

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ

Захарова Ольга Алексеевна¹, Евсенкин Константин Николаевич²,
Машкова Елена Ивановна³, Карпенко Нина Петровна⁴

^{1,3} Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

^{2,4} Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

¹ol-zahar-ru@yandex.ru

Аннотация. Автоматизация в научных исследованиях все активнее входит в отрасли сельского хозяйства и если раньше цифровизация, роботизация имели место лишь в земледелии, то сегодня автоматизированные модели применяются в агрономии, агрохимии, мелиорации и др.

Проблема и цель. При изучении влияния мелиоранта при регулировании влажности почвы на растения использовалась автоматизированная модель АМПРА, созданная д.т.н., профессором ВНИИГиМ Ю.П. Добрачевым. Цель исследований – применение автоматизации в научных исследованиях при определении фотосинтетического потенциала растений ячменя.

Методология. Имитационная автоматизированная модель агрофитоценоза АМПРА (Авторегуляторная Модель Почва-Растение-Атмосфера) позволила рассмотреть состояние среды (абиотические факторы) и описать рост и развитие растений ячменя в зависимости от радиационного, теплового и водного режима. В структуру модели включены теоретические и эмпирические уравнения. Обоснование выводов и рекомендации производству основаны на результатах исследований.

Результаты. Рассчитаны водопотребление (Е) и биоклиматические коэффициенты (Кб) растений ячменя. На варианте 9 лизиметрического опыта при регулировании УГВ на отметке 0,9 м значения Е и Кб были максимальными при внесении мелиоранта из расчета 15 т/га. Результаты подсчетов, выданные моделью автоматически в динамике в течение всего вегетационного периода, показали превышение числа листьев в среднем на 1...3 шт., а площадь листьев была максимальной на варианте 9. Фотосинтетический потенциал на этом варианте составил 2,79 млн.м²/га•дней.

Заключение. Таким образом, при регулировании пищевого режима посредством внесения мелиоранта и УГВ подъемом и опусканием затворов шлюза-регулятора на отметке не ниже 0,9 позволили улучшить условия произрастания ячменя, что отразилось в увеличении фотосинтетического потенциала посевов. В режиме реального времени получены сведения о реализованной продукции, что представлено на схеме бизнес-процесса возделывания данной культуры.

Ключевые слова: растение, ячмень, фотосинтез, мелиорант, регулирование водного режима, автоматизация

Original article

AUTOMATION OF SCIENTIFIC RESEARCH IN DETERMINING THE PHOTOSYNTHETIC POTENTIAL OF BARLEY PLANTS

Zakharova Olga Alekseevna¹, Evsenkin Konstantin Nikolaevich², Mashkova Elena Ivanovna³, Karpenko Nina Petrovna⁴

^{1,3}*Federal State Budgetary Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev", Ryazan, Russia*

^{2,4}*Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation Named after A.N. Kostyakov", Moscow, Russia*

¹*ol-zahar-ru@yandex.ru*

Abstract.

Automation in scientific research is increasingly entering the agricultural sector, and if earlier digitalization and robotization took place only in agriculture, today automated models are used in agronomy, agrochemistry, land reclamation, etc.

Problem and purpose. *When studying the effect of ameliorant in regulating soil moisture on plants, the automated AMSPA model was used, created by Doctor of Technical Sciences, Professor of VNIIGiM Yu.P. Dobrachev. The purpose of the research was the use of automation in scientific research when determining the photosynthetic potential of barley plants.*

Methodology. *The automated simulation model of agrophytocenosis AMSPA (Autoregulatory Model of Soil-Plant-Atmosphere), which was used in an experiment to study the effect of ameliorant on soil and plants, made it possible to consider the state of the environment (abiotic factors) and describe the growth and development of barley plants depending on radiation, thermal and water regime. The model structure included theoretical and empirical equations. The substantiation of conclusions and recommendations for production were based precisely on the research results.*

Results. *Water consumption (E) and bioclimatic coefficients (Kb) of barley plants were calculated. In option 9 of the lysimetric experiment, when regulating the*

groundwater level at 0.9 m, the values of E and K_b were maximum when ameliorant was applied at the rate of 15 t/ha. The calculation results generated by the model automatically in dynamics throughout the entire growing season showed an excess of the number of leaves by an average of 1-3 pieces, and the leaf area was maximum in option 9. The photosynthetic potential in this option was 2.79 million $m^2/ha \cdot days$.

