

ЦИФРОВИЗАЦИЯ СЕВООБОРОТА ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА СИБИРИ

И.Е. Лаврищев, аспирант

А.Ф. Петров, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

К.Е. Денисов, аспирант

С.Д. Краснов, аспирант

А.Е. Зверев, аспирант

Новосибирский государственный аграрный университет

E-mail: lavr_lv@mail.ru

Ключевые слова: деградация земель, оптимизация севооборота, цифровой продукт, растениеводство, цифровизация растениеводства.

Реферат. Назначение алгоритма цифровизации севооборота как основы для обеспечения устойчивого развития растениеводства – это переосмысление вариантов получения данных для составления севооборота. Использование севооборотов как важного инструмента растениеводческого предприятия может напрямую стимулировать повышение плодородия не менее чем на 10 – 12 % при правильном подборе культур, а также стать одним из источников ослабления развития деградации земель. Дегradированные земли только в доле земель сельскохозяйственного значения Новосибирской области занимают не менее 12 %. В части регионов этот показатель растет и в отдельных случаях превышает 40 %, что является результатом природных и в немалой степени антропогенного факторов. Интеграция инструмента автоматического планирования является одним из шагов для развития растениеводства. Крупные агропромышленные комплексы уже давно озадачены идеями оптимизации производства и все чаще прибегают к технологиям точного земледелия, производят сезонный мониторинг на полях и тщательно контролируют всю хозяйственную деятельность, что, в свою очередь, позволяет накапливать большой массив данных, однако который зачастую почти не анализируется. Изучение этих данных может фактически корректировать планируемые культуры для последующих сезонов и быть своеобразной рекомендацией хозяйству к правкам или подтверждению верности принимаемых решений. Точность алгоритма напрямую зависит от вводных данных и того в каких объемах они предоставляются растениеводческими хозяйствами. Одной из движущих сил разработки предлагаемого алгоритма является постепенное снижение доли профессиональных агрономов, что требует создания инструмента для проверки получаемых данных менее опытными или начинающими агрономами.

DIGITALISATION OF CROP ROTATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF CROPPING PRODUCTION IN SIBERIA

I.E. Lavrishchev, PhD student

A.F. Petrov, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

K.E. Denisov, PhD student

S.D. Krasnov, PhD student

A.E. Zverev, PhD student

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: lavr_lv@mail.ru

Keywords: land degradation, optimisation of crop rotation, digital product, crop production, digitalisation of crop production

Abstract. Development of an algorithm for digitalisation of crop rotation as a basis for ensuring sustainable development of crop production. The algorithm presented in the article aims to rethink the options for obtaining data for compiling crop rotation. The use of crop rotations, as an essential tool for a

crop-growing enterprise, can directly stimulate an increase in fertility by at least 10-12% with the correct selection of crops and also become one of the sources of weakening the development of land degradation, which only in the share of agricultural lands in the Novosibirsk region occupies no less than 12%. In some regions, this figure is growing and, in some cases, exceeds 40%, resulting from natural and not insignificant anthropogenic factors. The integration of an automatic planning tool is one of the steps for the development of crop production. Large agro-industrial complexes have long been puzzled by the idea of optimizing production and are increasingly resorting to precision farming technologies, conducting seasonal monitoring in the fields and carefully controlling all economic activities, which in turn accumulates a large array of data, which is often almost not analyzed. The study of this data can actually adjust the planned crops for subsequent seasons and be a kind of recommendation to the farm for corrections or confirmation of the correctness of the decisions made. In turn, the accuracy of the algorithm directly depends on the input data and the amount of it provided by crop farms. One of the driving forces behind the development of the proposed algorithm is the gradual decline in the proportion of professional agronomists, which requires the creation of a tool to verify the data obtained by less experienced or novice agronomists.

Устойчивое развитие сельского хозяйства предполагает интеграцию трех взаимосвязанных элементов: экономический рост, социальное благополучие и экологическое равновесие. Устойчивость – одно из важнейших условий стратегического развития сельскохозяйственного производства Сибирского федерального округа, на который приходится 10 % валовой продукции отрасли, а также 40 % залежных земель России [1]. При этом одновременное рациональное использование земельного ресурса и эффективное ведение хозяйства зачастую друг другу противоречат. Решением данной проблемы может стать внедрение цифровых технологий в производство продукции растениеводства, и в частности цифровизация севооборотов.

