

ISSN: 1812-5220 (Print)
ISSN: 2658-7882 (Online)



Том 20, 2023, № 3
Vol. 20, 2023, No. 3

Научно-практический журнал

Проблемы анализа риска

Scientific and Practical Journal

Issues of Risk Analysis

Главная тема номера:

Риск экологический и для здоровья

Volume Headline:

Environmental and health risk

Том 20, 2023, № 3
Vol. 20, 2023, No.3

ISSN: 1812-5220 (Print)
ISSN: 2658-7882 (Online)

Научно-практический журнал

Проблемы анализа риска

Scientific and Practical Journal

Issues of Risk Analysis

Периодичность 6 выпусков в год
Frequency of 6 releases in a year

Основан в 2004 г.
Founded in 2004



ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (ФЦ)

"All-Russian research Institute for civil defense and emergency situations" of EMERCOM of Russia



Ассоциация риск-менеджмента
«Русское общество управления рисками»

*Association of a risk management
"Russian risk management society"*



Издательский дом
«Деловой экспресс»

*Financial publishing house
"Business Express"*

Проблемы анализа риска

Problemy analiza riska

Цели и задачи журнала

Цель: способствовать становлению культуры управления рисками, обобщению опыта исследований риска, внедрению инновационных подходов, созданию баз знаний и данных, информационного пространства по риску, сопровождению научных проектов, созданию и внедрению профессиональных и образовательных стандартов и программ, координации деятельности специалистов по анализу и управлению рисками, разработке нормативных показателей допустимого (приемлемого) риска, законодательного и правового обеспечения.

Задача: дать информацию о результатах последних научных исследований в области анализа и управления рисками, что помогает специалистам по управлению рисками решать насущные проблемы, внедрять инновационные научные разработки и применять научный опыт в практической деятельности управления рисками в чрезвычайных ситуациях, обеспечения безопасности жизнедеятельности населения, глобальной и региональной безопасности, защите окружающей среды, построения и совершенствования систем управления рисками в организациях и на предприятиях различных отраслей экономики.

Aims and Scope of the journal

Aim: to promote formation of culture of risk management, synthesis of experience of researches of risk, introduction of innovative approaches, creation of knowledge bases and data, information space on risk, support of scientific projects, creation and introduction of professional and educational standards and programs, coordination of activity of specialists in the analysis and risk management, development of standard indicators of admissible (acceptable) risk, legislative and legal support.

Scope: to give information on results of the last scientific research in the field of the analysis and risk management that helps specialists in risk management to solve pressing problems, to introduce innovative scientific developments and to apply scientific experience in practical activities of risk management in emergency situations, safety of activity of the population, global and regional security, environment protection, construction and improvement of risk management systems in the organizations and at the enterprises of various sectors of the economy.

Учредители *Founders*

1. ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России»
121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 7
2. Акционерное общество «Финансовый издательский дом «Деловой экспресс»
125167, г. Москва, ул. Восьмого Марта 4-я, д. 6а
3. Ассоциация риск-менеджмента «Русское общество управления рисками»
107076, г. Москва, Колодезный пер., д. 14, эт. 6, пом. XIII, комн. 22А (PM4)
1. "All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations" of EMERCOM of Russia
7, St. Davydovskaya, Moscow, 121352
2. Financial Publishing House "Business Express"
6a, 4th St. 8 March, Moscow, 125167
3. Association of a risk management "Russian risk management society"
et. 6, pom. XIII, room 22A (PM4), 14, Kolodezny per., Moscow, 107076

Издатель и редакция журнала *Publisher and Editorial Office of the Journal*

Акционерное общество «Финансовый издательский дом «Деловой экспресс»
Адрес: 125167, г. Москва, ул. Восьмого Марта 4-я, д. 6а
Тел.: +7 (495) 787-52-26

Financial Publishing House "Business Express"
Address: 6a, 4th St. 8 March, Moscow, 125167
Tel: +7 (495) 787-52-26

Главный редактор:
Быков Андрей Александрович,
д.ф.-м.н., проф., заслуженный деятель науки РФ, г. Москва, Россия
E-mail: journal@dex.ru

Editor-in-Chief:
Bykov Andrey A.,
Doctor of physics and mathematics, Professor, honored scientist of
Russia Federation, Moscow, Russia
E-mail: journal@dex.ru

Ответственный секретарь:
Виноградова Лилия Владимировна,
руководитель отдела ведомственных изданий АО ФИД «Деловой экспресс», г. Москва, Россия
E-mail: journal@dex.ru

Responsible secretary:
Vinogradova Lyliya V.,
Head of Departmental Publications Department Financial Publishing
house "Business express", Moscow, Russia
E-mail: journal@dex.ru

Верстка:
Луговой Александр Вячеславович

Imposition:
Lugovoi Alexander V.

Корректурa:
Легостаева Инна Леонидовна,
Синаюк Рива Моисеевна,
Шольчева Янина Геннадьевна

Updates:
Legostayeva Inna L.
Sinajuc Riva M.
Sholcheva Yanina G.

Журнал издается с 2004 года
Периодичность: 6 номеров в год
Префикс DOI: 10.32686
ISSN: 1812-5220 (Print)
ISSN: 2658-7882 (Online)
Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС 77-61704 от 25.05.2015

The journal is issued since 2004
Frequency: 6 numbers a year
Prefix DOI: 10.32686
ISSN: 1812-5220 (Print)
ISSN: 2658-7882 (Online)
Certificate of registration of mass media ПИ № ФС 77-61704
from 25.05.2015

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки России (ВАК) для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Журнал индексируется РИНЦ, INDEX COPERNICUS, Science Index, Ulrich's

The journal is included in the list of the leading reviewed scientific journals and editions recommended by the Highest certifying commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (VAK) for publication of the main scientific results of theses for a competition of academic degrees of the doctor and candidate of science.

The journal is indexed RINTS, INDEX COPERNICUS, Science Index, Ulrich's

При перепечатке и цитировании ссылка на журнал «Проблемы анализа риска» обязательна. Присланные в редакцию материалы рецензируются и не возвращаются. Статьи, не оформленные в соответствии с Инструкцией для авторов, к рассмотрению не принимаются.

At a reprint and citing the reference to the "Issues of Risk Analysis" journal is obligatory. The materials sent to edition are reviewed and are not returned. Articles which are not issued according to the Instruction for authors are not taken cognizance.

Формат 60 × 84 1/8. Объем 12 печ. л. Печать офсетная.
Тираж 1000 экз.

Подписано в печать: 23.06.2023

Цена свободная

© Проблемы анализа риска, 2023

Отпечатано в типографии ООО «Белый ветер»,
115054, г. Москва, ул. Щипок, д. 28

Format 60 × 84 1/8. Volume is 12 print. pages. Offset printing.
Circulation is 1000 copies.

It is sent for the press: 26.06.2023

Free price

© Issues of Risk Analysis, 2023

It is printed in LLC Bely veter printing house,
28, Shchipok St., Moscow, 115054

Распространяется по подписке

Отдел подписки:
Тел.: +7 (495) 787-52-26
E-mail: journal@dex.ru

Подписной индекс:
Каталог «Пресса России» 15704

Extends on a subscription
Department of a subscription:
Tel: +7 (495) 787-52-26
E-mail: journal@dex.ru

Subscription index:
Press of Russia catalog 15704

<http://www.risk-journal.com>

 <https://vk.com/parjournal>

Наблюдательный совет

Махутов Николай Андреевич (председатель)

Член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, председатель Комиссии РАН по техногенной безопасности, г. Москва, Россия

Акимов Валерий Александрович (заместитель председателя)

Доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (ФЦ), главный научный сотрудник, г. Москва, Россия

Верещагин Виктор Владимирович

Кандидат исторических наук, член Совета директоров Международной ассоциации федераций риск-менеджмента (IFRIMA), Президент Русского общества управления рисками (РусРиск), г. Москва, Россия

Шарков Андрей Валентинович

Акционерное общество «Финансовый издательский дом «Деловой экспресс», генеральный директор, г. Москва, Россия

Редакционная коллегия

Быков Андрей Александрович (Главный редактор)

Доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, действительный член Русского общества управления рисками, г. Москва, Россия

Порфирьев Борис Николаевич (заместитель Главного редактора)

Доктор экономических наук, профессор, академик РАН, член Президиума РАН, научный руководитель, Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, г. Москва, Россия

Башкин Владимир Николаевич

Доктор биологических наук, профессор, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, главный научный сотрудник, г. Пушкино, Россия

Гианнопулос Костас

Доктор экономических наук (PhD), профессор, Университет Неаполиса, г. Пафос, Кипр

Голембиовский Дмитрий Юрьевич

Доктор технических наук, профессор, МГУ им. М.В. Ломоносова, профессор кафедры исследования операций факультета вычислительной математики и кибернетики, г. Москва, Россия

Грабуст Петерис

Доктор инженерных наук (PhD), профессор, Резекненская академия технологий, г. Резекне, Латвия

Елохин Андрей Николаевич

Доктор технических наук, член-корреспондент РАЕН, действительный член Академии геополитических проблем, Ассоциация риск-менеджмента «Русское общество управления рисками», первый вице-президент, г. Москва, Россия

Каранина Елена Валерьевна

Доктор экономических наук, доцент, член-корреспондент Российской академии естествознания, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», заведующий кафедрой финансов и экономической безопасности, г. Киров, Россия

Колесников Евгений Юрьевич

Доктор технических наук, доцент, профессор Высшей школы техносферной безопасности, СПбПУ им. Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

Луцци Хорхе Даниэль

Доктор экономических наук, RCG (Herco), генеральный директор. APOGERIS, Президент. г. Лиссабон, Португалия

Supervisory Council

Makhutov Nikolay Andreevich (Chairman)

Corresponding member of RAS, Doctor of technical Sciences, Professor, Chairman of the RAS Commission on Technogenic Safety, Moscow, Russia

Akimov Valery Aleksandrovich (Deputy Chairman)

Doctor of technical Sciences, Professor, honored scientist of Russia, All-Russian research Institute for civil defense and emergency situations of EMERCOM of Russia, Chief researcher, Moscow, Russia

Vereshchagin Victor Vladimirovich

Candidate of Historical Sciences, President of the Russian Risk Management Society (RusRisk), member of the Board of Directors of the International Association of Risk Management Federations (IFRIMA), Moscow, Russia

Sharkov Andrey Valentinovich

Joint stock company "Financial publishing house "Business Express", General Director, Moscow, Russia

Editorial Board

Bykov Andrey Aleksandrovich (Editor-in-Chief)

Doctor of physics and mathematics, Professor, honored scientist of Russia Federation, full member of the Russian Risk Management Society, Moscow, Russia

Porfiriev Boris Nikolayevich

(Deputy Editor-in-Chief)
Doctor of Economics, Professor, Academician of RAS, Member Presidium of the RAS, scientific director, Institute of economic forecasting of RAS, Moscow, Russia

Bashkin Vladimir Nikolaevich

Doctor of biological Sciences, Professor, Institute of physico-chemical and biological problems of soil science RAS, Pushchino, Russia

Giannopoulos Kostas (PhD)

Doctor of Economics, professor, Neapolis University, Paphos, Cyprus

Golembiovsky Dmitry Yuryevich

Doctor of technical Sciences, Professor, MSU named after M. V. Lomonosov, Professor, Department of operations research Faculty of computational mathematics and cybernetics, Moscow, Russia

Grabusts Peter

Professor, Dr. sc. ing. (PhD), Rezekne Academy of Technologies, Rezekne, Latvia

Elokhin Andrey Nikolaevich

Doctor of technical Sciences, corresponding member of RANS, full member of the Academy of Geopolitical Problems, Risk Management Association "Russian Risk Management Society", First Vice President, Moscow, Russia

Karanina Elena Valerevna

Doctor of Economics, Associate Professor, corresponding member of the Russian Academy of Natural Sciences, Vyatka state University, head of the Department of finance and economic security, Kirov, Russia

Kolesnikov Evgeny Yuryevich

Doctor of technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Higher School of Technosphere safety, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Luzzi Jorge Daniel