Conclusion. Thus, when regulating the nutritional regime by introducing ameliorant and groundwater by raising and lowering the gate-regulator gates at a level not lower than 0.9, it was possible to improve the growing conditions of barley, which was reflected in an increase in the photosynthetic potential of crops. Information on sold products was received in real time, which was presented in the diagram of the business process of cultivating this crop.

Keywords: plant, barley, photosynthesis, ameliorant, water regime regulation, automation

Введение

Оценить конкретное мероприятие возможно при проведении научно-исследовательской работы и получении фактических данных о динамике процессов, происходящих в почве, растениях, поверхностных или грунтовых водах. Проведение лабораторных исследований требует затраты трудовых, энергетических и материальных ресурсов, кроме того, они занимают определенное время. Быстро и достоверно можно получить информацию при использовании автоматизированных моделей. Автоматизация в сельскохозяйственном производстве позволяет, в первую очередь, снизить трудоемкость и энергоемкость процессов. Проведенный обзор научной литературы показал, что наибольшее внедрение цифровых технологий зафиксировано в земледелии — это позволяет управлять ростом и развитием растений с учетом их биологических требований. Исходя из этого, цель исследований - автоматизация научных исследований при определении фотосинтетического потенциала растений ячменя является актуальной. Без трудоемких расчетов фотосинтетического потенциала с помощью автоматизированной модели, учитывающей радиационный, тепловой и водный режимы вегетационного периода, отслежена информация в режиме реального времени в динамике с позиции системного подхода.

Материалы и методы исследований

Во ВНИИГиМе д.т.н., профессором Ю.П. Добрачевым разработана имитационная автоматизированная модель агрофитоценоза АМПРА (Авторегуляторная Модель Почва-Растение-Атмосфера, рисунок 1), которую использовали в эксперименте по изучению влияния мелиоранта на почву и растения [4].