В Сибирском федеральном округе наблюдается выбытие малопродуктивных территорий и уменьшение валового объема производства. В частности, рентабельность сельского хозяйства снизилась на 24,2 % в 2022 г. и, вероятно, упадет на 30,3 % в 2023 г. (данные Interfax-Russia.ru). Во многих хозяйствах до сих пор сохраняется политика использования монокультур. Фактически сложно упрекнуть сельхозтоваропроизводителя за то, что он пытается быть конкурентноспособным и распоряжается своими ресурсами так, чтобы не втянуть предприятие в убытки. Ежегодно фермерам приходится заново решать, какие культуры определить для выращивания на каждом из своих полей. Их выбор должен отражать растущее число определяющих условий. На уровне отдельного поля необходимо учитывать факторы местоположения, такие как типы почв и эффекты севооборота, а также технологические, структурные и экономические факторы [2]. В масштабах агропромышленного комплекса план посевов должен соответствовать имеющимся у предприятия трудовым и машинным ресурсам. Кроме того, необходимо рассмотреть меры командования и контроля, связанные с агроэкологическим законодательством. Растениеводческие предприятия сталкиваются с фактором неопределенности, когда выбор культур идет из логики их средней окупаемости по региону, но нет никакой возможности проверить верность расчета вероятной прибыли уже после уборки урожая [3– 5].

В РФ с каждым годом наращивается количество компаний, занятых цифровой трансформацией сельского хозяйства, и прогнозируется, что этот показатель будет только расти. Однако большинство создаваемых цифровых продуктов этой области являются в некоторой степени клонами друг друга по функционалу и часто даже по интерфейсу. Многие сельскохозяйственные товаропроизводители, заинтересованные в модернизации своего предприятия, не понимают различия между платформами планирования и мониторинга посевов, что приводит их в замешательство.

Важным шагом в решении проблемы невыгодности введения севооборота может стать программный продукт на основе аналитики больших данных – инструмент, не заменяющий решения агронома, но дающий возможность проанализировать верность подобранного сево-

оборота или получения альтернативного варианта. Системы предиктивной аналитики уже помогают оптимизировать бизнес и определить наибольшую вероятность влияющих событий.

Важными параметрами являются правильные входные данные, а также доля истинно положительных и отрицательных результатов. Результаты модели можно проверить только опытным путем и при условии, что их количество будет удовлетворительным, чтобы утвердить процент правильности.

Нами был проведен сравнительный анализ зарубежного опыта с применением схожих логик работы алгоритмов подбора севооборота, при котором были изучены основные компоненты таких программных продуктов, как FruchtFolge, FARMS, LAMPs, von Lücken и выяснены их основные принципы и недостатки, а также изучены методы аналитики больших данных и обобщения разрозненных значений. Материалы данных о деградации почв взяты из прогнозов экологического состояния земель субъектов Российской Федерации в целях устойчивого развития за 2023 г. [6]. Алгоритмы построены с условием использования цикла и метода ветвлений по Маркову.

Севообороты являются одним из основных факторов повышения плодородия, а также инструментом борьбы с культурами-засорителями. Соблюдение базовых принципов севооборота позволяет получить дополнительный прирост урожая 10 – 11 % (по данным ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ») только за счет правильного чередования культур. Данный принцип также имеет большое значение в противоэрозионных мерах и ресурсоэнергосбережении. Увеличение содержания азота в почве в результате выращивания зернобобовых культур в севообороте может повысить содержание органического углерода и улучшить общее состояние почвы [7].

Инструмент подбора севооборота не заменяет агронома, а лишь помогает при оценке возможных к использованию культур [8,9]. Это важно с учетом тенденции к снижению количества профессиональных агрономов на рынке труда как в России, так и в мире. Уже известно, что по мере развития стран их сельскохозяйственный сектор теряет значение. Это можно проиллюстрировать, сравнив долю людей, занятых в сельском хозяйстве, и вклад этого сектора в ВВП в странах с низким и средним уровнем дохода с течением времени. В 2000 – 2010 гг. доля рабочей силы, занятой в сельском хозяйстве, сократилась почти вдвое – с 45 до 24 % (Всемирный банк, 2016 г.).

