенении общая сухая масса пшеницы была линейно связана с уровнем освещённости [19]. Затенение в начале сезона уменьшало количество зёрен, но увеличивало массу отдельного зерна. Затенение в середине вегетационного периода в основном приводило к снижению роста колоса, тогда

как затенение в период налива зерна вызывало уменьшение массы зерна. Постоянное затенение (61 %) и периодическое затенение (43 %) приводили к снижению урожайности пшеницы на 45 и 25 %, соответственно, [20]. Снижение урожайности в основном объяснялось меньшим весом зерна. В работе [20] анализировали выращивание классических и теневыносливых сортов при уровне затенения 8, 15 и 23 %. У затенённых культур были выше площадь листьев, длина междоузлий и содержание пигментов. Для теневыносливого сорта урожайность была выше при затенении 77 и 85 %.

Ягодные кустарники, такие как смородина, малина и голубика, являются, пожалуй, одними из самых перспективных объектов для агровольтаики. Эти культуры предпочитают рассеянный свет и плохо переносят прямую инсоляцию и перегрев. Частичное затенение позволяет продлить период их продуктивности в летнюю жару, улучшить качество ягоды и снизить потребность в поливе. Высота конструкции для ягодников может варьироваться от 2 до 3 м в зависимости от способа обработки междурядий [21].

Что касается технических аспектов конструирования систем, то анализ выявил ряд критически важных параметров [22]. Выбор высоты установки модулей над поверхностью Земли должен учитывать стоимость конструкции, ветровую нагрузку на неё и агротехнические требования. Для большинства пропашных культур и трав минимальная высота составляет 2–2,5 м, для садов и виноградников — 3,5–4,5 м. Угол наклона модулей, как правило, соответствует оптимальному для данной широты углу для максимизации сбора солнечной радиации (для Краснодарского края это 30–35°).



Фото: Jiri Blm, Petr Neugebauer, Czech Technical University

Но для сельскохозяйственных культур, характеризующихся требуемым уровнем освещённости, угол наклона модулей может быть уменьшен, либо могут применяться вертикальные установки. Расстояние между рядами модулей (шаг) рассчитывается исходя из условия отсутствия взаимного затенения в день зимнего солнцестояния и обычно в два-три раза превышает высоту конструкции.

Особое внимание следует уделить выбору типа фотоэлектрических модулей [23]. Наряду с традиционными моно- и поликристаллическими модулями, высокий потенциал демонстрируют бифациальные модули, генерирующие энергию с обеих сторон и пропускающие рассеянный свет, а также частично прозрачные (полупрозрачные) модули на основе аморфного кремния или органических фотоэлементов, которые могут быть интегрированы в конструкции теплиц, например, [24]. Системы слежения за солнцем (трекеры), хотя и повышают выработку энергии на 15–25 %, в условиях агровольтаики имеют ограниченное применение из-за создания динамической, а не стабильной тени, что может дезориентировать растения.

Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о наличии значительного потенциала технологии агровольтаики на юге России. Системы, спроектированные с учётом агротехнических требований по выращиванию сельскохозяй-



Фото: Jiří Blim, Petr Neugebauer, Czech Technical University

ственных культур и местных климатических условий, способны не только генерировать в необходимом количестве электрическую энергию для питания технологических процессов сельхозпроизводителей (орошение, переработка, хранение), но и повышать устойчивость агроценозов к абиотическим стрессам, экономить водные ресурсы и способствовать стабильности производства продовольствия.

Заключение

Технология совместного производства электрической энергии и сельскохозяйственной продукции является инновационным и устойчивым способом, нацеленным на максимизацию использования земельных ресурсов, повышение энергоэффективности и увеличение сельскохо-

зяйственного производства. Агровольтаика, возникшая из необходимости удовлетворения растущего спроса на возобновляемые источники энергии при сохранении производства продовольствия, представляет собой важный шаг на пути к устойчивому развитию агропромышленного комплекса страны и обеспечению её продовольственной безопасности.

Несмотря на свой потенциал, область агровольтаики всё ещё находится на начальном этапе изучения. Одним из основных направлений исследований является оптимизация установки и компоновки фотоэлектрических модулей для максимизации производства энергии и урожайности. Поскольку различным культурам требуется разное количество света, важно найти правильный баланс между тенью и солнечным светом. Кроме того, долгосрочное влияние агровольтаических систем на биоразнообразие и здоровье почв требует более глубокого изучения.