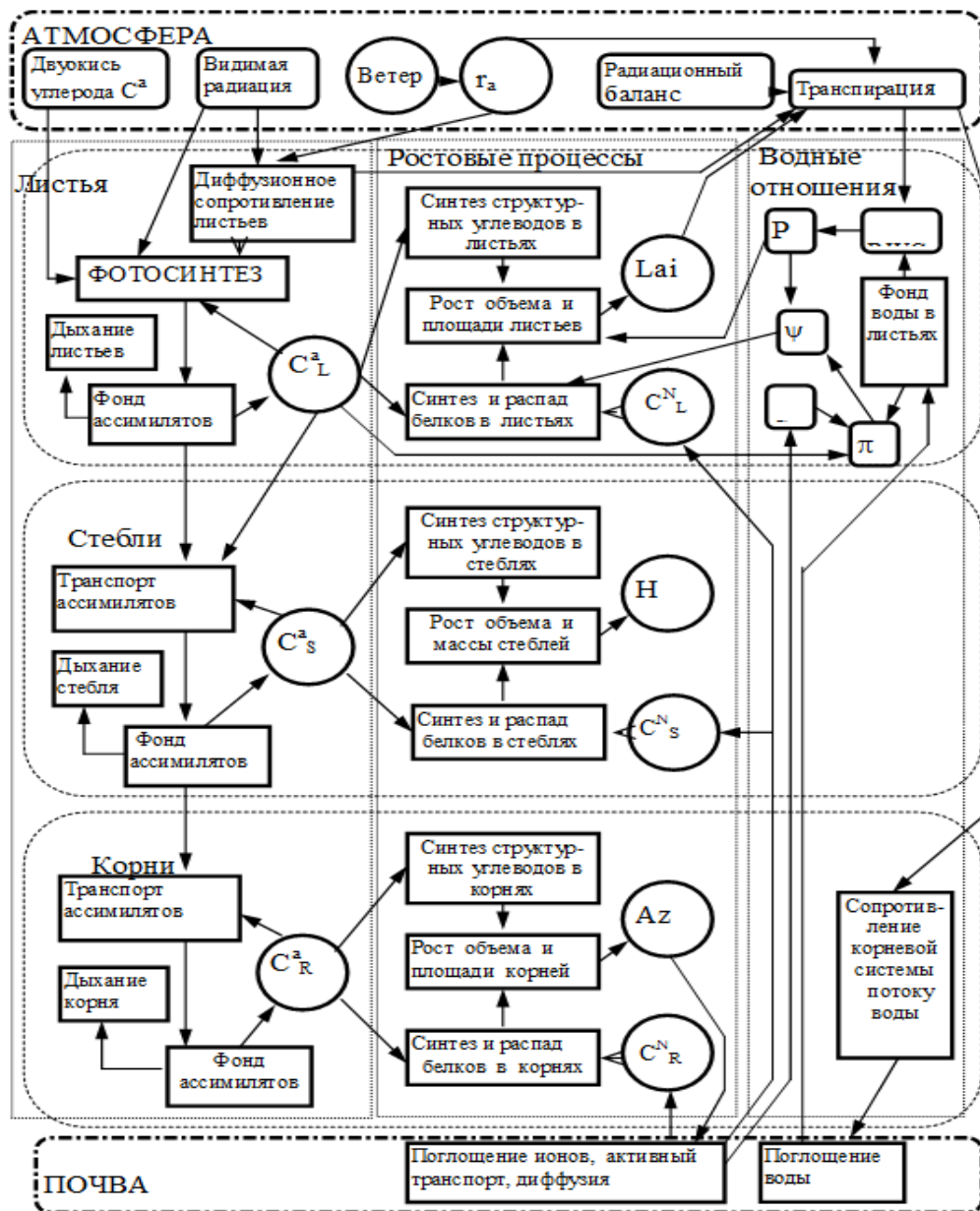


Рисунок 1 – Блок схема авторегуляторной модели роста растений АМПРА (Ю.П.Добрачев):

C – водная концентрация; а – ассимиляты, N –азот, K – калий;

L, S, R –листья, стебли, корни; P – тур-горное давление; RWC – относительное водное содержание; ψ - водный потенциал листьев; Lai – листовой индекс; H –высота растений;

Az – площадь корней

Figure 1 – Block diagram of the autoregulatory model of plant growth AMSPA (Yu.P. Dobrachev)

Модель состоит из двух блоков: блока, описывающего состояние среды, и блока, описывающего рост и развитие растений в зависимости от радиационного, теплового и водного режима. В структуру модели включены теоретические и эмпирические уравнения, выданные моделью на основе многолетних опытов.

Обработка результатов исследований с использованием компьютерной программы STATISTIK 10.

Опыт поставлен на лизиметрической станции п. Полково со следующей схемой в трехкратной повторности:

Имитация уровня грунтовых вод 0,5 м

- 1 Контроль – без удобрений
- 2 $N_{30}P_{45}K_{60}$ - фон
- 3 фон + мелиорант дозой 10 т/га
- 4 фон + мелиорант дозой 15 т/га
- 5 фон + мелиорант дозой 20 т/га

Имитация уровня грунтовых вод 0,9 м

- 6 Контроль – без удобрений
- 7 $N_{30}P_{45}K_{60}$ - фон
- 8 фон + мелиорант дозой 10 т/га
- 9 фон + мелиорант дозой 15 т/га
- 10 фон + мелиорант дозой 20 т/га

Лизиметры представляют собой металлические емкости, установленные в землю и заполненные почвой (рисунок 2).