Doctor of Economics, RCG (Herco), CEO. APOGERIS, President. Lisbon, Portugal

Макашина Ольга Владиленовна

Доктор экономических наук, профессор, Финансовый университет при Правительстве РФ, профессор Департамента общественных финансов, г. Москва, Россия

Малышев Владлен Платонович

Доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (ФЦ), главный научный сотрудник, г. Москва, Россия

Мельников Александр Викторович

Доктор физико-математических наук, профессор, Университет провинции Альберта, профессор факультета математических и статистических наук, г. Эдмонтон, Канада

Морозко Нина Иосифовна

Доктор экономических наук, профессор, Финансовый университет при Правительстве РФ, профессор кафедры «Денежно-кредитные отношения и монетарная политика», г. Москва, Россия

Помазанов Михаил Вячеславович

Кандидат физико-математических наук, Руководитель подразделения валидации. ПАО Промсвязьбанк, Дирекция «Риски», г. Москва, Россия

Ревич Борис Александрович

Доктор медицинских наук, профессор, нобелевский лауреат в составе Межправительственной группы экспертов по изменению климата, Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, руководитель лаборатории прогнозирования качества окружающей среды и здоровья населения, г. Москва, Россия

Ротштейн Александр

Доктор технических наук, профессор кафедры промышленного машиностроения и Управления, Иерусалимский технологический колледж, г. Иерусалим, Израиль

Сорогин Алексей Анатольевич

Кандидат технических наук, Акционерное общество «Финансовый издательский дом «Деловой экспресс», директор по специальным проектам, г. Москва, Россия

Сосунов Игорь Владимирович

Кандидат технических наук, доцент, ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (ФЦ), заместитель начальника, г. Москва, Россия

Фалеев Михаил Иванович

Кандидат политических наук, помощник начальника отряда ФГКУ «Государственный центральный аэромобильный спасательный отряд», г. Жуковский, Россия

Шевченко Андрей Владимирович

Доктор технических наук, профессор, Главный научный сотрудник лаборатории управления рисками и страхования, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», г. Москва, Россия

Makashina Olga Vladilenovna

Doctor of Economics, Professor, Financial University under the Government of the Russian Federation, Professor, Department of public Finance, Moscow, Russia

Malyshev Vladlen Platonovich

Doctor of chemical Sciences, Professor, honored scientist of Russia Federation, All-Russian research Institute for civil defense and emergency situations of EMERCOM of Russia, Chief researcher, Moscow, Russia

Melnikov Alexander Viktorovich

Doctor of physical and mathematical Sciences, Professor, Professor of the faculty of mathematical and statistical Sciences, University of Alberta, Edmonton, Canada

Morozko Nina Iosifovna

Doctor of Economics, Professor, Financial University under the Government of the Russian Federation, Professor of the Department "Monetary relations and monetary policy", Moscow, Russia

Pomazanov Mikhail Vyacheslavovich

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of Validation Unit, PJSC Promsvyazbank, Management "Risks", Moscow, Russia

Revich Boris Aleksandrovich

Doctor of medicine, Professor, Nobel Laureate in the Intergovernmental Panel on Climate Chang, Institute of economic forecasting of RAS, Head of the laboratory of environmental and public health forecasting, Moscow, Russia

Rotshtein Alexander

Doctor of technical science, Professor of Dept. of Industrial Engineering and Management, Jerusalem, Israel

Sorogin Alexey Anatolievich

Candidate of technical Sciences, Joint stock company "Financial publishing house "Business Express", Director of special projects, Moscow, Russia

Sosunov Igor Vladimirovich

Candidate of technical Sciences, Associate Professor, All-Russian research Institute for civil defense and emergency situations of EMERCOM of Russia, Deputy chief, Moscow, Russia

Faleev Mihail Ivanovich

Candidate of political Sciences, assistant to the chief of group Federal public treasury institution "State central airmobile rescue group". Zhukovsky, Russia

Shevchenko Andrey Vladimirovich

Doctor of Engineering, Professor, Chief researcher of laboratory of risk management and insurance, LLC Gazprom VNIIGAZ, Moscow, Russia

Content

Editor's Column

- 8 Energy Efficiency as a Measure of Ecological Risks
Vladimir N. Bashkin, Associate Editor

Ecological Risk

- 10 Assessment of Environmental Risk from Radioactive Pollution of the Environment
Ivan I. Kryshev, Nadezhda N. Pavlova, Tatyana G. Sazykina, Alexander I. Kryshev, Irina V. Kosykh, Anna A. Buryakova, Nelly A. Rosnovskaya, Research and Production Association "Typhoon", Obninsk, Kaluga region, Russia
- 28 Life Cycle Analyses of Fertilizers: Carbon Emissions as a Measure of Energy Efficiency
Vladimir N. Bashkin, Andrey O. Alekseev, Institute of Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Moscow region, Russia

Health Risk

- 50 Factors of Air Quality Reduction in Public and Residential Premises
Vladlen P. Malyshev, Oleg V. Vinogradov, Igor A. Rodionov, All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

Risk Epidemiological

- 60 Mathematical and Statistical Model for Assessing the Impact of COVID-19 Waves on the Regional System (on the Example of the Kirov Region)
Larisa V. Karaulova, Kirov State Medical University, Kirov, Russia
Vasily M. Karaulov, Vyatka State University, Kirov, Russia
Alexey V. Vishnyakov, Kirov State Medical University, Kirov, Russia

Security of Complex Technical Systems

- 72 Assessment of the Individual Risk of Injury to Service Personnel During the Operation of Complex Technical Systems Using a Simulation Model
Evgeny A. Andreev, Roman M. Vivchar, Dmitry V. Reshetnikov, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky, St. Petersburg, Russia

Financial Security

- 82 Indicative Systems for Assessing the Financial Security of Business Entities: Disadvantages and Development Prospects
Lyudmila P. Koroleva, Anastasia M. Pankrukhina, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Содержание

Колонка редактора

- 8 Энергоэффективность как мера экологических рисков
Башкин В.Н., член редколлегии

Риск экологический

- 10 Оценка экологического риска от радиоактивного загрязнения окружающей среды
Крышев И.И., Павлова Н.Н., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Косых И.В., Бурякова А.А., Росновская Н.А., Научно-производственное объединение «Тайфун», Россия, Калужская область, г. Обнинск
- 28 Анализ жизненного цикла удобрений: эмиссия углекислого газа как показатель энергоэффективности
Башкин В.Н., Алексеев О.А., Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Россия, Московская обл., г. Пушкино

Риск для здоровья

- 50 Факторы снижения качества воздуха в общественных и жилых помещениях
Мальшев В.П., Виноградов О.В., Родионов И.А., Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий), Россия, г. Москва

Риск эпидемиологический

- 60 Математико-статистическая модель оценки влияния волн COVID-19 на региональную систему (на примере Кировской области)
Караулова Л.В., Кировский государственный медицинский университет, Россия, г. Киров
Караулов В.М., Вятский государственный университет, Россия, г. Киров
Вишняков А.В., Кировский государственный медицинский университет, Россия, г. Киров

Безопасность сложных технических систем

- 72 Оценивание индивидуального риска травматизма обслуживающего персонала при эксплуатации сложных технических систем с помощью имитационной модели
Андреев Е.А., Вивчарь Р.М., Решетников Д.В., Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Россия, г. Санкт-Петербург

Финансовая безопасность

- 82 Индикативные системы оценки финансовой безопасности хозяйствующих субъектов: недостатки и перспективы развития
Королева Л.П., Панкрухина А.М., Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Россия, г. Москва

<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-8-9>

ISSN 1812-5220

© Проблемы анализа риска, 2023

Энергоэффективность как мера экологических рисков

Башкин В.Н.,
член редколлегии

Для цитирования: Башкин В.Н. Энергоэффективность как мера экологических рисков // Проблемы анализа риска. 2023. Т. 20. № 3. С. 8—9, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-8-9>

Energy Efficiency as a Measure of Ecological Risks

Vladimir N. Bashkin,
Associate Editor

For citation: Bashkin V.N. Energy efficiency as a measure of ecological risks // Issues of Risk Analysis. 2023;20(3):8-9, (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-8-9>

В контексте глобального изменения климата и с учетом увеличения антропогенных выбросов парниковых газов (ПГ) устойчивость различных систем, включая системы продуктовой и экологической безопасности, может быть повышена за счет увеличения эффективности использования энергоресурсов. В частности, при рассмотрении различных агротехнологических приемов сокращения выбросов ПГ и увеличения секвестрации углерода потенциалом сокращения выбросов в значительной степени пренебрегали. Энергоэффективность также не всегда рассматривается в качестве ключевого процесса управления эмиссиями ПГ.

Приведенные в этом номере журнала материалы свидетельствуют о ключевой роли энергоэффективности на протяжении всего жизненного цикла в системе «производство удобрений — логистика — применение в агроэкосистемах — использование отходов». Величины эмиссии ПГ при этом выступают лишь в качестве меры данной энергоэффективности. Далее, переработка агропромышленных отходов и сырья с помощью различных процессов (компостирование, производство биоэнергии, биоуглей, биогеохимическое рециклирование питательных элементов) также может дать существенное снижение эмиссии ПГ. Однако это также может потенциально привести к выбросам парниковых газов в результате процессов компостирования и транспортировки материалов. Но эти процессы дают положительный эффект как непосредственно за счет связывания

углерода, так и косвенно благодаря предотвращению последствий удаления отходов, улучшению качества почвы и минимизации потерь почвы.

В целом увеличение энергоэффективности в рассматриваемом жизненном цикле удобрений, от производства до утилизации агроотходов, может существенно снизить роль сельскохозяйственного производства в нежелательной эмиссии ПГ. Следует особо подчеркнуть, что снижение потенциала эмиссии ПГ при производстве удобрений зависит от источника используемой энергии, и перевод энергоустановок с угля на газ, тем более ВИЭ, будет наиболее значимым при максимальном использовании природного газа как для выработки энергии, так и для производства минеральных удобрений. При выращивании продукции очень большую роль играют факторы, связанные с применением современных систем земледелия, основанных на точном внесении удобрений, использовании электронных почвенных карт и повышении эффективности использования удобрений, в частности азота и фосфора.

Как правило, выбросы парниковых газов связаны с эмиссией CO₂, а накопление этого газа в настоящее время регламентируется в основном для закрытых производственных, служебных и жилых помещений. В связи с этим важна оценка влияния углекислого газа на качество воздуха в помещениях. Межгосударственный стандарт ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» определяет классы качества воздуха исходя

из содержания углекислого газа в воздухе жилых и общественных помещений. Согласно данному межгосударственному стандарту качество воздуха относится к низкому при содержании углекислого газа более 1000 ppm. Растворенный в крови углекислый газ активирует дыхательный центр мозга в физиологических и несколько повышенных концентрациях. Повышение концентрации, вплоть до 2000—4000 ppm, в помещениях приводит к развитию у людей сонливости и слабости. В значительно более высоких концентрациях он приводит к снижению или устранению рефлекторного респираторного раздражителя, сначала к угнетению дыхания и, наконец, к остановке дыхания. Проведены результаты экспериментальных исследований динамики изменения концентрации углекислого газа в воздухе помещения, и дана оценка риска для здоровья человека. Показано, что для снижения риска необходимо принятие организационных или технических решений на основе моделирования динамики изменения концентрации углекислого газа в зависимости от условий пребывания людей в помещениях. Важно также и соотношение параметров энергообмена и энергосбережения.

В ряде случаев необходимо также увеличивать закрытость систем, например, в случае оценки экологических рисков от радиоактивного загрязнения окружающей среды в районе размещения радиационно опасных объектов предлагается использовать следующие показатели: максимальный индекс экологического риска на представительные организмы биоты; интегральный показатель загрязнения, представляющий собой сумму отношения содержания радионуклидов к контрольному уровню. Вместе с тем в некоторых задачах, например в процедуре оценки воздействия на окружающую среду, целесообразно применять индекс экологического риска, основанный на оценке мощности дозы облучения представительных организмов биоты, напрямую характеризующий радиационную безопасность окружающей среды.