Аграрный потенциал южных регионов Российской Федерации чувствителен как к климатическим изменениям, так и к ресурсным ограничениям. Поэтому технология совместного выращивания сельскохозяйственной продукции и выработки электрической энергии открывает путь к созданию более устойчивой и климатоадаптивной модели сельского хозяйства, особенно в условиях 3D-концепции её развития. ●

- Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации: Указ Президента РФ от 21.01.2020 №20.
- Angmo Ph., Phuntsog N., Namgail D., Chaurasia O.P., Stobdan T. Effect of shading and high temperature amplitude in greenhouse on growth, photosynthesis, yield and phenolic contents of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2021. Vol. 27. Issue 7. Pp. 1539–1546.
- Asaã S., Reher T., Rongé J., Diels J., Poortmans J., Radhakrishnan H.S., van der Heide A., van der Poel B., Daenen M. A multidisciplinary view on agrivoltaics: Future of energy and agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024. Vol. 200. No. 114515.
- Amaducci S., Yin X., Colauzzi M. Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied Energy*. 2018. Vol. 220. Pp. 545–561.
- Andrew A.C., Higgins C.W., Smallman M.A., Graham M., Ates S. Herbage yield, lamb growth and foraging behavior in agrivoltaic production system. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021. Vol. 5. No. 659175.
- Gallagher E.J., Mudge K.W., Pritts M.P., DeGloria S.D. Growth and development of 'Illini Hardy' blackberry (*Rubus subgenus Eubatus Focke*) under shaded systems. *Agroforestry Systems*. 2015. Vol. 89. Issue 1. Pp. 1–17.
- Dinesh H., Pearce J.M. The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 54. Pp. 299–308.
- Даус Ю.В., Коршунова О.Н., Проскуряков М.С. Анализ подходов к определению оптимального угла наклона фотоэлектрических модулей энергоустановок на базе возобновляемых источников энергии // *Известия СПбГАУ*, 2023. №3. С. 73–80.
- Даус Ю.В., Юдаев И.В. Об оценке валового потенциала солнечной энергии на сельских территориях // *АгроЭкоИнженерия*, 2021. №2. С. 4–13.
- Даус Ю.В., Десятниченко Д.А. Современное состояние вопроса эффективности функционирования электросетевого хозяйства в сельских районах // *Приоритеты развития агропромышленного комплекса в условиях цифровизации и структурных изменений национальной экономики: Мат. Межд. науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава, посвящённой 190-летию со дня рождения И.А. Стебута (24–26.05.2023, Санкт-Петербург — Пушкин)*. — СПб.: СПбГАУ, 2023. С. 207–211.
- Исаева О.В., Криничная Е.П. Современное состояние и прогнозная модель развития аграрной структуры Южного федерального округа // *Учёт и статистика*, 2024. Т. 21. №3. С. 26–36.
- Juillion P., Lopez G., Fumey D., Lesniak V., Génard M., Vercambre G. Shading apple trees with an agrivoltaic system: Impact on water relations, leaf morphophysiological characteristics and yield determinants. *Scientia Horticulturae*. 2022. Vol. 306. No. 111434.
- Katsikogiannis O.A., Ziar H., Isabella O. Integration of bifacial photovoltaics in agrivoltaic systems: A synergistic design approach. *Applied Energy*. 2022. Vol. 309. No. 118475.
- Kitta E., Katsoulas N. Effect of shading on photosynthesis of greenhouse hydroponic cucumber crops. *Italian Journal of Agrometeorology*. 2020. No. 1. Pp. 41–48.
- Biró-Varga K., Sirmik I., Stremke S. Landscape user experiences of interspace and overhead agrivoltaics: A comparative analysis of two novel types of solar landscapes in the Netherlands. *Energy Research & Social Science*. 2024. Vol. 109. No. 103408.
- Jamil Uz., Rahman Md M., Hayibo K.S., Alrayes L., Fordjour E., Thomas R., Pearce Jo.M. Transparency effects in agrivoltaics lettuce cultivation using uniform/non-uniform semitransparent photovoltaic modules in controlled environments. *Solar Energy*. 2025. Vol. 302.
- Marrou H., Guilioni L., Dufour L., Dupraz C., Wery J. Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural and Forest Meteorology*. 2013. Vol. 177. Pp. 117–132.
- Miller S.S., Hott C., Tworowski T. Shade effects on growth, flowering and fruit of apple. *Journal of Applied Horticulture*. 2015. Vol. 17. Issue 2. Pp. 101–105.
- Artru S., Garré S., Dupraz Ch., Hiel M.-P., Blitz-Frayret C., Lassois L. Impact of spatiotemporal shade dynamics on wheat growth and yield, perspectives for temperate agroforestry. *European Journal of Agronomy*. 2017. Vol. 82. Part A. Pp. 60–70.
- Mu H., Jiang D., Wollenweber B., Dai T., Jing Q., Cao W. Long-term low radiation decreases leaf photosynthesis, photochemical efficiency and grain yield in winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2010. Vol. 196. Issue 1. Pp. 38–47.
- Gnayem N., Magadley Es., Haj-Yahya Al., Masalha S., Kabha R., Abasi Al., Barhom H., Matar M., Attrash M., Yehia Ib. Examining the effect of different photovoltaic modules on cucumber crops in a greenhouse agrivoltaic system: A case study. *Biosystems Engineering*. 2024. Vol. 241. Pp. 83–94.
- Moretti S., Marucci A. A photovoltaic greenhouse with variable shading for the optimization of agricultural and energy production. *Energies*. 2019. Vol. 12. Issue 13.
- Pascaris A.S., Schelly C., Burnham M., Pearce J.B. Life cycle assessment of agrivoltaic systems: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. Vol. 165. No. 112602.
- Wagner M., Lask J., Kiesel A., Lewandowski I., Weselek A., Högy P., Trommsdorff M., Schnaiker M.-A., Bauerle A. Agrivoltaics: The environmental impacts of combining food crop cultivation and solar energy generation. *Agronomy*. 2023. Vol. 13. Issue 2. No. 299.