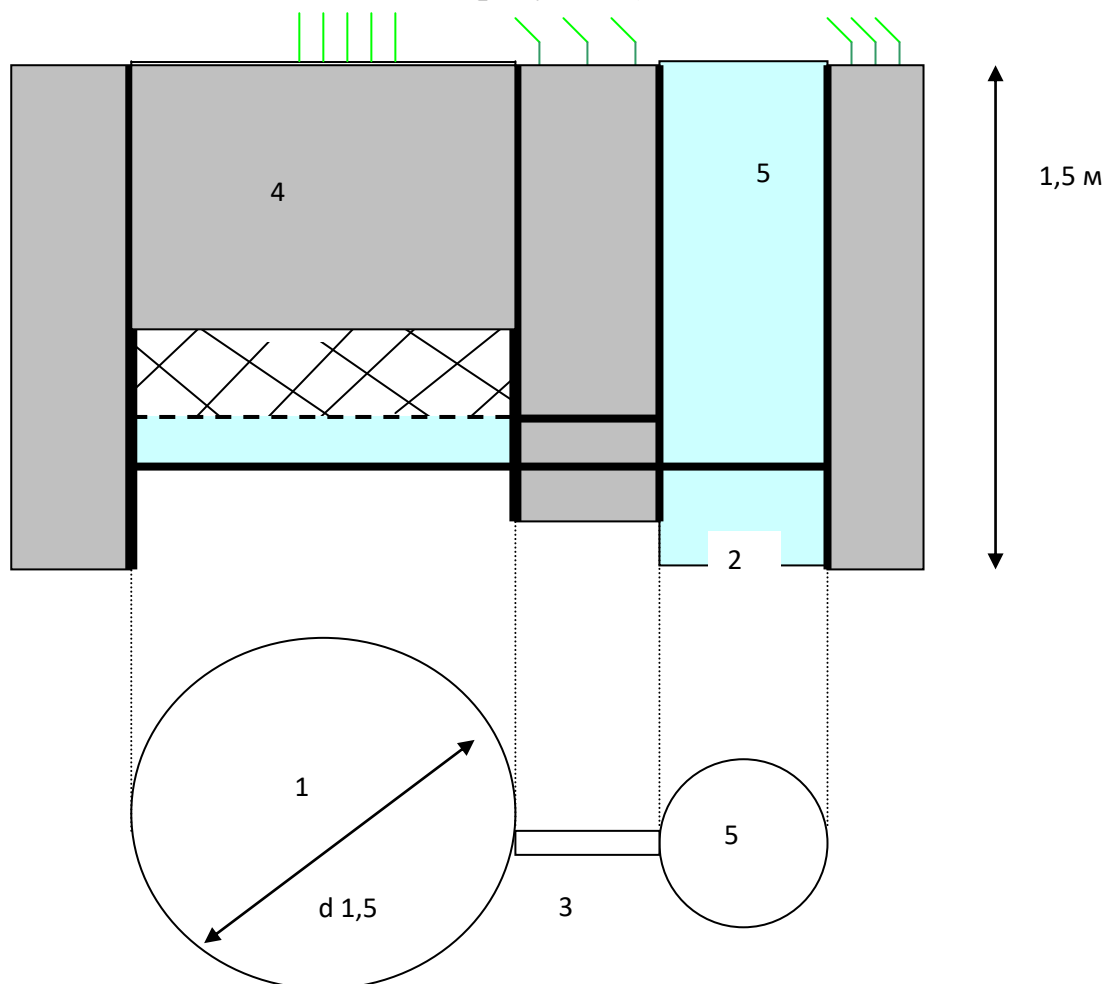


Рисунок 2 - Схема водобалансового лизиметра конструкции ВНИИГиМ

Обозначения: 1- металлическая емкость с почвой, 2- металлическая емкость для накопления лизиметрических вод, 3 – соединительная трубка, 4 – почвенный монолит, 5 - лизиметрические воды, 6 – обратный фильтр и сетка, 7 – растения.

Figure 2 - Diagram of a water balance lysimeter designed by VNIIGiM

Составляющие мелиоранта: навоз козий 60%, осадок сточных вод коммунального хозяйства 30%, измельченная солома и комплекс эффективных микроорганизмов Байкал ЭМ-1 10%. Оптимальная аэробная ферментация на уровне содержания C:N = 22:1. Характеристика всех компонентов и мелиоранта в целом не нарушали санитарной нормы. Мелиорант вносился в почву однократно. Посев произведен из расчета 5 млн.шт. семян/га 10 апреля 2022 года, фаза кущения зарегистрирована 12 мая. Полевая всхожесть 94%. Методика исследований общепринятая.

Погодные условия фиксировались каждый час в течение суток в вегетационный период автоматической метеостанцией, усредненные показания которой приведены на рисунке 3. Влагообеспеченность не играла существенной роли в опыте из-за имитации уровня грунтовых вод (УГВ) на отметках 0,5 и 0,9 м.

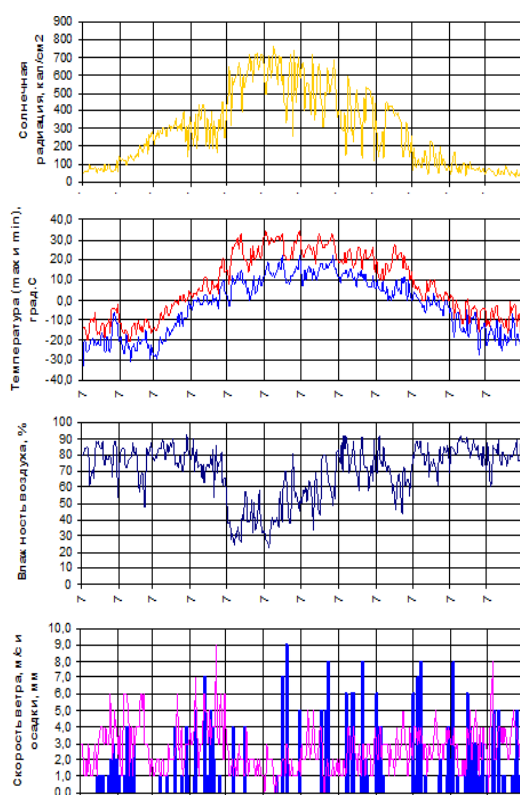


Рисунок 3 – Методанные, зафиксированных автоматической метеорологической станции

Figure 3 – Weather data recorded by an automatic weather station

В статье приводятся усредненные результаты автоматического расчета фотосинтеза растений ячменя сорта Кати за вегетационные периоды, полученные в лизиметрическом опыте, которые с помощью сетевых приложений реального времени доставлялись в головной институт (рисунок 4). В опыте регулировался УГВ, то есть дефицит влаги восполнялся автоматически.



