

Научная статья

УДК 001.11

doi: 10.17223/1998863X/83/2

ЭПИСТЕМОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОФТВЕРИЗАЦИИ СОВРЕМЕННОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Елена Юрьевна Журавлева

*Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте РФ, Вологда, Россия, zhuravleva-ey@ranepa.ru*

Аннотация. В развитии исследований, движимых научно-исследовательским программным обеспечением за последние десятилетия было многое достигнуто и есть убедительные примеры доказывающие, что компьютерные программы создают явные вклады в научное знание, которые весьма сложно оценить. Целью статьи является определение эпистемологических перспектив для изучения эпистемического статуса программного обеспечения в научном процессе с точки зрения стадий его развития в качестве когнитивной сущности, интеллектуального и эпистемического агента.

Ключевые слова: софтверизация научно-исследовательской деятельности, когнитивная сущность, интеллектуальный агент, программное обеспечение на основе технологий «искусственного интеллекта», эпистемический агент, «другой интеллект»

Для цитирования: Журавлева Е.Ю. Эпистемологические перспективы развития софтверизации современной научно-исследовательской деятельности // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. 2025. № 83. С. 15–22. doi: 10.17223/1998863X/83/2

Original article

EPISTEMOLOGICAL PROSPECTS IN THE DEVELOPMENT OF SOFTWARIZATION OF CONTEMPORARY SCIENTIFIC RESEARCH ACTIVITIES

Elena Yu. Zhuravleva

*Russian Academy of National Economy and Public Administration, Vologda,
Russian Federation, zhuravleva-ey@ranepa.ru*

Abstract. Currently, software is becoming an important tool (agent) for obtaining and systematizing knowledge in many disciplines (physics, astronomy, bioinformatics, chemoinformatics, ecoinformatics, mathematics, epidemiology, social and human sciences) and industries (pharmacological, biotechnical, chemical and agricultural); it also often serves as a representation of knowledge. The active use of software is becoming an important component of modern research practices leading to their significant socio-technological transformation, which is called the softwarization of scientific research activities. Over time, it becomes the ethos of science and, in this status, strives to expand its further influence on various disciplines and industries. The essence of the softwarization of scientific research activities lies in the assumption that scientific knowledge can be generated not only through the work of human thinking, but also during the functioning of software, which gives rise to many thoughts about its role in the scientific process. To identify epistemological prospects for studying the role of software in the scientific process, the article examines the

development stages of the softwarization of scientific research activities as a cognitive entity, an intellectual and epistemic agent. So, the epistemological prospects for software development in contemporary scientific research activities lie in several trajectories for research: (1) in studying the increase in the epistemic status of scientific software from a “tool” to a “cognitive entity”, from an “intelligent agent” to an “epistemic agent”; (2) in clarifying the definitions of the concept “alien intelligence” in the context of contemporary research activities softwarization, new types of knowledge and criteria of truth for research results using software; (3) in studying the emergence of hybrid and new, non-human (non-anthropocentric or, in particular, machine-oriented) modes of research and the emergence of the contours of the fifth paradigm for the development of scientific methods.

Keywords: softwarization of scientific research activities, cognitive essence, intelligent agent, software based on artificial intelligence technology, epistemic agent, alien intelligence

For citation: Zhuravleva, E.Yu. (2025) Epistemological prospects in the development of softwarization of contemporary scientific research activities. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Filosofiya. Sotsiologiya. Politologiya – Tomsk State University Journal of Philosophy, Sociology and Political Science*. 83. pp. 15–22. (In Russian). doi: 10.17223/1998863X/83/2

В настоящее время программное обеспечение (ПО) становится не только важным инструментом (агентом) для получения и систематизации знания во многих дисциплинах, а также в индустриях¹, но и часто само служит представлением знания. Активное применение ПО является важной составляющей современных научно-исследовательских практик, что вызывает их значительную социотехнологическую трансформацию, которая называется софтверизацией научно-исследовательской деятельности. С течением времени она становится этосом науки и в этом статусе стремится расширить свое дальнейшее влияние на различные дисциплины и индустрии. Сущность софтверизации научно-исследовательской деятельности заключается в предположении о том, что научное знание может быть сгенерировано не только посредством работы мышления (сознания) человека, но и при функционировании ПО, что порождает множество размышлений по поводу его роли в научном процессе. Для выявления эпистемологических перспектив изучения эпистемического статуса программного обеспечения в научном процессе в статье рассматриваются стадии развития софтверизации научно-исследовательской деятельности в качестве когнитивной сущности, интеллектуального и эпистемического агента.