References — see page 79.

Agrovoltaics as a sphere of strategic interests in terms of food security: The potential of the southern regions of Russia. Pp. 68–71.

Yulia V. Daus, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin (KubSAU, Krasnodar); **Evgeny E. Rud**, postgraduate student, KubSAU; **Igor V. Yudaev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, KubSAU; **Vladimir A. Panchenko**, PhD (Engineering), Associate Professor, Russian University of Transport (MIIT, Moscow), Bauman Moscow State Technical University (National Research University) (BMSTU, Moscow)

1. *Ob utverzhdenii Doktriny prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federatsii* [On Approval of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation]. *Ukaz Prezidenta RF ot 21.01.2020 №20* [Decree of the President of the Russian Federation No. 20 of January 21, 2020]. [In Russian]
2. P. Angmo, N. Phuntsog, D. Namgail, O.P. Chaurasia, T. Stobdan. Effect of shading and high temperature amplitude in greenhouse on growth, photosynthesis, yield and phenolic contents of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2021. Vol. 27. Issue 7. Pp. 1539–1546.
3. S. Asa'a, T. Reher, J. Rongé, J. Diels, J. Poortmans, H.S. Radhakrishnan, A. van der Heide, B. van der Poel, M. Daenen. A multidisciplinary view on agrivoltaics: Future of energy and agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024. Vol. 200. No. 114515.
4. S. Amaducci, X. Yin, M. Colauzzi. Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied Energy*. 2018. Vol. 220. Pp. 545–561.
5. A.C. Andrew, C.W. Higgins, M.A. Smallman, M. Graham, S. Ates. Herbage yield, lamb growth and foraging behavior in agrivoltaic production system. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021. Vol. 5. No. 659175.
6. E.J. Gallagher, K.W. Mudge, M.P. Pritts, S.D. DeGloria. Growth and development of 'Illini Hardy' blackberry (*Rubus* subgenus *Eubatus* Focke) under shaded systems. *Agroforestry Systems*. 2015. Vol. 89. Issue 1. Pp. 1–17.
7. H. Dinesh, J.M. Pearce. The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 54. Pp. 299–308.
8. Yu.V. Daus, O.N. Korshunova, M.S. Proskuryakov. *Analiz podkhodov k opredeleniyu optimal'nogo ugla naklona fotoelektricheskikh modulej energoustanovok na baze vozobnovlyaemykh istochnikov energii* [Analysis of approaches to determining the optimal tilt angle of photovoltaic modules for power plants based on renewable energy sources]. *Izvestiya SPbGAU* [Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University]. 2023. No. 3. Pp. 73–80. [In Russian]
9. Yu.V. Daus, I.V. Yudaev. *Ob otsenke valovogo potentsiala solnechnoj energii na sel'skikh territoriyakh* [On assessing the gross potential of solar energy in Rural Areas of Russia]. *AgroEkoInzheneriya* ["AgroEcoEngineering" Magazine]. 2021. No. 2. Pp. 4–13. [In Russian]
10. Yu.V. Daus, D.A. Desyatnichenko. *Sovremennoe sostoyanie voprosa effektivnosti funktsionirovaniya elektrosетеvogo khozyajstva v sel'skikh rayonakh* [The current state of the efficiency of the electric grid in Rural Areas of Russia]. *Prioritety razvitiya APK v usloviyakh tsifrovizatsii i strukturnykh izmeneniy natsional'noj ekonomiki: Mat. Mezhd. nauch.-prakt. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava, posvyashchennoj 190-letiyu so dnya rozhdeniya I.A. Stebuta* [Priorities for the development of the agro-industrial complex in the context of digitalization and structural changes in the national economy: Proc. of the International Scientific and Practical Conference of the Faculty Dedicated to the 190th Anniversary of the birth of I.A. Stebut]. May 24–26, 2023. St. Petersburg — Pushkin. St. Petersburg. *SPbGAU* [St. Petersburg State Agrarian University]. 2023. Pp. 207–211. [In Russian]