Рисунок 4 – Передача данных в режиме онлайн
 1 – мультимедийный сервер, 2 – приемник информации
 Figure 4 – Online data transfer

Результаты исследований и их обсуждение

Водопотребление (Е) и биоклиматические коэффициенты (Кб) растений ячменя показали следующие значения. На вариантах опыта при регулировании УГВ на отметке 0,5 м значения Е и Кб были значительно ниже. К примеру, значения Е находились в интервале 137,55...155,60 мм/м². На вариантах с регулированием УГВ на отметке 0,9 м Е возросло на 65,00...88,00 мм/м². Анализируя динамику водопотребления растениями на вариантах 1-5 следует отметить интенсивное поглощение воды в начале вегетации и более замедленное к окончанию ее, а также более активное всасывание воды растениями на вариантах 1-4, тогда как на варианте 5 водопотребление растениями снизилось, на наш взгляд, из-за высокого стояния УГВ.

Анализ динамики показателей водопотребления на вариантах 6-10 при регулировании КГВ 0,9 м демонстрирует большие их величины: 148,82...226,00 мм/м². Выделяется не только общий объем потребления воды растениями, но и активный процесс с первой декады наблюдений. Например, на варианте 9 по сравнению с вариантом 4 значения Е в первую декаду были больше на 45%.

Аналогично изменялся Кб, который зависит не только от Е, но и от дефицита влажности атмосферного воздуха. На варианте 9 по сравнению с вариантом 4 значения Кб в первую декаду были больше на 0,06 мм/мб, а за вегетационный период \sum Кб составила 0,41, в то время как на варианте 4 лишь 0,35 мм/мб.

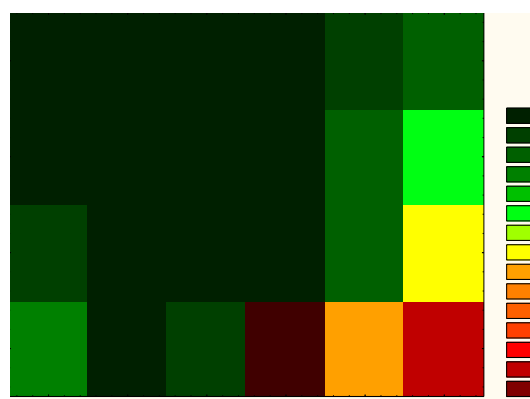
Лист – важный вегетативный орган растения, выполняющий ассимиляционную функцию, от которого зависит продуктивность агрофитоценоза. Формирование листовой поверхности зависит от разных причин, в том числе от их количества на одном растении и размеров.

Результаты подсчетов, выданные моделью автоматически в течение всего вегетационного периода, показали превышение числа листьев в среднем на 1...3 шт., а площадь листьев была максимальной до начала молочной спелости на варианте 9 при имитации УГВ на отметке 0,9 м и по сравнению с вариантом 5 при внесении этой же дозы, но при понижении УГВ на 0,5 м была больше на 4,8%.

Фотосинтетический потенциал - интегральный показатель фотосинтеза растений, связанный с урожаем, который представляет собой сумму ежедневных показателей площади листьев за весь период вегетации, который характеризует возможность использования посевами сельскохозяйственных культур солнечной энергии. Фотосинтетический потенциал посевов ячменя был максимальным на варианте 9 при внесении мелиоранта дозой 15 т/га при имитации УГВ на отметке 0,9 м – 2,79 млн.м²/га·дней. На варианте 5 при внесении этой же дозы, но при понижении УГВ на 0,5 м активность фотосинтеза была меньше на 30%, что, по-видимому, можно объяснить высокой влажностью почвы и созданием некомфортных условий для растений. Проведенный кластерный анализ (рисунок 5) показал прямую зависимость фотосинтетического потенциала от дозы вносимого мелиоранта $r=0,83$ и регулирования водного режима $r=0,82$, то есть эти два фактора практически равнозначны для растений ячменя.