В 2022 г. сельхозорганизации внесли 3,43 млн т минеральных удобрений (в действующем веществе), что на 2,6 % больше, чем в 2021-м (данные Росстата). В том числе под сельхозкультуры внесено 3,39 млн т против 3,31 млн т годом ранее. Такие темпы наращивания являются необходимой мерой, ибо урожай напрямую зависит от обеспеченности питательными элементами самой почвы. Данные статистики напрямую угрожают концепции увеличения производства органической продукции, так как за ростом внесения удобрений следует импакт от накопления отдельных элементов в почве за счет перехода в недоступные для растений формы.

В России, по данным Минсельхоза РФ, деградации подвержено 134 млн га сельхозугодий. Заброшено, не находится в обороте более 20 – 40 млн га сельхозземель. Баланс питательных веществ в сельхозугодиях России отрицательный, он составляет минус 5,2 % [10]. Это означает, что с урожаем выносятся больше питательных веществ, чем затем поступает в почву. Отрицательный баланс за 5 лет составил 22,2 млн т [11, 12].

Растет доля деградированных земель, так, для Республики Мордовия этот показатель уже составляет 55 % от общего фонда сельскохозяйственных земель, что отражено на рис. 1. Немаловажная роль в этом процессе отводится использованию многими малыми предприятиями монокультур, которые истощают почву и через десятки лет критически снижают содержание гумуса, а увеличение применения на таких полях минеральных удобрений в качестве

основного инструмента регулирования плодородия не исключает фактор ухудшения фитосанитарного состояния земель [10, 13].

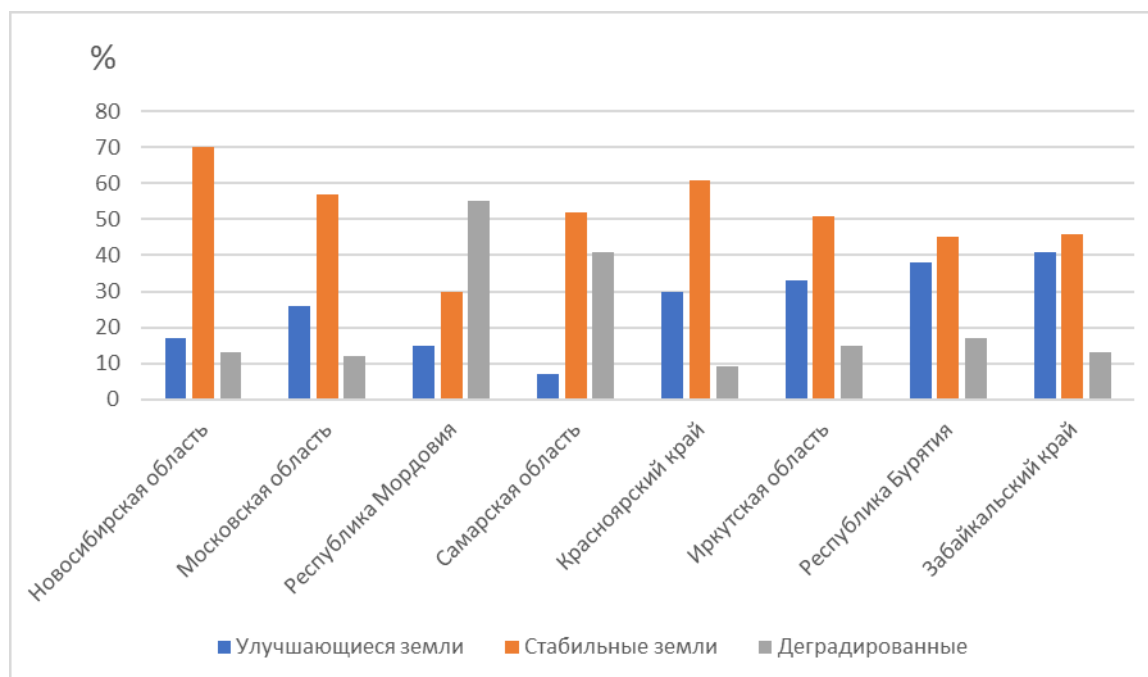


Рис. 1. Экологическое состояние земель отдельных субъектов РФ
Ecological state of the lands of individual constituent entities of the Russian Federation

Решению вышеперечисленных проблем может послужить цифровизация севооборота в хозяйствах, в основе которой находится алгоритм, оптимизирующий составление севооборота с учетом экономических показателей.