Исследование показало, что распространение заболеваемости COVID-19 неплохо моделируется при помощи суперпозиции нескольких локальных волн, которые, в частности, могут описывать распространение различных штаммов COVID-19. Представлена разработка модели динамики общего числа заболевших и новых случаев заболеваемости COVID-19 с учетом волн эпидемии и влияния на региональную социально-экономическую систему. Исследование показало возможность адекватного прогнозирования распространения заболевания и оценки социально-экономических последствий. В частности, на пике

волны заболевания возможен критический уровень загрузки коечного фонда системы здравоохранения, а временное выбытие из-за заболевания рабочей силы может в разы превышать уровень безработицы.

В процессе выработки качественного решения по формированию перечня и параметров мероприятий программы обеспечения безопасности необходимо оценивать показатели индивидуального риска, что осложнено наличием различных неопределенностей, которые обуславливают появление индивидуального риска при эксплуатации оборудования. В материалах данного номера представлена имитационная модель, позволяющая оценивать показатели индивидуального риска гибели (травматизма) обслуживающего персонала при эксплуатации оборудования в целях формирования программы обеспечения безопасности. Разработанная имитационная модель позволяет повысить адекватность оценки показателя индивидуального риска: индивидуального риска гибели (травмы) и/или нанесения вреда здоровью обслуживающего персонала. Работоспособность методологии продемонстрирована на примере получения электротравмы обслуживающим персоналом при эксплуатации системы электроснабжения.

Финансовая безопасность предприятий также во многом зависит от их энергоэффективности. В настоящий момент ключевыми недостатками большинства систем индикаторов, применяемых для оценки финансовой безопасности, являются наличие качественных показателей, расчет которых субъективен, а также наличие количественных показателей, расчет которых недоступен для внешних пользователей отчетности компании. Самым весомым недостатком является игнорирование отраслевой специфики. Значимость такого фактора, как отраслевая принадлежность, видна из пороговых значений интегрированного показателя уровня финансовой безопасности, которые, например, существенно ниже в случае сельскохозяйственных компаний, особенно при низкой энергоэффективности большинства из них.

Эти и другие темы, рассмотренные в данном номере журнала «Проблемы анализа риска», еще раз подчеркивают необходимость проведения интеграционных исследований при оценке экологического риска и связанного во многом с ним риска для здоровья человека. При этом в числе причин возникновения этих рисков могут быть различные факторы, от природных до производственных и финансово-экономических, а интегральным показателем может служить энергоэффективность систем.

УДК 502.53:504.055:504.064
<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-10-26>

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2023

Оценка экологического риска от радиоактивного загрязнения окружающей среды

Крышев И.И.,
Павлова Н.Н. *,
Сазыкина Т.Г.,
Крышев А.И.,
Косых И.В.,
Бурякова А.А.,
Росновская Н.А.,

Научно-производственное
объединение «Тайфун»,
249038, Россия, Калужская
область, г. Обнинск,
ул. Победы, д. 4

Аннотация

В статье представлена методология оценки риска от радиоактивного загрязнения окружающей среды по данным мониторинга радиационной обстановки на основе показателей радиационного фона и контрольных уровней содержания радионуклидов в компонентах природной среды, не превышение которых обеспечивает сохранение благоприятной окружающей среды. В методологии оценки риска используются три показателя: индекс экологического риска, рассчитываемый по мощности дозы облучения референтных организмов биоты; интегральный показатель загрязнения территории; обобщенный показатель риска, оцениваемый в баллах с учетом интенсивности радиационного воздействия, площади и временной динамики загрязнения. Приведены примеры апробации методологии оценки экологического риска на загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС территориях и в районах расположения радиационно опасных объектов. Предложенный порядок оценки экологического риска может быть использован для анализа и интерпретации информации о радиационных рисках на территории Российской Федерации по данным мониторинга радиационной обстановки с учетом требований в области охраны окружающей среды, оценки состояния и изменений радиационной обстановки под воздействием природных и антропогенных факторов, в т. ч. в районах расположения радиационных объектов, получения достоверной информации об интегральном уровне радиационного воздействия на окружающую среду и ее интерпретации на основе концепции экологического риска.

Результаты оценки риска от радиоактивного загрязнения окружающей среды могут использоваться при выработке и принятии решения о необходимости проведения природоохранных мероприятий, а также позволяют выполнить ранжирование факторов радиационного воздействия и рационально организовать мониторинг радиационной обстановки.

Ключевые слова: экологический риск; радионуклиды; радиационно опасный объект; мониторинг радиационной обстановки; контрольный уровень; интегральный показатель загрязнения; обобщенный показатель риска.

Для цитирования: Крышев И.И., Павлова Н.Н., Сазыкина Т.Г. и др. Оценка экологического риска от радиоактивного загрязнения окружающей среды // Проблемы анализа риска. 2023. Т. 20. № 3. С. 10—26, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-10-26>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Assessment of Environmental Risk from Radioactive Pollution of the Environment

Ivan I. Kryshev,
Nadezhda N. Pavlova*,
Tatyana G. Sazykina,
Alexander I. Kryshev,
Irina V. Kosykh,
Anna A. Buryakova,
Nelly A. Rosnovskaya,
Research and Production
Association "Typhoon",
Pobedy str., 4, Obninsk,
Kaluga region, 249038, Russia

Abstract

The article presents a methodology for assessing the risk of radioactive contamination of the environment according to the data of radiation monitoring. The methodology is based on the indicators of radiation exposure and control levels of radionuclides in environmental components, the non-exceeding of which ensures the safety of natural environment. The risk assessment methodology uses three indicators: an environmental risk index, based on radiation dose rates to reference biota; an integral indicator of pollution of the territory; a generalized risk indicator, estimated in scores, considering both the area and time dynamics of pollution. Examples of methodology application are given, presenting risk assessment for Chernobyl contaminated territories, also risk assessment for radiation hazardous facilities. The proposed risk assessment procedure can be used to analyzing and interpreting information about radiation risks on the territory of the Russian Federation based on radiation monitoring data, taking into account the requirements of environmental protection, assessment of the state and changes in the radiation situation under the influence of natural and anthropogenic factors, including radiation facilities. The methodology produces reliable integral information about radiation impact on the environment and its interpretation based on the concept of environmental risk.

The results of the risk assessment from radioactive pollution of the environment are used in the development and decision-making on the need for environmental protection measures, and also make it possible to rank the factors of radiation exposure and rationally organize monitoring of the radiation situation.

Keywords: environmental risk; radionuclides; radiation hazardous object; monitoring of radiation situation; control level; integral pollution indicator; generalized risk indicator.

For citation: Kryshev I.I., Pavlova N.N., Sazykina T.G. et al. Assessment of environmental risk from radioactive pollution of the environment // *Issues of Risk Analysis*. 2023;20(3):10-26, (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-10-26>

The authors declare no conflict of interest.

Содержание

Введение

1. Методология анализа радиационного риска
2. Показатели оценки радиационного экологического риска
3. Порядок оценки обобщенного показателя риска

Заключение

Литература

Введение

Одной из основных целей системы мониторинга загрязнения окружающей среды техногенными радионуклидами являются своевременное выявление изменений радиационной обстановки, оценка, прогнозирование и предупреждение возможных негативных последствий радиационного воздействия для окружающей среды.

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 10 июля 2014 г. № 639¹ оценки и прогноз экологических рисков, обусловленных радиоактивным загрязнением окружающей среды, являются важным принципом функционирования системы мониторинга и ее функциональных подсистем.

Интегральным показателем состояния радиационной обстановки является риск от радиоактивного загрязнения окружающей среды. В современных международных основных нормах безопасности [1], являющихся базовым документом для обновления и переработки национальных норм радиационной безопасности, сформулирован принцип защиты нынешних и будущих поколений и окружающей среды от радиационных рисков, а также выдвинуто требование о необходимости подтверждения (а не гипотетического предположения) о защите окружающей среды от воздействия радиоактивного загрязнения.

Основным достоинством предложенной методологии оценки риска является переход от множества натурных и расчетных данных к интегральным показателям, позволяющим сравнивать опасность различных составляющих загрязнения окружающей среды, оптимизировать принятие практических решений в области охраны окружающей среды и планирования природоохранных мероприятий в районах размещения радиационно опасных объектов.

1. Методология анализа радиационного риска

Методология анализа риска, обусловленного радиоактивным загрязнением окружающей среды, основана на следующих принципах [2, 3]:

- интегральность оценки — методология анализа риска является современным средством интегральной оценки качества окружающей среды;
- системность — анализируются множественные пути радиационного воздействия на природные объекты и человека;
- надежность (консервативность) — в качестве входных используются обобщенные данные радиационного мониторинга, недостающие параметры измеряются дополнительно или оцениваются с помощью радиоэкологических моделей, не допускающих занижение оценки риска;
- практическая значимость — результаты анализа риска используются для обоснования принятия решений в области радиационно-экологической безопасности.

Анализ радиационного риска включает в себя следующие этапы [3]: идентификация источников риска, анализ данных радиационного мониторинга и модельных оценок переноса радионуклидов в окружающей среде, оценка радиационного риска, категоризация (характеристика) риска, представление результатов анализа для управления риском. Функциональная схема анализа риска представлена на рис. 1 [2].

Консервативно предполагается, что потенциально все радионуклиды, поступающие в окружающую среду, могут быть источниками риска. В соответствии с принципом системности первоначально рассматриваются все возможные пути радиационного воздействия: поступление радионуклидов в атмосферу, водные объекты, почву и биоту в результате выбросов и сбросов, радиоактивное загрязнение территорий в результате предшествующей деятельности объектов, в том числе в результате радиационных аварий и инцидентов, возможность радиационного воздействия вследствие трансграничного переноса радионуклидов.

На последующем этапе подготавливаются обобщенные данные для оценки риска. Анализируются и обобщаются данные мониторинга Росгидромета и других организаций о содержании радионукли-

¹ Постановление Правительства Российской Федерации от 10 июля 2014 г. № 639 «О государственном мониторинге радиационной обстановки на территории Российской Федерации» (ред. от 23.03.2021 и 18.01.2022).

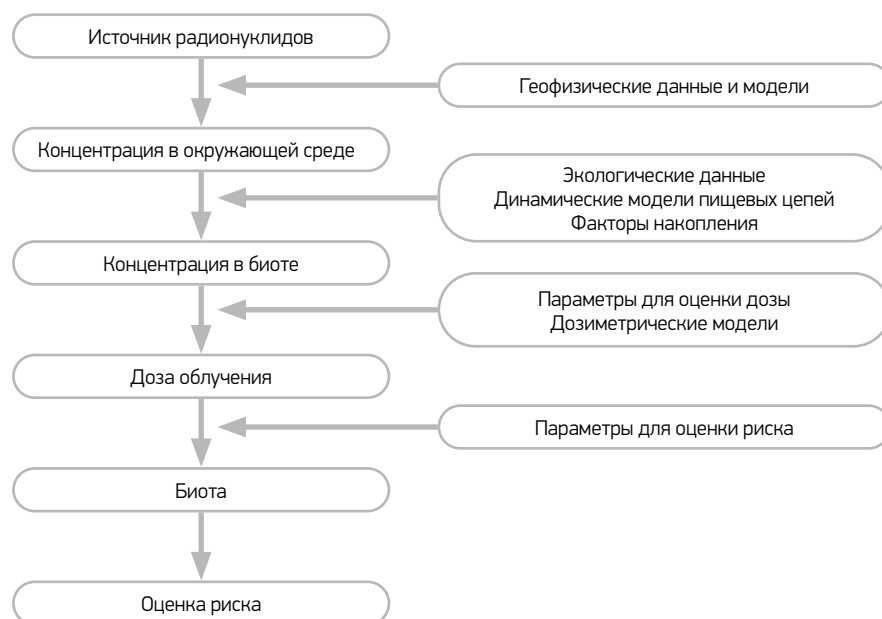


Рис. 1. Схема анализа радиационно-экологического риска

Figure 1. Scheme of radiation and environmental risk analysis

дов в атмосфере, почве, воде и биоте на изучаемой территории. Выполняются статистические оценки содержания радионуклидов в компонентах природной среды, которые в дальнейшем используются для анализа радиационного риска.