Таким образом, на осушаемых землях Рязанской Мещеры контролировать уровень плодородия возможно при регулировании пищевого режима посредством внесения мелиоранта и УГВ подъемом и опусканием затворов шлюза-регулятора на отметке не ниже 0,9 м. Такие приемы в технологии производства сельскохозяйственной продукции, в частности, ячменя позволили улучшить условия произрастания, что проявлено в увеличении

площади листьев, их количества (+2-3 шт.) и усилении фотосинтетического потенциала (+0,64 млн.м²/га·дней).



фотосинтетический потенциал посевов

Рисунок 5 – Кластерный анализ зависимости фотосинтетического потенциала от пищевого и водного режимов
Figure 5 – Cluster analysis of the dependence of photosynthetic potential on nutrition and water regimes

Автором модели предусмотрено всасывание воды и другие функции, но нет искусственного регулирования водного режима почвы, что для условий региона является важным из-за неустойчивого характера выпадающих осадков. Целесообразно статью ВОДА вынести в отдельный блок (рисунок 6). В последующих исследованиях будет рассчитан поправочный коэффициент и введен в модель.

Учитывая все исходные данные и первичную информацию, улучшение условий для произрастания растений ячменя при регулировании пищевого и водного режима в опыте, использование зерна на корм скоту и реализацию зерна, получим сведения о реализованной продукции, что представлено нами на схеме бизнес-процесса определения фотосинтетического потенциала растений ячменя (рисунок 7, выделено красным).

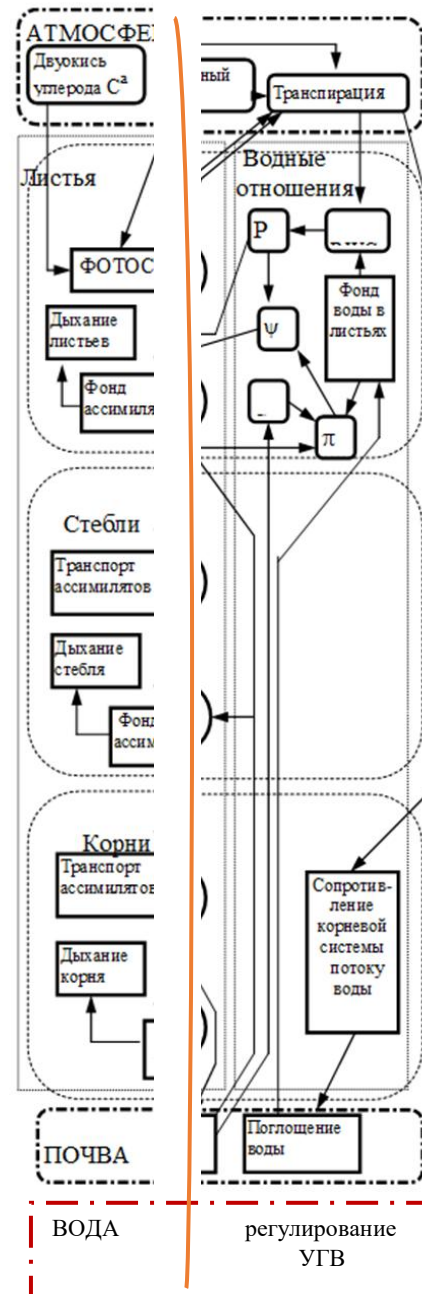


Рисунок 6 – Водные отношения с вегетативными органами и почвой в модели
 Figure 6 – Water relations with vegetative organs and soil in the model