В своей основе модель алгоритма делится на два компонента системы: первый компонент отвечает за моделирование почвенно-климатических факторов, а второй – за культуры и сорта. Все получаемые результаты приводятся к единому алгоритму расчета, который использует значения приоритета для получения наиболее подходящего результата, измеряемого от 0 до 1. Фактически используется дерево решений, в котором берутся результаты с наибольшим значением.

Применяемый алгоритм, представленный на рис. 2, не является развернутым и отражает упрощенную логику нахождения результата. Сам алгоритм при всей своей визуальной простоте должен анализировать большой объем данных. Взаимодействующие факторы, такие как состояние поля и его плодородность, могут уменьшать или увеличивать значения для подбираемых культур. Немаловажными будут являться соотношение требуемых затрат на агротехнические операции, требования к уровню химизации, отношение культур к условиям питания. Данные значения будут вноситься в базу данных культур как отдельные параметры, которые должны быть достигнуты при попадании растения в приоритет хозяйства.

Для алгоритма определения приоритета поля входными параметрами будут являться: агрохимические показатели, сложность формы поля, рельеф, фитосанитарное состояние, площадь, удаленность от инфраструктуры и возможность орошения. Для отдельного предприятия эти данные могут быть частично получены агрохимической службой или же взяты из средних данных по району при отсутствии возможности получить их путем обследования [14]. Приоритетными для данного блока данных могут стать значения расстояния от поля до основных центров предприятия, таких как склады или места стоянки.