Для недостающих значений входных параметров выполняются оценки при помощи консервативных моделей, которые в соответствии с принципом надежности не должны занижать последующих оценок риска. В случае необходимости проводится дополнительное радиоэкологическое обследование территории.

На этапе оценки риска определяются возможные пути и продолжительность радиационного воздействия. Оцениваются значения параметров моделей анализа радиационного риска. Выполняются расчеты риска с учетом множественных путей радиационного воздействия.

На этапе категоризации риска производится интерпретация полученных результатов, включая выявление ограничений и неопределенностей используемых моделей и данных. Сравнение оцененных рисков с другими существенными (релевантными) рисками на рассматриваемой территории, включая риски от естественного радиационного фона, также составляет часть категоризации риска.

Результаты оценки риска используют при разработке и принятии решения о степени снижения или необходимости ограничения риска. Приемлемый риск может выражаться через производные параметры, такие как допустимая удельная активность радионуклидов в компонентах природной среды. В процессе управления наряду с оцененным риском могут учитываться экологические, экономические и социальные факторы.

Управление риском осуществляется с помощью основных принципов обеспечения радиационной безопасности: нормирования, обоснования и оптимизации².

Расчетная оценка радиационного риска выполняется на основе обобщенных данных радиоэкологического мониторинга компонентов природной среды. В соответствии с принципом системности — необходимости учета множественных путей радиационного воздействия рассматривается каждый из них и оценивается его роль в формировании риска.

При определении ориентировочных уровней риска на начальном этапе анализа во избежание

² Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. М., 2009. 67 с.

занижения степени радиационной опасности, как правило, следует ориентироваться на оценку разумно обоснованного максимального воздействия. В качестве меры удельной концентрации радионуклида в компоненте природной среды в этом случае рекомендуется использовать 95%-ную верхнюю доверительную границу среднего значения за период усреднения (обычно за год), или 95-й процентиль при неизвестном типе статистического распределения. В качестве фоновой удельной активности радионуклида в компоненте природной среды принимается его статистически достоверное максимальное содержание на фоновом участке, которое не превышает в 5% случаев [4].

Средняя удельная активность радионуклида в компонентах природной среды в зоне наблюдений (или 50-й процентиль при неизвестном типе статистического распределения) применяется в тех случаях, когда целью анализа является оценка главной тенденции. При отсутствии или недостаточности данных о содержании радионуклидов в компонентах природной среды выполняются модельные оценки с помощью радиоэкологических моделей.

При одновременном наличии в окружающей среде нескольких радионуклидов риск рассчитывается сначала для каждого исследуемого радионуклида, затем для смеси в целом. В случае недостаточности данных может оцениваться риск как по отдельным путям воздействия, так и суммарный, на основе анализа сценариев множественных путей радиационного воздействия.

Сценарий воздействия составляется исходя из целей оценки риска, результатов радиационного мониторинга, концептуальной модели исследуемой территории и представляет собой совокупность фактов, допущений и экспертных заключений о том, каким образом происходит воздействие. Он включает в себя облучаемые контингенты природных объектов и населения, условия и пути радиационного воздействия. Наиболее консервативные сценарии, позволяющие провести ориентировочную оценку риска с использованием данных мониторинга и консервативных модельных оценок распределения радионуклидов в компонентах природной среды, рекомендуется использовать на начальном этапе идентификации источников риска.

Неопределенности в оценках риска зависят от неопределенности данных мониторинга и модельных оценок. Наибольшие неопределенности характерны для консервативных моделей, использующих в качестве входных данных информацию об источнике радиоактивного выброса или сброса. Такие модели, как правило, описывают перенос радионуклидов в компонентах природной среды со значительной неопределенностью. Использование непосредственно данных мониторинга позволяет существенно уменьшить неопределенность оценки радиационного риска.

Результаты оценки риска используются для сравнительной оценки воздействия различных факторов окружающей среды на разных территориях, в разные временные периоды, в том числе для оценки долговременного радиационного воздействия пунктов размещения и консервации особых РАО на окружающую среду.

В качестве основного экологического критерия радиационного риска принимается максимально допустимая мощность дозы, не приводящая к воздействию на заболеваемость, размножение и продолжительность жизни организмов биоты, — предельно допустимая радиационная нагрузка (ПДРН): 1 мГр/сут для млекопитающих, позвоночных животных и сосны обыкновенной *Pinus sylvestris*, 10 мГр/сут для растений, кроме сосны, и беспозвоночных животных [5, 6].

В соответствии с постулатом порогового действия ионизирующего излучения на объекты живой природы при непревышении ПДРН сохраняются живучесть популяций и видовое разнообразие, являющееся одним из важных интегральных параметров биотического сообщества как в естественном состоянии, так и в условиях антропогенного воздействия. Данный параметр характеризуется высокой социальной и экологической значимостью, чувствительностью к источнику радиационного воздействия и является, по существу, синонимом качества окружающей среды.

В качестве дополнительного критерия содержание радионуклидов в компонентах природной среды ограничивается уровнями, при которых происходит их переход в категорию радиоактивных отходов.

2. Показатели оценки радиационного экологического риска

Для оценки радиоэкологической обстановки используются следующие показатели радиационного экологического риска:

- индекс экологического риска — отношение мощности дозы облучения представительных организмов к ПДРН (безразмерный);
- интегральный показатель загрязнения природной среды (почва, вода, донные отложения, атмосферный воздух), представляющий собой сумму отношений содержания радионуклидов в природной среде к их контрольным уровням, рассчитаным на основе указанных критериев в соответствии с рекомендациями [7—11];
- обобщенный показатель риска в исследуемом районе с учетом пространственного масштаба, продолжительности и интенсивности радиационного воздействия [12—14].

Индекс экологического риска рассчитывается по формуле

$$\text{ИЭР} = \frac{D_i}{\text{ПДРН}_i}, \quad (1)$$

где D_i — мощность дозы облучения i -го референтного организма, мГр/сут, определяемая в соответствии с [5, 6, 15]; ПДРН_i — предельно допустимая радиационная нагрузка для i -го референтного организма, мГр/сут.

В качестве референтных выбираются следующие организмы [6]: почвенные беспозвоночные, наземные млекопитающие, травянистая растительность, деревья, птицы, земноводные, макроводоросли, рыба (пелагическая и придонная), бентос, водные млекопитающие. Для консервативной оценки в качестве показателя экологического риска выбирается максимальный из рассчитанных ИЭР.

Представленный метод оценки риска от радиационного загрязнения компонентов природной среды апробирован для широкого круга объектов. В качестве примера рассмотрим Ольховское болото, в которое через искусственный канал на протяжении всего периода работы Белоярской АЭС осуществляется штатный сброс радиоактивных веществ. Ольховское болото задерживает радионуклиды и уменьшает их попадание в р. Пышму. Тер-

ритория Ольховского болота включена в санитарно-защитную зону Белоярской АЭС, ее хозяйственное или рекреационное использование населением исключено. Ольховское болото с вытекающей из него р. Ольховкой является единственным участком в районе расположения Белоярской АЭС, в котором превышены фоновые значения в поверхностной воде, Бк/л: $1,1 \cdot 10^{-2}$ для ^{137}Cs , $1,6 \cdot 10^{-2}$ — ^{90}Sr . Суммарная активность ^{137}Cs и ^{60}Co в донных отложениях оценивается 0,2 ТБк и 2,4 ГБк соответственно [16, 17].

Динамика мощности дозы облучения представительных видов Ольховской болотно-речной экосистемы в 2000—2020 гг. показана на рис. 2. Наибольшая за рассмотренный период времени мощность дозы облучения отмечалась в 2004 г. Для представительных организмов она достигала следующих значений, мГр/сут: 0,025 — бобр, 0,019 — тростник, 0,017 — лягушка, 0,016 — утка, 0,015 — прудовик, 0,012 — ива козья. Вклад внутреннего облучения в мощность дозы составляет, %: 59 — бобр, 28 — ива козья, 21 — утка, 20 — тростник, 14 — лягушка, 0,1 — прудовик.

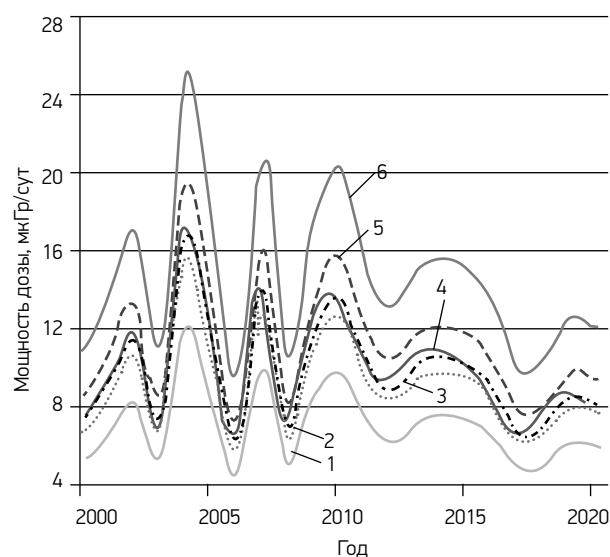


Рис. 2. Мощность дозы облучения представительных организмов Ольховской болотно-речной экосистемы: 1 — ива козья; 2 — прудовик; 3 — утка; 4 — лягушка; 5 — тростник; 6 — бобр

Figure 2. Radiation dose rate of representative organisms of the Olkhovskaya swamp-river ecosystem: 1 — goat willow; 2 — pond; 3 — duck; 4 — frog; 5 — reed; 6 — beaver

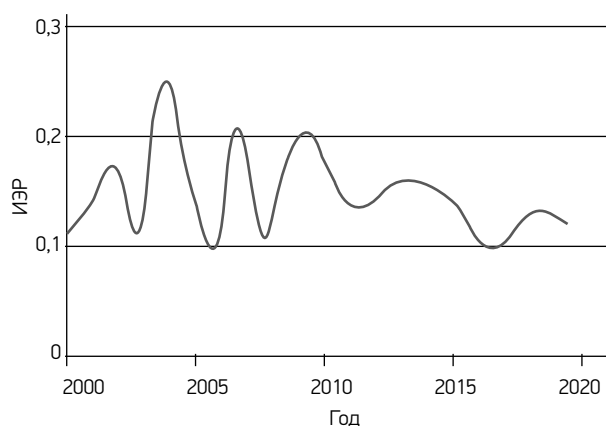


Рис. 3. Динамика индекса экологического риска для наземного млекопитающего (бобра) Ольховской болотно-речной экосистемы

Figure 3. The dynamics of the radiation risk index for a terrestrial mammal (beaver) of the Olkhovskaya swamp-river ecosystem

Наиболее высокий показатель риска из всех представительных организмов экосистемы (0,1–0,25) оценен для наземного млекопитающего бобра (см. рис. 3). Это обусловлено как наиболее высокой мощностью дозы облучения ^{137}Cs по сравнению с другими представительными организмами,

так и наиболее низким допустимым уровнем мощности дозы для млекопитающих (см. рис. 2). Максимальный показатель риска для других представительных организмов отмечался в 2004 г., составляя, 10^{-2} : 1,7 для лягушки, 1,6 — утки, 0,15 — прудовика, 0,19 — тростника, 0,12 — ивы козьей. В 2020 г. показатель риска варьировал в диапазоне от $5,8 \cdot 10^{-4}$ (ива козья) до $1,2 \cdot 10^{-1}$ (бобр). На протяжении всего периода времени 2000–2020 гг. показатель риска для биоты Ольховской болотно-речной экосистемы оставался ниже единицы, что позволяет предположить отсутствие детерминированных радиобиологических эффектов, обусловленных радиоактивным загрязнением донных отложений [16].