Первая стадия развития научного ПО в качестве когнитивной сущности (когнитивной добавки, когнитивного артефакта, основы для функционирования распределенных когнитивных процессов и умного инструмента) началась в 1941 г.² и продолжается до настоящего времени. Применение ПО в качестве когнитивной сущности помогает его пользователю преодолеть свои когнитивные искажения и ограничения (к примеру, проблему информационного горизонта, информационные пробелы, фенотипичные неточности [1. Р. 41]).

ПО изначально разрабатывалось как своеобразная добавка к когнитивным процессам его пользователя, содержащая в себе предписанные экспертизой возможные действия в особом «контексте потребления». В результате

¹ В современности ПО широко применяется учеными не только в физике, астрономии, биоинформатике, хемоинформатике, экоиформатике, математике, эпидемиологии, социальных и гуманитарных науках, но и в фармакологической, биотехнической, химической и агрокультурной индустриях.

² Первая программа, хранящаяся в памяти компьютера, была запущена 21 июня 1941 г. Подробнее: Time-Life Books. Язык компьютера = Computer Languages. М. : Мир, 1989. Т. 2. 240 с.

подобного потребления пользователь ПО мгновенно приобретает дополнительное «когнитивное» – память и экспертизу¹. Перечисление когнитивных задач, которые могут быть решены пользователем совместно с ПО, включает: калькуляцию, решение математических задач, увеличение памяти, визуализацию научных данных и информации, навигацию в пространстве, принятие решений с рассуждением, планирование и напоминание о событиях.

П. Брей отмечает, что среди множества когнитивных артефактов компьютерные системы являются уникальными, так как они часто выходят за пределы роли инструмента, используемого человеком: компьютерные системы способствуют автономному выполнению когнитивных задач, и в этом смысле они являются особенными, потому что осуществляют активные манипуляции представлениями. Эта потенциальная возможность является причиной, благодаря которой компьютерные системы можно представить как многосторонние и мощные когнитивные артефакты, которые могут поддержать или исполнить почти любую когнитивную задачу. В этом смысле компьютерная система функционирует как усилитель человеческого сознания или как гибридная когнитивная система (человек и продукт, созданный человеком), в которой две информационные системы объединяются для исполнения когнитивных задач [2. Р. 392].

По мнению Н.К. Хейлис, ПО может быть основой для функционирования когнитивных процессов, которые осуществляются невероятно быстро для порога человеческого осознания в экосистемах сетевой структуры (например, автоматический трейдинг или умная лаборатория). В них технические устройства постоянно «осознают», а также «интерпретируют», и эти полученные «интерпретации» пересекаются с весьма важными осознанными/неосознанными интерпретациями людей².

В настоящее время ПО на основе технологий «искусственного интеллекта» (ИИ) предоставляет возможность развития умных инструментов, которые осуществляют когнитивные функции (например, такие как решение проблем или сентиментальный анализ текста). Но при применении ПО в качестве инструмента важно осознавать, что в любом инструменте – умном, когнитивном, вычислительном или статистическом – есть встроенные скрытые ограничения того, что возможно выполнить при его помощи, а что нет.

Вторая стадия развития научного ПО в качестве интеллектуального агента начинается с 1956 г.³ и длится по настоящее время. Отличие этой стадии от остальных в том, что в ней ПО совместно с исследователем (-ями) является производителем научного знания. Перечисление интеллектуальных задач, которые могут быть решены совместно с ПО на основе технологий ИИ, включает: супервычисления, моделирование процессов и явлений, обработку больших данных, распознавание образов, рекомендации, интеллектуальную поддержку системы принятия решений, обработку естественного языка, рас-

¹ Подробнее: *Berry D.M. Exhaustive Media*. URL: <http://stunlaw.blogspot.ru/2013/02/exhaustive-media.html> (accessed: 19.09.2022).