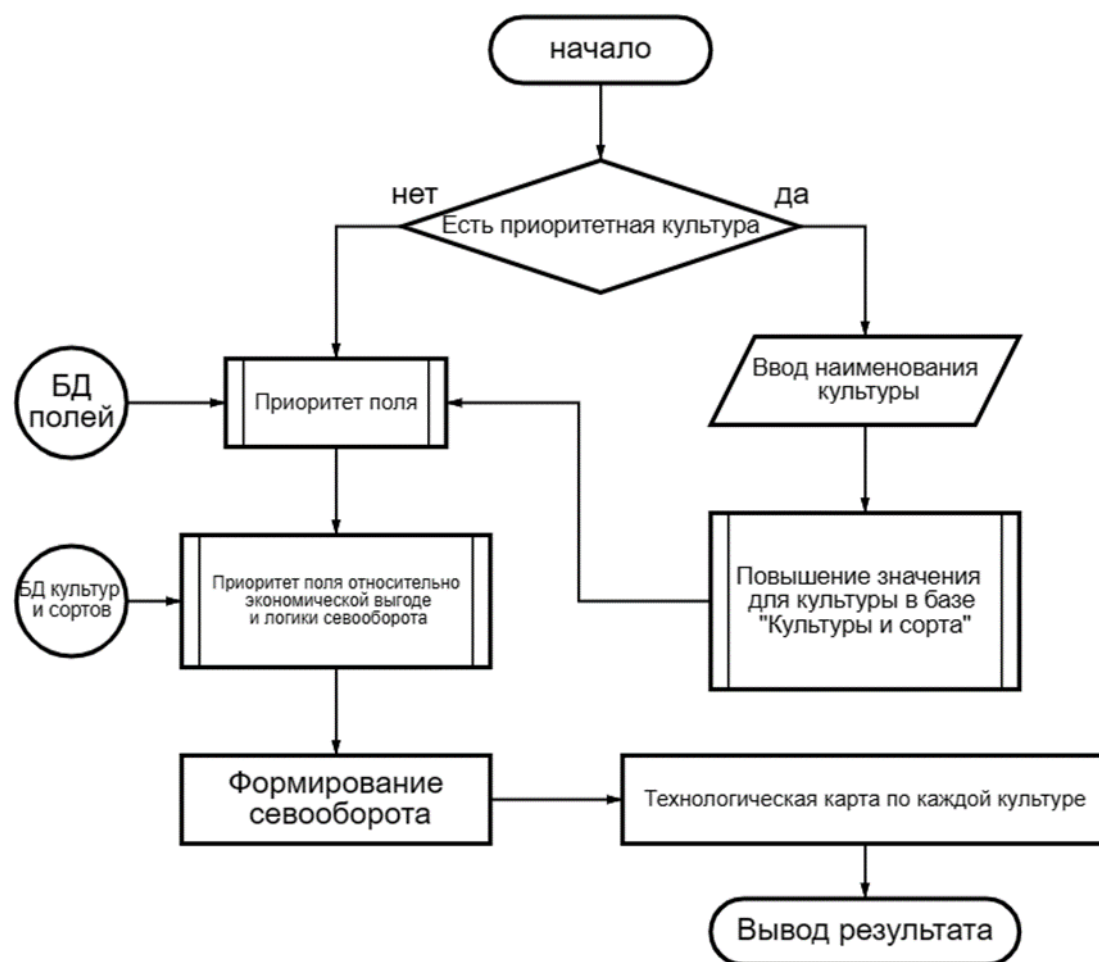


Рис. 2. Основной алгоритм определения севооборота
The main algorithm for determining crop rotation

При подборе приоритетной культуры и соответствующего сорта алгоритм должен использовать обновляемую базу для получения актуальных результатов. Алгоритм подбора культуры и сорта представлен на рис. 3. Для данного алгоритма возможно введение обучаемого искусственного интеллекта в целях анализа окупаемости сельскохозяйственной культуры для повышения вероятности оценки ввода целесообразности ее в севооборот.

Алгоритм использует систему баллов для расчета рейтинга различных культур. Система состоит из трех показателей. Во-первых, это пригодность урожая для каждого поля. Он рассчитывается на основе таких характеристик поля, как размер, форма, уклон, расстояние до логистических центров хозяйства, близость к водному пути, тип почвы, собственность и культуры, используемые в настоящее время на этих полях, с применением полиномиальной логистической регрессии, что приводит к оценке пригодности сельскохозяйственных культур. Вторым после пригодности культур является показатель севооборота. В нем используются варианты выращивания за четыре предыдущих года, при этом более высокие баллы присваиваются за более разнообразные варианты выращивания культур. Наивысший балл, например, дается, если были посажены зерновые в течение трех лет и два года – промежуточные культуры, а самый низкий балл, например, если один и тот же злак возделывался все четыре предыдущих года и предложен для следующего года. Третий показатель состоит из дополнительных ограничений, таких как даты посадки и сбора урожая конкретных культур, чтобы озимые зерновые не могли

следовать за фасолью, а также определенные неблагоприятные варианты культур. Учитывая специфические характеристики хозяйства, эта система оценок используется для составления 4 – 5-летнего плана выращивания сельскохозяйственных культур [15].