Интегральный показатель загрязнения радионуклидами рассчитывается по формуле

$$\text{ИПЗ} = \sum_i \frac{A_i}{A_{k_i}}, \quad (2)$$

где A_i — удельная активность i -го радионуклида в воде, донных отложениях, почве, Бк/кг сырой массы, атмосферном воздухе, Бк/м³; A_{k_i} — контрольный уровень удельной активности i -го радионуклида с учетом экологического и радиационного

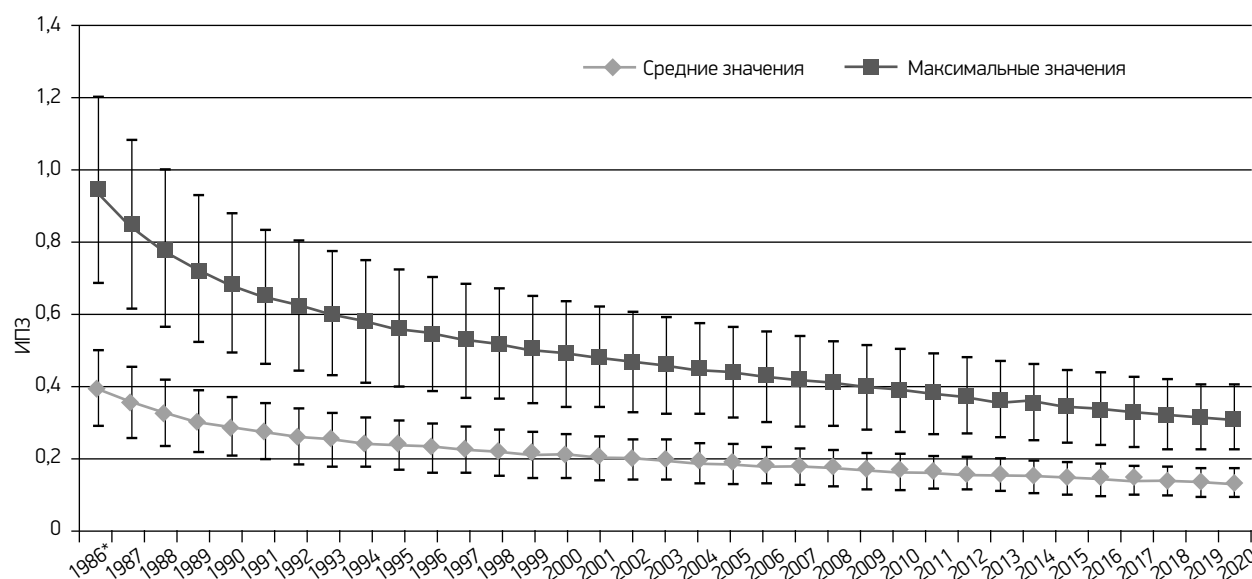


Рис. 4. Средние и максимальные значения ИПЗ для загрязненных участков в окрестностях населенных пунктов Гордеевского района Брянской области в динамике 1986–2020 гг. (*в 1986 г. данные за май — декабрь)

Figure 4. Average and maximum values of ERI for polluted sites in the vicinity of settlements of the Gordeyevsky district of the Bryansk region in the dynamics of 1986–2020 (in 1986, data for May — December)

Таблица 1. Оценка интегрального показателя загрязнения на территории аварийного чернобыльского следа в России (по данным на 2020 г.)*Table 1. Assessment of the integral indicator of pollution on the territory of the Chernobyl accident trail in Russia (according to data for 2020)*

Область/Район	ИПЗ (средний)	ИПЗ (максимальный)	Вклад в ИПЗ ^{137}Cs , %
Брянская			
Гордеевский	$0,13 \pm 0,02$	$0,32 \pm 0,04$ (1,9)	96
Злынковский	$0,17 \pm 0,03$	$0,45 \pm 0,09$ (1,3)	92
Клинцовский	$0,08 \pm 0,02$	$0,22 \pm 0,04$ (0,87)	95
Красногорский	$0,12 \pm 0,04$	$0,27 \pm 0,05$ (2,9)	92
Новozyбковский	$0,18 \pm 0,02$	$0,45 \pm 0,10$ (2,1)	96
Дубровский	$0,0027 \pm 0,0006$	$0,005 \pm 0,001$	91
Калужская			
Жиздринский	$0,031 \pm 0,006$	$0,065 \pm 0,012$ (0,20)	86
Ульяновский	$0,049 \pm 0,005$	$0,086 \pm 0,009$ (0,28)	93
Хвастовичский	$0,024 \pm 0,006$	$0,072 \pm 0,017$ (0,21)	89
Боровский	$0,0014 \pm 0,0005$	$0,0023 \pm 0,0007$	80
Тульская			
Арсеньевский	$0,048 \pm 0,003$	$0,085 \pm 0,005$ (0,25)	92
Белевский	$0,024 \pm 0,005$	$0,051 \pm 0,009$ (0,35)	84
Плавский	$0,054 \pm 0,009$	$0,11 \pm 0,04$ (0,53)	89
Заокский	$0,0021 \pm 0,0004$	$0,0054 \pm 0,0019$	90
Орловская			
Болховский	$0,034 \pm 0,003$	$0,052 \pm 0,005$ (0,16)	77
Урицкий	$0,015 \pm 0,002$	$0,026 \pm 0,004$ (0,09)	95
Новгородская	$0,0042 \pm 0,0006$	$0,0075 \pm 0,0015$	94

Примечание. В скобках максимальные значения ИПЗ на локальных наиболее загрязненных участках.

критериев. При $\text{ИПЗ} < 1$ выполняется условие сохранения благоприятной окружающей среды.

В целях оценки качества окружающей среды по уровню активности радионуклидов на территории аварийного чернобыльского следа были рассчитаны средние и максимальные значения ИПЗ (рис. 4, табл. 1) [18].

Согласно расчетным оценкам, многолетняя динамика изменений ИПЗ характеризуется постепенным снижением, в основном обусловленным процессами радиоактивного распада чернобыльских радионуклидов. Максимальные уровни ИПЗ имели

место в мае — декабре 1986 г. Наблюдается существенная неоднородность в распределении ИПЗ по территории аварийного следа для различных областей, а также в пределах одной области. Наиболее высокие значения ИПЗ отмечаются на территории Гордеевского, Злынковского, Клинцовского, Красногорского и Новозыбковского районов Брянской области. Значения ИПЗ в этих районах в среднем в 30—70 раз выше, чем в малозагрязненном Дубровском районе этой же области. В настоящее время значения ИПЗ на территории этих пяти районов в 2—12 раз ниже [18].

В отличие от Брянской области для других областей на территории аварийного чернобыльского следа не наблюдается превышение ПДРН даже на максимально загрязненных участках. В Калужской и Тульской областях значения ИПЗ в наиболее загрязненных районах в 10–40 раз ниже безопасного уровня, а в малозагрязненных районах — в 200–700 раз. Вклад ^{137}Cs в ИПЗ — 80–93%. В Орловской области значения ИПЗ в загрязненных районах в 20–70 раз ниже ПДРН, вклад ^{137}Cs в ИПЗ — 77–95%. В малозагрязненной Новгородской области ИПЗ в 100–200 раз ниже безопасного для биоты уровня [18].

Результаты расчетов интегральных показателей загрязнения техногенными радионуклидами воды и донных отложений Карского моря представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что все значения ИПЗ меньше 1. Показатель загрязнения воды радионуклидами в период с 1992 по 1996 г. составил $8,56 \cdot 10^{-4}$, в 2004–2012 гг. это значение снизилось в 3 раза и составило $2,68 \cdot 10^{-4}$. Показатель загрязнения донных отложений в 1992–1996 гг. составил $1,40 \cdot 10^{-3}$, а в 2004–2012 гг. уменьшился в 1,5 раза. Относительные вклады радионуклидов в индекс загрязнения воды и донных отложений Карского моря в рассмотренные периоды времени находились примерно на одном уровне [19].

Наряду с расчетом интегрального показателя на загрязненных участках оцениваются фоновые

значения, по данным мониторинга, на контрольном участке за пределами зон влияния радиационных объектов, вне зон воздействия радиационных аварий, повышенных выбросов и сбросов радиоактивных веществ в соответствии с рекомендациями [4].

В целях интегральной оценки радиоэкологической обстановки радиационное воздействие на природные объекты масштабируется с учетом рекомендаций [4, 5]:

- недопустимое воздействие, при котором доза облучения представительных организмов превышает безопасный уровень (индекс экологического риска больше или равен 1), или интегральный показатель загрязнения больше или равен 1;
- экологически приемлемое воздействие, при котором доза облучения представительных организмов не менее чем в 10 раз ниже ПДРН (индекс экологического риска меньше 0,1), или интегральный показатель загрязнения меньше 0,1;
- фоновое воздействие, при котором доза облучения представительных организмов значимо не отличается от радиационного фона.

Результаты оценки радиоэкологической обстановки используются при выработке и принятии решения о проведении природоохранных мероприятий. При радиационном воздействии ниже экологически приемлемого не требуются природоохранные мероприятия для обеспечения радиационной

Таблица 2. Значения интегральных показателей загрязнения воды и донных отложений Карского моря техногенными радионуклидами

Table 2. Values of integral indicators of pollution of water and bottom sediments of the Kara Sea by technogenic radionuclides

Компонент	1992—1996 гг.		2004—2012 гг.	
	ИПЗ	вклад радионуклида	ИПЗ	вклад радионуклида
Вода	$8,56 \cdot 10^{-4}$	^{137}Cs (18%)	$2,68 \cdot 10^{-4}$	^{137}Cs (10%)
		^{90}Sr (2%)		^{90}Sr (3%)
		$^{239,240}\text{Pu}$ (15%)		$^{239,240}\text{Pu}$ (9%)
		^{241}Am (65%)		^{241}Am (78%)
Донные отложения	$1,40 \cdot 10^{-3}$	^{137}Cs (12%)	$9,05 \cdot 10^{-4}$	^{137}Cs (10%)
		^{90}Sr (2%)		^{90}Sr (1%)
		$^{239,240}\text{Pu}$ (13%)		$^{239,240}\text{Pu}$ (12%)
		^{241}Am (73%)		^{241}Am (77%)

безопасности окружающей среды. Если индекс экологического риска или интегральный показатель загрязнения превышает уровень экологически приемлемого воздействия, но остается меньше уровня недопустимого воздействия, рекомендуют дополнительные исследования для снижения неопределенности оценки радиоэкологической обстановки. При превышении уровня недопустимого воздействия оценивается необходимость природоохранных мероприятий с учетом экологических, технологических и экономических факторов.

Показатели фонового радиационного воздействия используются для оценки влияния природных и техногенных факторов на радиоэкологическую обстановку путем сопоставления расчетных оценок индекса экологического риска и/или интегрального показателя загрязнения в исследуемом районе с фоновыми значениями.

3. Порядок оценки обобщенного показателя риска

С учетом опыта оценки воздействия на окружающую среду хозяйственной деятельности при определении обобщенного показателя риска принимаются во внимание пространственный масштаб, продолжительность и интенсивность радиационного воздействия [13, 14, 20, 21].

Расчет проводится по формуле

$$\text{ОПР} = A_{\text{пр}} \cdot A_{\text{вр}} \cdot \text{ИРВ}_6, \quad (3)$$

где $A_{\text{пр}}$ — коэффициент, учитывающий пространственный масштаб загрязнения территории, балл; $A_{\text{вр}}$ — коэффициент, учитывающий временной масштаб радиационного воздействия, балл; ИРВ_6 — показатель интенсивности радиационного воздействия, балл.

Пространственный масштаб радиационного воздействия определяется на основе данных мониторинга, модельных или экспертных оценок по следующим критериям:

- локальное воздействие на природную среду в районе размещения, санитарно-защитной зоне радиационного объекта или на территории площадью до 10 км^2 , $A_{\text{пр}} = 1$;
- местное воздействие на природную среду в зоне наблюдений радиационного объекта или на территории площадью до 100 км^2 , $A_{\text{пр}} = 2$;

- региональное воздействие за пределами зоны наблюдений радиационного объекта или на территории площадью свыше 100 км^2 , $A_{\text{пр}} = 3$.

Временной масштаб радиационного воздействия определяется на основе данных мониторинга, модельных или экспертных оценок по следующим критериям:

- кратковременное воздействие продолжительностью не более 1 месяца — 1 балл;
- воздействие продолжительностью не более 1 года — 2 балла;
- воздействие продолжительностью более 1 года — 3 балла.