² Подробнее: *Hayles N.K. Cognition everywhere: the rise of the cognitive nonconscious and the costs of consciousness // New Literary History*. 2014. Vol. 45, № 2. P. 199–220; *Hayles N.K. The cognitive non-conscious: enlarging the mind of the humanities // Critical Inquiry*. 2016. Vol. 42, № 4. P. 783–808.

³ Дартмутский семинар – двухмесячный научный семинар по вопросам ИИ, проведенный летом 1956 г. в Дартмутском колледже, который определил программу исследований ИИ на десятилетия вперед.

познавание и синтез речи. М. Бун в свою очередь предлагает временную категоризацию эпистемических задач, решаемых с помощью совместной работы людей и ПО на основе технологий ИИ, которые состоят из математических задач, интерпретации, диагностирования, структурирования, обнаружения, вычисления и интеграции [3. Р. 48–49].

Эпистемический режим, проявляющийся при совместной работе ученого с ПО на основе технологий ИИ, Х. Китано называет гибридным, а его особенностью является то, что в нем основное внимание уделено рассмотрению менее ценностных доменов с точки зрения ученого, что может привести к получению значительных научных результатов. ПО на основе технологий ИИ в разведывательном стиле может обнаружить потенциально многообещающие директории во всех областях без исключения, пока попытки человека, напротив, являются подтверждающими и нацелены на избавление от тех областей исследования, которые, по его мнению, бесперспективны. В контексте поиска важно то, что ученый, применяющий ПО на основе технологий ИИ, совмещают две роли: «специалиста по решению проблем» и «изыскателя», который дерзко изыскивает гипотезы в областях, где никаких научных поисков до этого не осуществлялось. В этом случае происходит исчерпывающая все возможное множество генерация и верификация гипотез, выгодно отличающаяся гибридный режим от традиционных подходов [4. Р. 29].

К. Хинсен замечает, что еще не всеми учеными осознано то, что современное научное ПО содержит научное знание, которое сложно проверить [5]. Так как значительная часть цифрового научного знания существует только в форме ПО, то осознание и понимание этого факта возможно приведет к глубоким изменениям в эпистемологии. Это положение истинно в отношении сложных научных моделей, для которых кроме ПО нет подходящей формы представления¹, а их эпистемический статус до настоящего времени не определен [6].

Ф. Ли и его коллеги определяют интеллектуального агента как систему знаний со своей структурой и функциями, содержащуюся в ПО на основе технологий ИИ, также известную как машинное знание². По их мнению, в настоящее время интеллектуальные агенты встраиваются в объективное существование мира, так как могут предсказывать, выражать мнения и эмоции, а также активно регулировать свое поведение, адаптируясь к переменам в среде [7. Р. 218].

Следующей генерацией ПО на основе технологий ИИ является ПО на основе технологий «искусственного интеллекта 2.0», которое Д. Пэн определяет как открытое сложнообъяснимое ПО на основе технологий ИИ, интегрирующее два подхода: первый – движимыми данными различных модальностей (например, визуальными, звуковыми, текстовыми) (снизу вверх), а второй – движимыми знаниями (сверху вниз). В ПО на основе технологий «искусственного интеллекта 2.0» реализуется модель гибридно-расширенного интеллекта, созданного для сотрудничества человека с маши-

¹ Ученые представляют результаты исследований в виде научных статей, но эти статьи содержат только описания ПО или очертания этих моделей. Например, ПО «Совместная модель Земной системы» (CESM1) для климатических исследований или ПО для моделирования белков в биоинформатике (AMBER или CHARMM)

² Машинное знание иногда называют темным, но это обозначение не точное, так как под темным знанием понимают и эзотерическое знание, знание серой зоны Интернета и т.п.

ной высокого уровня, которая в идеале стремится к созданию коллективного интеллекта и автономных интеллектуальных систем [8. С. 411].

Третья стадия эволюции научного ПО начинается с его применения в качестве эпистемического агента с 2020 г. (первые продуктивные исследования с применением эмуляторов глубокого обучения). П. Брей предполагает, что первичные отношения между людьми и компьютерными системами посредством ПО были эпистемическими, так как компьютеры использовались как инструменты для работы не только с информационными процессами, но и для решения проблем, которые расширяют познавательные возможности человека [2. С. 388].