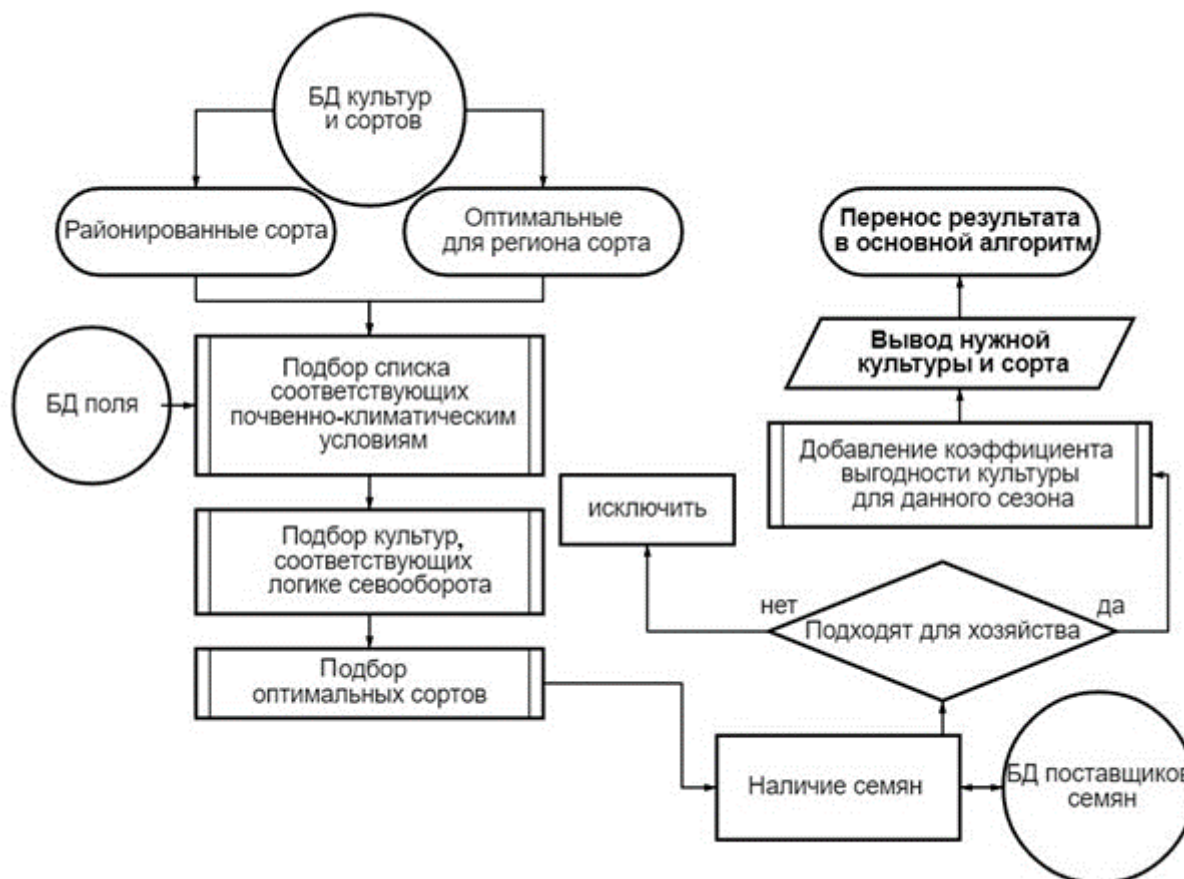


Рис. 3. Алгоритм подбора культуры и сорта
Algorithm for selecting crops and varieties

Сочетание различных источников данных позволяет рассчитать валовую прибыль и ежемесячную потребность в рабочей силе для каждого отдельного поля и культуры. Для каждого поля расчет отражает расстояние и размер фермы от поля, а также разницу в урожайности, основанную на качестве почвы и влиянии предыдущего урожая.

Таким образом, реализация модели севооборота с учетом логистических и экономических факторов в качестве программного продукта может стать одним из важных инструментов при планировании последующих сезонов предприятий АПК. Реализация на практике может начать регулировать соотношение деградирующих земель в общем объеме земель.

Важно отметить, что логика основного алгоритма соответствует только предприятиям, которые занимаются растениеводством. Для предприятий, занятых кормопроизводством, она не будет эффективна.

Практическая реализация составленных моделей, согласно предварительной оценке, позволит снизить затраты сельскохозяйственного производства и, соответственно, улучшить финансовый результат как показатель успешного ведения хозяйственно-производственной деятельности сельскохозяйственных организаций.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ НШ-1129.2022.2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. М.С. Петухова, С.В. Коваль Приоритетные направления устойчивого сельскохозяйственного производства Новосибирской области // Экономика сельского хозяйства России. – 2022. – № 1. – С. 54–59.
2. Деградация почв в мире [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://rosng.ru/post/degradaciya-pochv-v-mire> (дата обращения: 15.10.2023).
3. *Developing good practice guidance for estimating land degradation in the context of the United Nations Sustainable Development Goals* / N.C. Sims, J.R. England, G.J. Newnham [et al.] // *Environmental Science & Policy*. – 2019. – Vol. 92. – P. 349–355.
4. *Trends. Earth. Conservation International* [Электронный ресурс]. – 2018. URL: <http://trends.earth/docs/en/> (дата обращения: 15.10.2023).
5. Опыт эколого-экономической оценки деградации земель в регионах Российской Федерации / О.А. Макаров, А.С. Строков, Е.В. Цветнов [и др.] // Агрохимический вестник. – 2022. – № 3. – С. 317–324.
6. *Intensifying crop rotations with pulse crops enhances system productivity and soil organic carbon in semi-arid environments* / Kui Liu, Manjula Bandara, Chantal Hamel [et al.] // *Field Crops Research*. – 2020. – Т. 248 – P. 41–51.
7. Продуктивность полевых монокультур и возделываемых в севообороте в зависимости от содержания нитратного азота и биологической активности почвы на чернозёмах южных степных районов Южного Урала / В.Ю. Скороходов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2021. – № 1 (53). – С. 60–67.
8. Опыт оценки динамики деградации земель юга европейской части России с использованием методологии нейтрального баланса деградации земель / М.В. Беляева, О.В. Андреева, Г.С. Куст, В.А. Лобковский // Экосистемы: экология и динамика. – 2020. – № 3. – С. 145–165.
9. Работник двадцатипятилетия [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5952421> (дата обращения: 15.10.2023).
10. Прогноз экологического состояния земель субъектов Российской Федерации в целях устойчивого развития / М.В. Евдокимова // Вестник Московского университета. Сер.17: Почвоведение. – 2023. – № 2. – С. 63–74.
11. Значение севооборота и предшественников в снижении засоренности сельскохозяйственных культур / Е.Г. Борисова // Вестник НГИЭИ. – 2014. – № 6 (37). – С. 13–21.
12. *Mathematical Simulation and Investigation of the Phenomenon of Coherent Resonance in the Brain* / A. Andreev, V. Makarov, F. Nikita [et al.] // 2nd School on Dynamics of Complex Networks and their Application in Intellectual Robotics (DCNAIR). – Saratov, Russia, 2018. – P. 9–11.
13. Е.В. Рудой, М.С. Петухова, И.Е. Лаврищев / Улучшение качества питания жителей Сибири путем производства биологизированных функциональных продуктов // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, № 11. – С. 86–90.
14. Влияние различных форм и доз минеральных азотных удобрений на продуктивность томата в условиях открытого грунта / А.Ф. Петров, Р.Р. Галеев, Н.В. Гаврилец [и др.] // Вестник НГАУ. – 2023. – № 3. – С. 93–100.
15. Продуктивность мягкой пшеницы в зависимости от активности микроорганизмов и содержания нитратного азота на южных чернозёмах Оренбургского Предуралья / Д.В. Митрофанов, Т.А. Ткачёва // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 3. – С. 152–165.