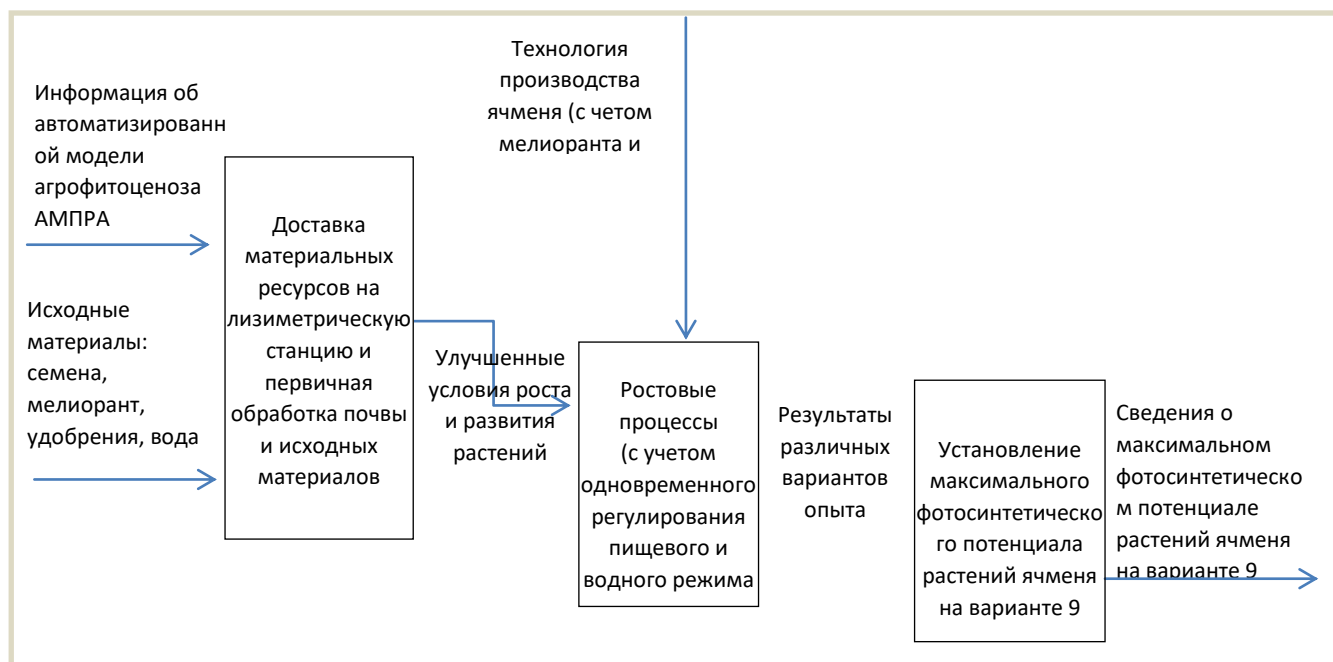


Рисунок 7 – Схема бизнес-процесса определения фотосинтетического потенциала растений ячменя

Figure 7 – The scheme of the business process for determining the photosynthetic potential of barley plants

Заключение

На основе вышеизложенного можно заключить, что использование автоматизированной модели позволило в онлайн режиме получить информацию о процессах, происходящих в почве и растениях в динамике с учетом конкретных условий произрастания в виде учета данных об атмосфере (содержание CO₂, ветер, радиационный баланс и др.), растениях и влиянии на них почвенных и водных условий. Автоматизированная модель АМПРА выдала информацию об изучаемом процессе фотосинтеза во взаимосвязи с другими факторами и процессами. Так, было установлен максимальный фотосинтетический потенциал растений ячменя на варианте 9, на котором при внесении минеральных удобрений был использован мелиорант дозой 15 т/га при регулировании УГВ на отметке 0,9 м.

Библиографический список

1. Бабич, А.В. Исследование процессов передачи данных в реальном режиме времени / А.В. Бабич, В.И. Хаханов, А.Али Мурад // АСУ и приборы автоматики, 2009. - Вып.147. - С. 12-18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-protssesov-peredachi-dannyh-v-realnom-rezhime-vremeni>
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году». — М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2023. — С. 884. URL: <https://ogbu.green.tsu.ru/?p=18982>
3. Дымова О.В. Фотосинтетические пигменты: функционирование, экология, биологическая активность / О.В. Дымова, Т.К. Головки // Известия Уфимского

- научного центра РАН, 2018. – №3-4. – С. 5-16. URL: https://www.researchgate.net/publication/332297667_Fotosinteticheskie_pigmenty_v_rasteniah_prirodnoj_flory_taeznoj_zony_evropejskogo_severo-vostoka_Rossii
4. Зубкова, Т.В. Влияние экологических условий выращивания на фотосинтетический потенциал декоративных растений / Т.В. Зубкова, Т.А. Масина // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал, 2021. – №1. – С. 1-7. DOI: <https://doi.org/10.51419/20211115>.
5. Кузнецов И.И. Роль фотосинтеза в реализации продуктивных возможностей растений гороха и сои / И.И. Кузнецов, В.И. Панарина // Образование, наука и производство, 2016. - 4(17). - с. 63-66. URL: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D27384998
6. Кузьмич, М.А. Агроэкологическое обоснование применения нетрадиционных химических мелиорантов в земледелии России: Автореферат дисс. на соиск. уч. ст. д. с.х.н. спец. ВАК РФ 03.00.16- Экология /М.А. Кузьмич. - М., 2004. – 48 с. URL: https://new-dissert.ru/_avtoreferats/01002627540.pdf
7. Садовая, И.И. Анализ достоверных различий агрохимических показателей при расчете коэффициента Стьюдента / И.И. Садовая, О.А. Захарова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева, 2022. - Т. 14. - № 3. - С. 46-57. DOI: 10.36508/RSATU.2022.26.59.002
8. Семькин, В.А. Фотосинтетический потенциал озимой пшеницы в условиях Черноземья России / В.А.Семькин, И.Я. Пигорев // Фундаментальные исследования, 2007. – № 2 – С. 42-47 URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=2371>
9. Тойгильдин, А.Л. Фотосинтетический потенциал и продуктивность зерновых бобовых культур в условиях лесостепной зона Среднего Поволжья/ А.Л. Тойгильдин, М.И. Подсевалов, Р.А.Мустафина, И.А.Тойгильдина, Д.Э.Аюпов// Международный научно-исследовательский журнал, 2023. - №1(127). – С. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.11>
10. Aras C.M., Kurose J. F., Reeves D.S., Schulzrinne H. Real-Time Communication in Packet-Switched Networks. Proceedings of the IEEE, January 1994. 3. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1889.txt>.