Интенсивность радиационного воздействия определяется на основе расчетных оценок фоновых и максимальных индексов радиационной нагрузки или интегральных показателей загрязнения по данным мониторинга радиационной обстановки и моделирования по следующим критериям:

- незначительное воздействие при индексе радиационной нагрузки или интегральном показателе загрязнения, которые не отличаются значимо от фона, определяемого по данным наблюдений в соответствии с [4] как 95-й перцентиль, на территории всей зоны наблюдений;
- слабое воздействие при индексе радиационной нагрузки или интегральном показателе загрязнения менее 0,1;
- умеренное воздействие при индексе радиационной нагрузки или интегральном показателе загрязнения менее 1;
- сильное воздействие при индексе радиационной нагрузки или интегральном показателе загрязнения, больше или равно 1.

Показатели радиоэкологической обстановки при скрининговой оценке рекомендуется определять на территории зоны наблюдений с наиболее высокой удельной активностью техногенных радионуклидов.

В соответствии с постулатом порогового действия ионизирующей радиации на объекты живой природы [5, 6, 22—24] интенсивность радиационного воздействия при превышении ПДРН, т. е. при индексе экологического риска или интегральном показателе загрязнения, больше или равно 1, скачкообразно возрастает до 30 баллов, в 10 раз выше по сравнению с ситуацией умеренного воздействия (табл. 3).

Таблица 3. Шкала оценки интенсивности радиационного воздействия на природную среду*Table 3. Scale of assessment of the intensity of radiation exposure to the natural environment*

Воздействие	Интенсивность радиационного воздействия		Балл
Незначительное	Изменения в природной среде не превышают пределы естественной изменчивости	Индекс экологического риска или интегральный показатель загрязнения не отличается от фоновых параметров на всей территории зоны наблюдений	1
Слабое	Превышаются пределы природной изменчивости, природная среда полностью самовосстанавливается	Максимальный индекс экологического риска или интегральный показатель загрязнения менее 0,1	2
Умеренное	Возможны нарушения отдельных эколого-физиологических параметров, природная среда сохраняет способность к восстановлению	Максимальный индекс экологического риска или интегральный показатель загрязнения менее 1	3
Сильное	Возможны значительные нарушения отдельных компонентов природной среды, видового разнообразия, потеря способности природной среды к восстановлению	Максимальный индекс экологического риска или интегральный показатель загрязнения больше или равен 1	30

Таблица 4. Шкала оценки радиоэкологической обстановки и необходимости природоохранных мероприятий*Table 4. Scale of assessment of the radioecological situation and the need for environmental measures*

Воздействие на радиоэкологическую обстановку	Обобщенный показатель риска	Рекомендации
Незначительное	$ОПР < 10$ ($ОПР_n < 0,33$)	Не требуются природоохранные мероприятия по обеспечению радиационной безопасности окружающей среды
Слабое	$10 \leq ОПР < 20$ ($0,33 \leq ОПР_n < 0,66$)	Оценивается влияние природных и техногенных факторов на радиационную обстановку территории путем сопоставления с фоном
Умеренное	$20 \leq ОПР < 30$ ($0,66 \leq ОПР_n < 1,00$)	Рекомендуются дополнительные исследования по снижению неопределенности в оценке радиоэкологической обстановки
Сильное	$ОПР \geq 30$ ($ОПР_n \geq 1,00$)	Оценивается необходимость природоохранных мероприятий с учетом экологических, технологических и экономических факторов

Примечание. $ОПР_n$ — значение ОПР, нормированное на 30 (максимальную интенсивность радиационного воздействия).

В целях интерпретации обобщенного показателя риска для интегральной оценки радиационной обстановки с учетом пространственного масштаба, продолжительности и интенсивности радиационного воздействия на природную среду используется шкала, приведенная в табл. 4 [13].

Обобщенный показатель риска рассчитывается отдельно для наземных и водных экосистем на основе максимальных значений в наземной (почва,

атмосферный воздух) и водной среде (вода, донные отложения).

Пример оценки обобщенного показателя риска для района расположения ФГУП «ПО «Маяк» показан в табл. 5 [12, 21, 25].

Согласно данным многолетнего мониторинга (2000—2021 гг.) [26], в зоне наблюдения ФГУП «ПО «Маяк» не превышаются экологические критерии, обеспечивающие радиационную безопасность

Таблица 5. Оценка обобщенного показателя риска в районе расположения ФГУП «ПО «Маяк», балл

Table 5. Assessment of the generalized risk indicator in the area of the location of PA "Mayak", mark

Природные объекты	A_{np}	$A_{вр}$	$ИРВ_6$	ОПР
Наземные экосистемы:				
• прибрежная территория вблизи промышленного водоема-хранилища ОРАО (Карачай)	1	3	30	90
• головная часть Восточно-Уральского радиоактивного следа	3	3	3	27
• вне головной части ВУРС	3	3	2	18
Водные экосистемы:				
• головная часть Восточно-Уральского радиоактивного следа	3	3	3	27
• озера вне головной части ВУРС	3	3	2	18
• река Теча	3	3	2	18
Региональный фон	1	3	1	3

о окружающей среды, за исключением прибрежной территории вблизи промышленного водоема-хранилища ОРАО (водоема В-9 — Карачай), подвергшейся загрязнению в результате прошлой деятельности предприятия. Ширина прибрежной территории водоема Карачай, на которой превышаются уровни ПДРН на организмы биоты, составляет 30—50 м (Линге и др., 2014) [27], т. е. имеет место локальное радиационное воздействие на наземную биоту, не оказывающее значимого влияния на популяцию флоры и фауны за пределами этого локального участка.

При оценке ОПР для Ольховского болота в соответствии с площадью и продолжительностью воздействия $A_{np} = 1$, $A_{вр} = 3$. Максимальный показатель риска для биоты Ольховского болота оценен равным 0,25, поэтому $ИРВ_6 = 3$. Обобщенный показатель риска для болотно-речной экосистемы, рассчитанный с использованием данных радиационного мониторинга донных отложений Ольховского болота в 2000—2020 гг., равен 9 баллам. Таким образом, можно сделать вывод, что радиационное воздействие загрязнения техногенными радионуклидами донных отложений Ольховского болота на природные организмы является незначительным, не требующим специальных мероприятий по защите [16].

Оценка экологического риска была также выполнена для сценария гипотетической радиационной аварии с самопроизвольной цепной реакцией в случае попадания воды в реактор подводной лод-

ки К-27, затопленной в заливе Степового Карского моря на восточном побережье Новой Земли. Аварийный сброс долгоживущих техногенных радионуклидов в залив не приведет к значимому радиационному воздействию на население по причине отсутствия промышленного вылова рыбы и морепродуктов в заливе и разбавления сброшенной радиоактивности в открытом море. При этом гидробионты, обитающие в заливе, могут подвергнуться дополнительному облучению, в том числе по путям, отсутствующим для человека (например, облучение от загрязненных донных отложений) [28].

В табл. 6 представлены значения показателя риска для гидробионтов залива Степового, рассчитанные исходя из максимального значения мощности дозы облучения каждого организма при рассмотренном сценарии аварии. Наиболее высокий показатель риска оценен для морского млекопитающего — 0,07, что существенно ниже единицы; поэтому для рассмотренного сценария аварийного сброса радионуклидов не ожидается возникновения негативных радиационных эффектов для экосистемы залива Степового.

Для критического референтного организма залива Степового (морского млекопитающего) $ИРВ_6 = 2$; $A_{вр} = 3$. Площадь залива Степового составляет 25 км², тогда $A_{np} = 2$. Обобщенный показатель риска для морского млекопитающего из залива Степового при рассмотренном аварийном сценарии

Таблица 6. Показатель радиационного риска для гидробионтов залива Степового для рассмотренного аварийного сценария

Table 6. Radiation risk quotient, calculated for the marine biota of the Stepovogo Bay for the considered accidental scenario

Гидробионт	Максимальная мощность дозы, мГр/сут	ПДРН, мГр/сут	ИЭР
Рыба	$6,3 \cdot 10^{-4}$	1	$6,3 \cdot 10^{-4}$
Моллюск	$1,1 \cdot 10^{-3}$	10	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Водное растение	$8,0 \cdot 10^{-4}$	1	$8,0 \cdot 10^{-4}$
Морское млекопитающее	$7,0 \cdot 10^{-3}$	0,1	$7,0 \cdot 10^{-2}$

равен 12. Таким образом, можно сделать вывод, что разовый сброс радиоактивных веществ в залив Степового при гипотетической аварии с самопроизвольной цепной реакцией с затопленной подводной лодкой К-27 окажет слабое радиационное воздействие на экосистему залива.

Заключение

Для оценки экологических рисков от радиоактивного загрязнения окружающей среды в районе размещения радиационно опасных объектов предлагается использовать следующие показатели:

- максимальный индекс экологического риска на представительные организмы биоты;
- интегральный показатель загрязнения, представляющий собой сумму отношения содержания радионуклидов к контрольному уровню.

Эти показатели могут рассматриваться в качестве базовых при оценке долговременного воздействия радиационно опасных объектов на окружающую среду. Использование интегрального показателя загрязнения более предпочтительно на практике, поскольку позволяет определять этот показатель непосредственно по данным мониторинга. Вместе с тем в некоторых задачах, например, в процедуре оценки воздействия на окружающую среду целесообразно применять индекс экологического риска, основанный на оценке мощности дозы облучения представительных организмов биоты, напрямую характеризующий радиационную безопасность окружающей среды.

Для интегральной оценки радиоэкологической обстановки может использоваться обобщенный показатель риска, оцениваемый в баллах с учетом площади и временной динамики загрязнения, а также

индекса экологического риска и интегрального показателя загрязнения территории.

Апробация предлагаемых показателей на основе данных мониторинга свидетельствует об их работоспособности и возможности практического применения для оценки радиоэкологической обстановки в районах расположения объектов использования атомной энергии и на загрязненных радионуклидами территориях [12, 14, 17, 25, 29].

Литература [References]

1. IAEA — International Atomic Energy Agency. International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, IAEA, Vienna. 2014. 438 p.
2. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. Второе издание, переработанное и дополненное. М.: ИздАТ, 2010. 495 с. [Kryshev I.I., Ryazantsev E.P. Environmental safety of the nuclear energy complex of Russia. Second edition, revised and expanded. Moscow: IzdAT, 2010. 495 p., (In Russ.)]
3. Рекомендации Росгидромета Р.52.18.787-2013. Методика оценки радиационных рисков на основе данных мониторинга радиационной обстановки. Утверждены Росгидрометом Минприроды России 19.09.2013 / Крышев И.И., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Каткова М.Н., Санина К.Д., Скакунова М.А., Вережанская К.В. Обнинск. ФГБУ «НПО «Тайфун». 2014. 108 с. [Recommendations of Roshydromet R.52.18.787-2013. Radiation risk assessment methodology based on radiation situation monitoring data. Approved by Roshydromet of the Ministry of Natural Resources of Russia 19.09.2013 / Kryshev I.I., Sazykina T.G., Kryshev A.I., Katkova M.N., Sanina K.D., Skakunova M.A., Verezhanskaya K.V. Obninsk. RPA «Typhoon». 2014. 108 p., (In Russ.)]