11. O.V. Isaeva, E.P. Krinichnaya. *Sovremennoe sostoyanie i prognoznaya model' razvitiya agrarnoj struktury Yuzhnogo federal'nogo okruga* [The current state and forecast model for the development of the agrarian structure of the Southern Federal District]. *Uchet i statistika* ["Accounting and Statistics" Magazine]. 2024. Vol. 21. No. 3. Pp. 26–36. [In Russian]
12. P. Juillion, G. Lopez, D. Fumey, V. Lesniak, M. Génard, G. Vercambre. Shading apple trees with an agrivoltaic system: Impact on water relations, leaf morphophysiological characteristics and yield determinants. *Scientia Horticulturae*. 2022. Vol. 306. No. 111434.
13. O.A. Katsikogiannis, H. Ziar, O. Isabella. Integration of bifacial photovoltaics in agrivoltaic systems: A synergistic design approach. *Applied Energy*. 2022. Vol. 309. No. 118475.
14. E. Kitta, N. Katsoulas. Effect of shading on photosynthesis of greenhouse hydroponic cucumber crops. *Italian Journal of Agrometeorology*. 2020. No. 1. Pp. 41–48.
15. K. Biró-Varga, I. Simik, S. Stremke. Landscape user experiences of interspace and overhead agrivoltaics: A comparative analysis of two novel types of solar landscapes in the Netherlands. *Energy Research & Social Science*. 2024. Vol. 109. No. 103408.
16. Uz. Jamil, Md M. Rahman, K.S. Hayibo, L. Alrayes, E. Fordjour, R. Thomas, Jo.M. Pearce. Transparency effects in agrivoltaics lettuce cultivation using uniform/non-uniform semi-transparent photovoltaic modules in controlled environments. *Solar Energy*. 2025. Vol. 302. No. 114006.
17. H. Marrou, L. Guilioni, L. Dufour, C. Dupraz, J. Wery. Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural and Forest Meteorology*. 2013. Vol. 177. Pp. 117–132.
18. S.S. Miller, C. Hott, T. Tworowski. Shade effects on growth, flowering and fruit of apple. *Journal of Applied Horticulture*. 2015. Vol. 17. Issue 2. Pp. 101–105.
19. S. Artru, S. Garré, Ch. Dupraz, M.-P. Hiel, C. Blitz-Frayret, L. Lassois. Impact of spatiotemporal shade dynamics on wheat growth and yield, perspectives for temperate agroforestry. *European Journal of Agronomy*. 2017. Vol. 82. Part A. Pp. 60–70.
20. H. Mu, D. Jiang, B. Wollenweber, T. Dai, Q. Jing, W. Cao. Long-term low radiation decreases leaf photosynthesis, photochemical efficiency and grain yield in winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2010. Vol. 196. Issue 1. Pp. 38–47.
21. N. Gnayem, Es. Magadley, Al. Haj-Yahya, S. Masalha, R. Kabha, Al. Abasi, H. Barhom, M. Matar, M. Attrash, Ib. Yehia. Examining the effect of different photovoltaic modules on cucumber crops in a greenhouse agrivoltaic system: A case study. *Biosystems Engineering*. 2024. Vol. 241. Pp. 83–94.
22. S. Moretti, A. Marucci. A photovoltaic greenhouse with variable shading for the optimization of agricultural and energy production. *Energies*. 2019. Vol. 12. Issue 13. No. 2589.
23. A.S. Pascaris, C. Schelly, M. Burnham, J.B. Pearce. Life cycle assessment of agrivoltaic systems: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. Vol. 165. No. 112602.
24. M. Wagner, J. Lask, A. Kiesel, I. Lewandowski, A. Weselek, P. Högy, M. Trommsdorff, M.-A. Schnaiker, A. Bauerle. Agrivoltaics: The environmental impacts of combining food crop cultivation and solar energy generation. *Agronomy*. 2023. Vol. 13. Issue 2. No. 299.