REFERENCES

1. Petuhova M.S., Koval' S.V., *Ekonomika sel'skogo hozyajstva Rossii*, 2022, No. 1, pp. 54–59. (In Russ.)
2. *Degradaciya pochv v mire* (Land degradation in the world), 2020, available at: <https://rosng.ru/post/degradaciya-pochv-v-mire> (October 15, 2023).

3. Sims N.C., England J.R., Newnham G.J. et al., Developing good practice guidance for estimating land degradation in the context of the United Nations Sustainable Development Goals, *Environmental Science & Policy*, 2019, Vol. 92, P. 349–355.
4. Trends. Earth. Conservation International, 2018, available at: <http://trends.earth/docs/en/> (October 15, 2023).
5. Makarov O.A., Stokov A.S., Cvetnov E.V. i dr., *Agrohimicheskij vestnik*, 2022, No. 3, pp. 317–324. (In Russ.)
6. Kui Liu, Manjula Bandara, Chantal Hamel [et al.], Intensifying crop rotations with pulse crops enhances system productivity and soil organic carbon in semi-arid environments, *Field Crops Research*, 2020, Vol. 248, pp. 41–51.
7. *Vestnik Ul'yanovskoj GSKHA*, 2021, No. 1 (53), pp. 60–67. (In Russ.)
8. Belyaeva M.V., Andreeva O.V., Kust G.S., Lobkovskij V.A., *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*, 2020, No. 3, pp. 145–165. (In Russ.)
9. *Rabotnik dvadcatipyatiletiya* (Twenty-Five-Year-Old Worker), 2023, available at: <https://www.kommersant.ru/doc/5952421> (October 15, 2023).
10. Evdokimova M.V. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser.17: Pochvovedenie*, 2023, No. 2, pp. 63–74. (In Russ.)
11. Borisova E.G. *Vestnik NGIEI*, 2014, No. 6 (37), pp. 13–21. (In Russ.)
12. Andreev A., Makarov V., Nikita F. et al., "Mathematical Simulation and Investigation of the Phenomenon of Coherent Resonance in the Brain", *2nd School on Dynamics of Complex Networks and their Application in Intellectual Robotics (DCNAIR)*, Saratov, Russia, 2018, P. 9–11.
13. Rudoj E.V., Petuhova M.S., Lavrishchev I.E., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2022, Vol. 36, No. 11, pp. 86–90. (In Russ.)
14. Petrov A.F., Galeev R.R., Gavrilec N.V. i dr., *Vestnik NGAU*, 2023, No. 3, pp. 93–100. (In Russ.)
15. Mitrofanov D.V., Tkachyova T.A., *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2021, No. 3, pp. 152–165. (In Russ.)