4. Рекомендации Росгидромета Р.52.18.863-2017. Методика определения радиационного фона по данным мониторинга радиационной обстановки / Булгаков В.Г., Крышев И.И., Каткова М.Н., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Косых И.В., Скакунова М.А., Газиев И.Я. Обнинск. ФГБУ «НПО «Тайфун». 2017. 41 с. [Recommendations of Roshydromet R. 52.18.863-2017. Methodology for determining the radiation background according to monitoring data of the radiation situation / Bulgakov V.G., Kryshev I.I., Katkova M.N., Sazykina T.G., Kryshev A.I., Kosykh I.V., Skakunova M.A., Gaziev I.Ya. Obninsk. RPA "Typhoon". 2017. 41 p., (In Russ.)]
5. Рекомендации Росгидромета Р.52.18.820-2015. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки. Утверждены Росгидрометом Минприроды России 17.04.2015 / Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Крышев И.И., Лунёва К.В., Скакунова М.А., Санина К.Д. Обнинск. ФГБУ «НПО «Тайфун». 2015. 64 с. [Recommendations of Roshydromet R.52.18.820-2015. Assessment of the radiation and environmental impact on the objects of the natural environment according to the monitoring of the radiation situation / Sazykina T.G., Kryshev A.I., Kryshev I.I., Luneva K.V., Skakunova M.A., Sanina K.D. Obninsk. RPA "Typhoon". 2015. 64 p., (In Russ.)]
6. ICRP — International Commission on Radiological Protection. Publication 108. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants. Ann. ICRP 38(4–6). 2008. 251 p.
7. Рекомендации Росгидромета Р.52.18.852-2016. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в морских водах. Утверждены Росгидрометом Минприроды России 17.08.2016 / Сазыкина Т.Г., Крышев И.И., Крышев А.И., Санина К.Д., Лунёва К.В., Косых И.В., Скакунова М.А. В сборнике: Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в объектах природной среды. Обнинск. 2016. С. 3—28. [Recommendations of Roshydromet R.52.18.852-2016. The procedure for calculating the control levels of radionuclides in marine waters / Sazykina T.G., Kryshev I.I., Kryshev A.I., Sanina K.D., Luneva K.V., Kosykh I.V., Skakunova M.A. In the collection: The procedure for calculating control levels of radionuclides in objects of the natural environment. Obninsk. 2016:3-28, (In Russ.)]
8. Рекомендации Росгидромета Р.52.18.853-2016. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в пресной воде и почве. Утверждены Росгидрометом Минприроды России 17.08.2016 / Крышев А.И., Сазыкина Т.Г., Крышев И.И., Лунёва К.В., Санина К.Д., Косых И.В., Скакунова М.А., Дайнеко Е.И. В сборнике: Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в объектах природной среды. Обнинск. 2016. С. 29—55. [Recommendations of Roshydromet R.52.18.853-2016. The procedure for calculating the control levels of radionuclides in fresh water and soil / Kryshev A.I., Sazykina T.G., Kryshev I.I., Luneva K.V., Sanina K.D., Kosykh I.V., Skakunova M.A., Daineko E.I. In the collection: The procedure for calculating the control levels of the content of radionuclides in the objects of the natural environment. Obninsk. 2016:29-55, (In Russ.)]
9. Рекомендации Росгидромета Р.52.18.873-2018. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в донных отложениях морских водных объектов. Утверждены Руководителем Росгидромета 01.10.2018. Введены в действие приказом Росгидромета от 31.10.2018 № 456 / Сазыкина Т.Г., Крышев И.И., Крышев А.И., Каткова М.Н., Косых И.В., Газиев И.Я. Обнинск. 2019. 29 с. [Recommendations of Roshydromet R.52.18.873-2018. The procedure for calculating the control levels of radionuclides in the bottom sediments of marine water objects / Sazykina T.G., Kryshev I.I., Kryshev A.I., Katkova M.N., Kosykh I.V., Gaziev I.Ya. Obninsk. 2019. 29 p., (In Russ.)]
10. Рекомендации Росгидромета Р.52.18.876-2019. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в донных отложениях пресноводных водных объектов. Утверждены Руководителем Росгидромета 29.03.2019 / Сазыкина Т.Г., Крышев И.И., Крышев А.И., Каткова М.Н., Косых И.В., Газиев И.Я. Обнинск. 2020. 33 с. [Recommendations of Roshydromet R.52.18.876-2019. The procedure for calculating the control levels of radionuclides in the bottom sediments of freshwater bodies of water objects / Sazykina T.G., Kryshev I.I., Kryshev A.I., Katkova M.N., Kosykh I.V., Gaziev I.Ya. Obninsk. 2020. 33 p., (In Russ.)]
11. Рекомендации Росгидромета Р.52.18.913-2021. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в атмосферном воздухе. Утверждены приказом Росгидромета от 23.08.2021 № 273 / Сазыкина Т.Г., Крышев И.И., Крышев А.И., Косых И.В.,

- Газиев И.Я., Бурякова А.А. Обнинск. 2021. 50 с. [Recommendations of Roshydromet R.52.18.913-2021. The procedure for calculating the control levels of radionuclides in atmospheric air / Sazykina T.G., Kryshev I.I., Kryshev A.I., Kosykh I.V., Gaziev I.Ya., Buryakova A.A. Obninsk. 2021. 50 p., (In Russ.)]
12. Крышев И.И., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Косых И.В., Павлова Н.Н., Бурякова А.А. Принципы и критерии экологического нормирования качества окружающей среды по уровням радиоактивности // Метеорология и гидрология. 2021. № 5. С. 31—37, <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-5-31-37> [Kryshev I.I., Sazykina T.G., Kryshev A.I., Kosykh I.V., Pavlova N.N., Buryakova A.A. Approaches and criteria for ecological regulation of environmental quality by radioactivity levels // Meteorology and Hydrology. 2021;(5):31-37, (In Russ.), <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-5-31-37>]
13. Рекомендации Росгидромета Р.52.18.923-2022. Порядок оценки риска от радиоактивного загрязнения окружающей среды по данным мониторинга радиационной обстановки / Крышев И.И., Павлова Н.Н., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Косых И.В., Бурякова А.А., Газиев И.Я. Обнинск. НПО «Тайфун». 2022. 28 с. [Recommendations of Roshydromet R.52.18.923-2022. The procedure for assessing the risk of radioactive contamination of the environment according to the monitoring of the radiation situation / Kryshev I.I., Pavlova N.N., Sazykina T.G., Kryshev A.I., Kosykh I.V., Buryakova A.A., Gaziev I.Ya. Obninsk. RPA “Typhoon”. 2022. 28 p., (In Russ.)]
14. Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Крышев И.И. Моделирование радиоэкологических процессов в окружающей среде. М.: Маска. 2022. 638 с. [Sazykina T.G., Kryshev A.I., Kryshev I.I. Modeling of radioecological processes in the environment. Moscow: Mask. 2022. 638 p., (In Russ.)]
15. ICRP — International Commission on Radiological Protection. Publication 136. Dose coefficients for non-human biota environmentally exposed to radiation. Ann. ICRP 46(2). 2017. 92 p.
16. Крышев А.И., Косых И.В., Крышев И.И. Анализ экологического риска радиоактивного загрязнения Ольховского болота // Атомная энергия. 2022. Т. 132. № 1. С. 43—36. [Kryshev A.I., Kosykh I.V., Kryshev I.I. Analysis of the environmental risk of radioactive contamination of the Olkhovsky swamp // Atomic Energy. 2022;132(1):43-36, (In Russ.)]
17. Косых И.В., Крышев А.И., Крышев И.И. Оценка показателей техногенного радиационного фона по данным многолетнего мониторинга поверхностных вод в районе Белоярской АЭС // Вопросы радиационной безопасности. 2021. № 1 (101). С. 51—58. [Kosykh I.V., Kryshev A.I., Kryshev I.I. Evaluation of parameters of technogenic background radiation based on long-term monitoring of surface water in the vicinity of the Beloyarsk NPP // Issues of radiation safety. 2021;(1):51-58, (In Russ.)]
18. Бурякова А.А., Павлова Н.Н., Крышев И.И., Каткова М.Н. Динамика и современное состояние радиоэкологической обстановки на территориях аварийного чернобыльского следа в Брянской области // Радиационная биология. Радиоэкология. 2021. Т. 61. № 3. С. 277—285, <https://doi.org/10.31857/S0869803121030048> [Buryakova A.A., Pavlova N.N., Kryshev I.I., Katkova M.N. Dynamics and current state of radioecological situation on the territories of the Chernobyl radioactive trace in the Bryansk region // Radiation Biology. Radioecology. 2021;61(3):277-285, (In Russ.), <https://doi.org/10.31857/S0869803121030048>]
19. Росновская Н.А., Крышев И.И., Крышев А.И., Каткова М.Н. Показатели качества морской среды по уровню активности радионуклидов для экосистемы Карского моря // Метеорология и гидрология. 2023. № 4. С. 91—98 [Rosnovskaya N.A., Kryshev I.I., Kryshev A.I., Katkova M.N. Quality Indicators of the Marine Environment by the Level of Radionuclide Activity for the Kara Sea Ecosystem // Meteorology and Gydrology. 2023;(4):34-39, (In Russ.)]
20. Методические указания по проведению оценки воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду. Министерство охраны окружающей среды Республики Казахстан. Астана. 2010. 73 с. [Methodological guidelines for assessing the impact of economic activity on the environment. Ministry of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan. Astana. 2010. 73 p., (In Russ.)]
21. Крышев И.И., Павлова Н.Н., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Косых И.В., Бурякова А.А., Газиев И.Я. Оценка радиационной безопасности окружающей среды в зоне наблюдения объектов использования атомной энергии // Атомная энергия. 2021. Т. 130. № 2. С. 111—116. [Kryshev I.I., Pavlova N.N., Sazykina T.G., Kryshev A.I., Kosykh I.V., Buryakova A.A., Gaziev I.Ya. Environmental radiation safety assessment in the control area at nuclear facilities // Atomic Energy. 2021;130(2):111-116, (In Russ.)]

22. Sazykina TG, Kryshev AI, Sanina KD. Non-parametric estimation of thresholds for radiation effects in vertebrate species under chronic low-LET exposures. *Radiat Environ Biophys.* 2009 Nov;48(4):391-404, doi: 10.1007/s00411-009-0233-0. Epub 2009 Jun 17. PMID: 19533159.
23. UN — United Nations. Effects of radiation on the environment. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II, Scientific Annex E. Effect of ionizing radiation on non-human biota. United Nations. New York. 2011. 164 p.
24. US DOE. United States Department of Energy. A graded approach for evaluating radiation doses to aquatic and terrestrial biota. DOE-STD-1153-2019. U.S.DOE. Washington DC. 2019. 169 p.
25. Крышев И.И., Павлова Н.Н., Косых И.В., Бурякова А.А., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И. Анализ динамики радиоэкологической обстановки в зоне наблюдений ФГУП «ПО «МАЯК». Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях: Сб. материалов XI Российской научной конференции, 26—29 октября 2021 г., Москва / Под общ. ред. Л.А. Большова. Том 2. Материалы секции № 1 «Радиационная безопасность». М.: ИБРАЭ РАН. 2022. С. 172—177. [Kryshev I.I., Pavlova N.N., Kosykh I.V., Buryakova A.A., Sazykina T.G., Kryshev A.I. Analysis of the dynamics of the radioecological situation in the observation zone of PA “MAYAK”. Radiation Protection and Radiation Safety in Nuclear Technologies: Collection of Materials of the XI Russian Scientific Conference, October 26—29, 2021. Volume 2. Materials of Section No. 1 “Radiation safety”. Moscow: IBRAE RAN. 2022:172-177, (In Russ.)]
26. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств. Росгидромет, НПО «Тайфун». Ежегодники. 2001—2022. [Radiation situation on the territory of Russia and neighboring states. Roshydromet, RPA “Typhoon”. Yearbook. 2001—2022, (In Russ.)]
27. Линге И.И., Крышев И.И., Курындина Л.А., Сазыкина Т.Г., Ведерникова М.В., Уткин С.С., Мокров Ю.Г. Оценка ущерба от радиационного воздействия на окружающую среду в районе расположения водоема Карачай // Вопросы радиационной безопасности. 2014. С. 34—42. [Linge I.I., Kryshev I.I., Kuryndina L.A., Sazykina T.G., Vedernikova M.V., Utkin S.S., Mokrov Yu.G. Detriment estimation resulted from radiation impact on Karachai water body environment // Radiation safety issues. 2014;(2):34-42, (In Russ.)]
28. Крышев А. И., Сазыкина Т. Г., Каткова М. Н., Крышев И. И., Бурякова А. А., Павлова Н. Н. Оценка экологического риска для биоты залива Степового Карского моря при гипотетическом аварийном загрязнении // Радиационная биология. Радиоэкология. 2022. Т. 62. № 4. С. 424—433. [Kryshev A.I., Sazykina T.G., Katkova M.N., Kryshev I.I., Buryakova A.A., Pavlova N.N. Assessment of ecological risk to biota of the Stepovogo Bay of the Kara Sea after the hypothetical accidental contamination // Radiation Biology. Radioecology. 2022;62(4):424-433, (In Russ.)]
29. Крышев А.И., Сазыкина Т.Г., Крышев И.И., Косых И.В., Павлова Н.Н., Бурякова А.А., Газиев И.Я. Радиоэкологические критерии радиационной безопасности окружающей среды при использовании ядерных технологий. Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях: Сб. материалов XI Российской научной конференции, 26—29 октября 2021 г., Москва / Под общ. ред. Л. А. Большова. Том 2. Материалы секции № 1 «Радиационная безопасность». М.: ИБРАЭ РАН, 2022. С. 41—47. [Kryshev A.I., Sazykina T.G., Kryshev I.I., Kosykh I.V., Pavlova N.N., Buryakova A.A., Gaziev I.Ya. Radioecological criteria of radiation safety of the environment when using nuclear technologies. — Radiation Protection and Radiation Safety in Nuclear Technologies: Collection of Materials of the XI Russian Scientific Conference, October 26—29, 2021. Vol. 2. Materials of section No. 1 “Radiation safety”. Moscow: IBRAE RAN, 2022:41-47, (In Russ.)]