Эпистемическим называется агент, способный занимать эпистемическую позицию по отношению к эпистемическим элементам. Эта позиция должна быть занята намеренно с целью добычи знания и основана на семантическом понимании эпистемическим агентом вопроса и его доступных альтернативах [9. Р. 65]. ПО в статусе эпистемического агента позволяет изучить феномен в том случае, когда процесс исследования отличается от перспектив антропоцентричного подхода и является сложным по созданию надежных прогнозов, так как описание феномена, включающее сотни миллионов параметров и сложных нелинейностей, создает невозможность его понимания для ученых. Например, при исследовании феномена климата Земли автоматизированные методы производят более точные предсказания в сравнении с традиционными «антропоцентричными» подходами [10. Р. 40].

ПО на основе технологий ИИ может быть полезно не только для построения высококачественных моделей, но и для исследования сфер, непостижимых для человека из-за его когнитивных и социальных ограничений, а также для поиска новых методов и принципов познания, которые людям не представлялись возможными.

Т. Никлес считает, что размышления по поводу возможностей применения сложных и распределенных алгоритмов, используемых для анализа данных, продолжают давние научные попытки преодоления ограничений человеческого сознания (мышления). В целом подобные размышления могут привести к осознанию того, что современная наука вступает в новую фазу, отличающуюся уменьшением доверия к стандартным человеческим режимам рассуждения и понимания, включая эвристики [12. Р. 901]. Современная эпистемологическая ситуация заключается в том, что чем больше человечество узнает, тем меньше оно понимает.

В этом случае, по мнению П. Хамфриса, при распространении науки за границы когнитивных и сензитивных способностей человека антропоцентризм¹ представляется анахроническим. Тем не менее здесь есть основания для размышления, согласно которым антропоцентричные науки навсегда останутся перспективными для человека, даже если при этом устранить из них моральные предубеждения, потому что они соотносятся с культурой, целями и требованиями человечества, если кратко – с человеческими интересами. В противном случае ученый становится инженером и ультимативным наблюдателем знания без его понимания и осознания [13. Р. 9].

¹ В основном антропоцентризм состоит в том, что люди руководят нечеловеческими существами.

С точки зрения эпистемологии интересно отметить, что в результате развития ПО на основе технологий ИИ возникает пятая парадигма¹ эволюции научных методов, определенная еще формально, в которой компьютеры (ПО) – не просто инструменты, но равноправные партнеры в научном исследовании, обмене идеями, интуицией и пониманием с человеком. Использование ПО в пятой парадигме весьма отлично от его применения в четвертой парадигме потому, что данные, которые применяются в тренировке нейронных сетей (основа четвертой парадигмы), являются конкретными решениями фундаментальных уравнений науки, а не данными от эмпирических наблюдений. Можно рассмотреть конкретные решения научных уравнений как симуляторов естественного мира, которые используются для вычисления при помощи ПО с целью предсказания погоды, моделирования столкновения галактик, оптимизации процесса синтеза или калькуляции связующих свойств кандидатов молекул лекарств в заданном белке. В перспективе развития ПО связующие звенья деталей симуляций возможно представить как данные, которые могут быть использованы для тренировки эмуляторов глубокого обучения. Тренируясь на маркированных и ограниченных только бюджетом данных, эмулятор сможет совершать вычисления с высокой эффективностью, достигая ускорения в процессе на несколько порядков [11].

При изучении новых, исключаящих человека (не-антропоцентричных или, в частности, машиноориентированных) режимов исследования, осуществляемых при помощи мощного научно-исследовательского ПО, Т. Никлас предлагает использовать понятие «другой интеллект»² [12. Р. 905], уточняя при этом, что функционирование «другого интеллекта» в эпистемической системе не должно быть медленнее работы интеллекта человека, а с другой стороны, предположение о существовании «другого интеллекта» также подразумевает то, что и когнитивные способности человека должны быть не ниже ультимативного критерия эпистемического успеха.

Использование термина «другой» применительно к интеллекту обозначает то, что функционирование ПО уже начинает отклоняться от привычных для человека способов по выявлению паттернов и заключений. Эта степень отдаления является в настоящее время серьезной проблемой рациональности [12. Р. 901] и обозначается как ее дегуманизация.