References

1. Babich, A.V. Issledovaniye protsessov peredachi dannykh v real'nom rezhime vremeni / A.V. Babich, V.I. Khakhanov, A.Ali Murad // ASU i pribory avtomatiki, 2009. - Vyp.147. – S. 12-18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-protsessov-peredachi-dannykh-v-realnom-rezhime-vremeni>
2. Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2022 godu». — М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2023. — S. 884. URL: <https://ogbu.green.tsu.ru/?p=18982>
3. Dymova O.V. Fotosinteticheskiye pigmenty: funktsionirovaniye, ekologiya, biologicheskaya aktivnost' / O.V. Dymova, T.K. Golovko // Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN, 2018. – № 3-4. – S. 5-16. URL: https://www.researchgate.net/publication/332297667_Fotosinteticheskie_pigmenty_v_rasteniah_prirodnoj_flory_taeznoj_zony_evropejskogo_severo-vostoka_Rossii

- https://www.researchgate.net/publication/332297667_Fotosinteticheskie_pigmenty_v_rasteniah_prirodnoj_flory_taeznoj_zony_evropejskogo_severo-vostoka_Rossii
4. Zubkova, T.V. Vliyaniye ekologicheskikh usloviy vyrashchivaniya na fotosinteticheskiy potentsial dekorativnykh rasteniy / T.V. Zubkova, T.A. Masina // *AgroEkoInfo: Elektronnyy nauchno-proizvodstvennyy zhurnal*, 2021. – № 1. – S. 1-7. DOI: <https://doi.org/10.51419/20211115>.
 5. Kuznetsov I.I. Rol' fotosinteza v realizatsii produktivnykh vozmozhnostey rasteniy gorokha i soi / I.I. Kuznetsov, V.I. Panarina // *Obrazovaniye, nauka i proizvodstvo*, 2016. - 4(17). - c. 63-66. URL: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D27384998
 6. Kuz'mich, M.A. Agroekologicheskoye obosnovaniye primeneniya netraditsionnykh khimicheskikh meliorantov v zemledelii Rossii: Avtoreferat diss.na soisk. uch. st. d. s.kh.n. spets. VAK RF 03.00.16- Ekologiya /M.A. Kuz'mich. - M., 2004. – 48 s. URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01002627540.pdf
 7. Sadovaya, I.I. Analiz dostovernnykh razlichiy agrokhimicheskikh pokazateley pri raschete koeffitsiyenta St'yudenta / I.I. Sadovaya, O.A. Zakharova // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*, 2022. - T. 14. - № 3. - S. 46-57. DOI: 10.36508/RSATU.2022.26.59.002
 8. Semykin, V.A. Fotosinteticheskiy potentsial ozimoy pshenitsy v usloviyakh Chernozem'ya Rossii / V.A.Semykin, I.YA. Pigorev // *Fundamental'nyye issledovaniya*, 2007. – № 2 – S. 42-47 URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=2371>
 9. Toygil'din, A.L. Fotosinteticheskiy potentsial i produktivnost' zernovykh bobovykh kul'tur v usloviyakh lesostepnoy zona Srednego Povolzh'ya/ A.L. Toygil'din, M.I. Podsevalov, R.A.Mustafina, I.A.Toygil'dina, D.E.Ayupov// *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2023. - №1(127). – S. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.11>
 10. Aras C.M., Kurose J. F., Reeves D.S., Schulzrinne H. Real-Time Communication in Packet-Switched Networks. *Proceedings of the IEEE, January 1994. 3. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications.* URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1889.txt>.