Появление «другого интеллекта» проявляет допущения, встроенные в западную научную традицию, согласно которой знание – это нахождение порядка, скрывающегося в хаосе, что, по мнению Д. Вайнбергера, является ошибочным упрощением мира, от которого при дальнейшем познании мира, может, придется отказаться [14]. Если познание всегда происходит вследствие изучения и подтверждения истинных знаний, полученных человеком (по определению Платона), то, возможно, человечество в настоящее время создает при помощи ПО новый тип знания, задача подтверждения (верификации) которого не только сложна или упрощена, но и порой невозможна.

¹ Подробнее о первых четырех парадигмах (экспериментальной, теоретической, вычислительной и движимой данными) см.: Журавлева Е.Ю. Вызовы технологий «больших данных» для современных социогуманитарных наук // Вопросы философии. 2018. № 9. С. 53–54.

² Понятие «другой интеллект» – идея не новая в науке, до сих пор о нем дискутировали в биологическом мире и рамках компьютерных наук.

Необходимо отметить, что три стадии развития софтверизации научно-исследовательской деятельности выделены условно и взаимопересекаются, при этом обогащая друг друга.

В целом, эпистемологические перспективы развития софтверизации современной научно-исследовательской деятельности имеют несколько траекторий исследования. Во-первых, в изучении повышения эпистемического статуса научного ПО от «инструмента» к «когнитивной сущности», от «интеллектуального агента» к «эпистемическому агенту». Во-вторых, в уточнении определения понятия «другой интеллект» в контексте софтверизации современной научно-исследовательской деятельности, новых типов знания и критериев истинности для результатов исследований с помощью ПО. В-третьих, в исследовании возникновения гибридных и новых, исключающих человека (не-антропоцентричных или, в частности, машиноориентированных), режимов исследования и появления контуров пятой парадигмы развития научных методов.

Список источников

1. Kitano H. Artificial intelligence to win the Nobel Prize and beyond: Creating the engine for scientific discovery // *AI magazine* 2016. № 37. P. 39–49.
2. Brey P.A.E. The epistemology and ontology of human-computer interaction // *Minds and machines*. 2005. № 15 (3–4). P. 383–398.
3. Boon M. How Scientists Are Brought Back into Science – The Error of Empiricism // *A Critical Reflection on Automated Science* / eds. M. Bertolaso, F. Sterpetti (Human Perspectives in Health Sciences and Technology 1). Cham : Springer International Publishing, 2020. P. 43–65.
4. Kitano H. Nobel Turing Challenge: creating the engine for scientific discovery // *Systems Biology and Applications*. 2021. № 7. P. 29.
5. Khinsen K. What can we do to check scientific computation more effectively? URL: <http://blog.khinsen.net/posts/2018/03/07/what-can-we-do-to-check-scientific-computation-more-effectively/> (accessed: 10.07.22).
6. Khinsen K. The lifecycle of digital scientific knowledge. URL: <http://blog.khinsen.net/posts/2015/11/09/the-lifecycle-of-digital-scientific-knowledge/> (accessed: 10.07.22).
7. Li F., Li L., Yin J., Zhang Y., Zhou O., Kuang K. How to Interpret Machine Knowledge // *Engineering*. 2020. № 6 (3). P. 218–220.
8. Pan Y. H. Heading toward artificial intelligence 2.0 // *Engineering*. 2016. № 2 (4). P. 409–413.
9. Patton P. Epistemic Tools and Epistemic Agents in Scientonomy // *Scientonomy: Journal for the Science of Science*. 2019. № 3. P. 63–89.
10. Pietsch W., Wernecke J. Ten Theses on Big Data and Computability // *Berechenbarkeit der Welt? Philosophie und Wissenschaft im Zeitalter von Big Data* / eds. W. Pietsch, J. Wernecke, M. Ott. Wiesbaden : Springer VS. 2017. P. 37–57.
11. Bishop C. AI4Science to empower the fifth paradigm of scientific discovery. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/research/blog/ai4science-to-empower-the-fifth-paradigm-of-scientific-discovery/> (accessed: 07.07.2023).
12. Nickles T. Alien Reasoning: Is a Major Change in Scientific Research Underway? // *Topoi*, Dordrecht. Sep. 2020. Vol. 39, is. 4. P. 901–914.
13. Humphreys P. *Extending Ourselves: Computational Science, Empiricism and Scientific Method*. Cambridge : Cambridge University Press, 2004. 172 p.
14. Weinberger D. Alien knowledge: when machines justify knowledge // *Wired Magazine*. 2017. URL: <https://www.wired.com/story/our-machines-now-have-knowledge-well-never-understand>, (accessed: 07.07.2023).

References

1. Kitano, H. (2016) Artificial intelligence to win the Nobel Prize and beyond: Creating the engine for scientific discovery. *AI magazine*. 37. pp. 39–49.

2. Brey, P.A.E. (2005) The epistemology and ontology of human-computer interaction. *Minds and Machines*. 15(3-4). pp. 383–398.
3. Boon, M. (2020) How Scientists Are Brought Back into Science—The Error of Empiricism. In: Bertolaso, M. & Sterpetti, F. (eds) *A Critical Reflection on Automated Science*. Cham: Springer International Publishing. pp. 43–65.
4. Kitano, H. (2021) Nobel Turing Challenge: creating the engine for scientific discovery. *Systems Biology and Applications*. 7. p. 29.
5. Khinsen, K. (2018) *What can we do to check scientific computation more effectively?* [Online] Available from: <http://blog.khinsen.net/posts/2018/03/07/what-can-we-do-to-check-scientific-computation-moreeffectively/> (Accessed: 10th July 22).
6. Khinsen, K. (2015) *The lifecycle of digital scientific knowledge*. [Online] Available from: <http://blog.khinsen.net/posts/2015/11/09/the-lifecycle-of-digital-scientific-knowledge/> (Accessed: 10th July 22).
7. Li, F., Li, L., Yin, J., Zhang, Y., Zhou, O. & Kuang, K. (2020) How to Interpret Machine Knowledge. *Engineering*. 6(3). pp. 218–220.
8. Pan, Y.H. (2016) Heading toward artificial intelligence 2.0. *Engineering*. 2(4). pp. 409–413.
9. Patton, P. (2019) Epistemic Tools and Epistemic Agents in Scientonomy. *Scientonomy: Journal for the Science of Science*. 3. pp. 63–89.
10. Pietsch, W. & Wernecke, J. (2017) Ten Theses on Big Data and Computability. In: W. Pietsch, Wernecke, J. & Ott, M. (eds) *Berechenbarkeit der Welt? Philosophie und Wissenschaft im Zeitalter von Big Data*. Wiesbaden: Springer VS. pp. 37–57.
11. Bishop, C. (n.d.) *AI4Science to empower the fifth paradigm of scientific discovery*. [Online] Available from: <https://www.microsoft.com/en-us/research/blog/ai4science-to-empower-the-fifth-paradigm-of-scientific-discovery/> (Accessed: 7th July 22).
12. Nickles, T. (2020) Alien Reasoning: Is a Major Change in Scientific Research Underway? *Topoi*. 39(4). pp. 901–914.
13. Humphreys, P. (2004) *Extending Ourselves: Computational Science, Empiricism and Scientific Method*. Cambridge: Cambridge University Press.
14. Weinberger, D. (2017) *Alien knowledge: when machines justify knowledge*. [Online] Available from: <https://www.wired.com/story/our-machines-now-have-knowledge-well-never-understand> (Accessed: 10th July 23).

Сведения об авторе:

Журавлева Е.Ю. – доцент, кандидат философских наук, доцент кафедры общественных дисциплин Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (Вологда, Россия). E-mail: zhuravleva-ey@ranepa.ru

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Information about the author:

Zhuravleva E.Yu. – Cand. Sci. (Philosophy), docent, associate professor, Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation (Vologda, Russian Federation). E-mail: zhuravleva-ey@ranepa.ru

The author declares no conflicts of interests.

*Статья поступила в редакцию 06.02.2024;
одобрена после рецензирования 18.01.2025; принята к публикации 24.02.2025
The article was submitted 06.02.2024;
approved after reviewing 18.01.2025; accepted for publication 24.02.2025*