Сведения об авторах

Крышев Иван Иванович: доктор физико-математических наук, профессор, академик РАЕН, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО «Тайфун»)

Количество публикаций: более 490

Область научных интересов: радиоэкологический мониторинг, экологические риски, экологическое моделирование, радиационная безопасность окружающей среды, разработка показателей качества окружающей среды

Author ID: 60378

Scopus Author ID: 7004198434

Контактная информация:

Адрес: 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, д. 4
kryshev@rpatyphoon.ru

Павлова Надежда Николаевна: кандидат биологических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО «Тайфун»)

Количество публикаций: более 70

Область научных интересов: радиоэкологический мониторинг, экологическое нормирование загрязнения почв, экологические риски

Author ID: 755 964

Scopus Author ID: 57211508893

ORCID: 0000-0003-3460-0234

Контактная информация:

Адрес: 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, д. 4

nadpavl@yandex.ru

Сазыкина Татьяна Григорьевна: доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО «Тайфун»)

Количество публикаций: более 320

Область научных интересов: экологическое моделирование, экологическая дозиметрия, экологические риски, радиоэкологический мониторинг, экология Арктики

Author ID: 132573

Scopus Author ID: 6603832974

Контактная информация:

Адрес: 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, д. 4
sazykina@rpatyphoon.ru

Крышев Александр Иванович: доктор биологических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО «Тайфун»)

Количество публикаций: более 230

Область научных интересов: моделирование миграции радионуклидов в окружающей среде, радиоэкологический мониторинг, экологические риски, радиоэкология Арктики

Author ID: 132575

Scopus Author ID: 6603584776

ResearcherID: S-7427-2018

Контактная информация:

Адрес: 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, д. 4
kai@rpatyphoon.ru

Косых Ирина Владимировна: научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО «Тайфун»)

Количество публикаций: более 70

Область научных интересов: радиоэкологический мониторинг, экологические риски, базы радиоэкологических данных

Author ID: 1088627

Scopus Author ID: 6505528255

Контактная информация:

Адрес: 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, д. 4
ivk@rpatyphoon.ru

Бурякова Анна Александровна: младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО «Тайфун»)

Количество публикаций: более 50

Область научных интересов: радиоэкологический мониторинг, экологические риски

Author ID: 1088244

Scopus Author ID: 57203977733

Контактная информация:

Адрес: 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, д. 4
buryakova@rpatyphoon.ru

Росновская Нелли Александровна: инженер Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО «Тайфун»)

Количество публикаций: 7

Область научных интересов: радиоэкологический мониторинг, радиоэкология Арктики

Контактная информация:

Адрес: 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, д. 4
rosnovskaya@rpatyphoon.ru

Статья поступила в редакцию: 07.04.2023

Одобрена после рецензирования: 12.05.2023

Принята к публикации: 16.05.2023

Дата публикации: 30.06.2023

The article was submitted: 07.04.2023

Approved after reviewing: 12.05.2023

Accepted for publication: 16.05.2023

Date of publication: 30.06.2023



14—15 сентября 2023 г.,
Сочи, отель «Голден Тулип Роза Хутор»

XX Профессиональный форум



УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ — НОВЫЕ ВЫЗОВЫ

Приглашаем руководителей и специалистов в области риск-менеджмента, страхования, внутреннего контроля и аудита на самый известный ежегодный форум по управлению рисками в России.

Специальные гости Форума:

Антон Шалаев — Руководитель Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) — по согласованию

Владимир Гамза — Председатель Совета по финансово-промышленной и инвестиционной политике, член Правления ТПП РФ

Игорь Юргенс — Председатель Наблюдательного совета АРС «РусРиск»

На сессиях и круглых столах ключевые вопросы Форума:

- построение риск-менеджмента в больших корпорациях: стратегии успеха и провала за последний период;
- управление рисками в крупных и мегапроектах: роль, место, условия и особенности внедрения. практический опыт в условиях санкционных ограничений;
- риск-менеджмент в корпоративном управлении: что нужно знать о рисках Совету директоров после введения санкций;
- риск-ориентированный подход к бизнес-процессам в компаниях и организациях;
- грани управления рисками в работе внутреннего аудита;
- влияние санкционных ограничений на организацию страховой защиты с точки зрения страхователя, брокера, страховщика;
- оценка имущества, проведение сюрвея, урегулирование убытков: современные вызовы;
- актуальные вопросы стандартизации и сертификации в области риск-менеджмента;
- информационная безопасность: возможности и риски;
- резилиенс-диагностика рисков и угроз безопасности экосистем.

НА ФОРУМЕ ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ УЧАСТИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ:

МЧС России, РСПП, ТПП РФ, Всероссийского союза страховщиков, СПАО Ингосстрах, АО «АльфаСтрахование», ПАО «Газпром», ПАО ГМК «Норильский никель», ПАО «АФК «Система», Страхового брокера «СиЛайн», Ассоциации «Институт внутренних аудиторов», АО «ИнфоТеКС», ООО «Б1-Консалт», Интерфакса, МГИМО МИД России, Финансового университета при Правительстве РФ, Вятского государственного университета и др.

В ПРОГРАММЕ ФОРУМА:

ЦЕРЕМОНИЯ НАГРАЖДЕНИЯ ПОБЕДИТЕЛЕЙ КОНКУРСА

«Лучший риск-менеджмент в России»

Участие в Форуме бесплатное.

Заявка на сайте www.rrms.ru

Для внесения в списки участников, пожалуйста, пришлите заполненную Заявку на

e-mail: vt@rrms.ru

Контактный тел./факс: +7(495)231-53-56 или e-mail: vt@rrms.ru

УДК 669.3+631.371+631.620.97
<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-28-49>

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2023

Life Cycle Analyses of Fertilizers: Carbon Emissions as a Measure of Energy Efficiency

Vladimir N. Bashkin*,
Andrey O. Alekseev,

Institute of Physico-Chemical
and Biological Problems of Soil
Science of the Russian Academy
of Sciences,
Institutskaya str., 2, Pushchino,
Moscow region, 142290, Russia

АННОТАЦИЯ

Using the analysis of the life cycle of fertilizers, it is shown that the values of greenhouse gas emissions can be considered as an indicator of energy efficiency. Taking into account the huge array of data accumulated in recent years on greenhouse gas emissions (primarily CO₂ and methane), it is possible to consider the problem of energy efficiency (carbon dioxide emissions occur during fuel combustion, first of all, as well methane and CO₂ as precursors for N fertilizer) in the chain from fertilizer production to their logistics, application, production and waste disposal. Relevant examples are given in the text of the article. It is shown, that an increase in energy efficiency in the considered life cycle of fertilizers, from production to utilization of agricultural waste, can significantly reduce the role of agricultural production in undesirable GHG emissions. It should be emphasized that reducing the potential of GHG emissions in the production of fertilizers depends on the source of energy used and the transfer of power plants from coal to gas, and especially RES, will be the most significant. When growing products, factors related to the use of modern farming systems based on accurate fertilization, the use of electronic soil maps, precision farming and increasing the efficiency of fertilizer use, in particular, nitrogen and phosphorus, play a very important role.

Ключевые слова: LCA; fertilizer production; carbon emission; nitrogen emission; energy efficiency; logistics; fertilizer application; agricultural waste recycling.

Для цитирования: Bashkin V.N., Alekseev A.O. Life cycle analyses of fertilizers: carbon emissions as a measure of energy efficiency // Issues of Risk Analysis. 2023;20(3):28-49, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-28-49>

The authors declare no conflict of interest.

Анализ жизненного цикла удобрений: эмиссия углекислого газа как показатель энергоэффективности

**Башкин В.Н.*,
Алексеев О.А.,**

Институт физико-химических
и биологических проблем
почвоведения РАН,
142290, Россия,
Московская обл., г. Пушкино,
ул. Институтская, д. 2

Abstract

С использованием подходов анализа жизненного цикла удобрений показано, что величины эмиссии парниковых газов можно рассматривать как показатель энергоэффективности. Принимая во внимание огромный массив данных, накопленных за последние годы по выбросам парниковых газов (в первую очередь CO_2 и метана), можно рассмотреть проблему энергоэффективности (выбросы углекислого газа происходят, прежде всего, при сжигании топлива, а также метана и CO_2 как предшественников азотных удобрений) в цепочке от производства удобрений до их логистики, применения, производства и утилизации отходов. Соответствующие примеры приведены в тексте статьи. Показано, что повышение энергоэффективности в рассматриваемом жизненном цикле удобрений от производства до утилизации сельскохозяйственных отходов может значительно снизить роль сельскохозяйственного производства в нежелательных выбросах парниковых газов. Следует подчеркнуть, что потенциальное сокращение выбросов парниковых газов при производстве удобрений зависит от используемого источника энергии, и перевод электростанций с угля на газ будет наиболее значительным. При выращивании продукции очень важную роль играют факторы, связанные с использованием современных систем земледелия, основанных на точном внесении удобрений, использовании электронных почвенных карт, точном земледелии и повышении эффективности использования удобрений, в частности азота и фосфора.

Keywords: оценка жизненного цикла; производство удобрений; выбросы углерода; выбросы азота; энергоэффективность; логистика; внесение удобрений; переработка сельскохозяйственных отходов.

For citation: Башкин В.Н., Алексеев А.О. Анализ жизненного цикла удобрений: эмиссия углекислого газа как показатель энергоэффективности // Проблемы анализа риска. 2023. Т. 20. № 3. С. 28—49, (на англ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-28-49>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Content

Introduction
1. Fertilizer production
2. Fertilizer logistics
3. Fertilizer application to agroecosystems
4. Waste utilization
5. Discussion
Conclusion
References

Introduction

In the mineral fertilizers industry, the main pollutants released into the atmosphere include NO_x , CH_4 , SO_2 , SO_3 , H_2SO_4 , CO , fluorine compounds, NH_4NO_3 . The production of ammonia, mineral fertilizers and inorganic acids requires large amounts of energy, usually obtained by burning organic fuels with the release of significant amounts of greenhouse gases. At the same time, some enterprises (for example, for the production of carbamide) partially use the resulting CO_2 as a feedstock, which reduces the emission of carbon dioxide. Nevertheless, the work of most enterprises is accompanied by emissions into the atmosphere associated with the combustion of natural gas, coal or diesel fuel in turbines, boilers, compressors and other systems for generating energy and heat. These emissions cannot be considered indicators that correctly determine the level of technology development, since they often depend on the raw materials used and the type of fuel and determine to a greater extent the technique and technology of energy production.

At the same time, one of the most important factors is energy efficiency. Thus, in Russia, the long stage of restoration and modernization of production facilities put into operation in the 1970s and 1980s in the Russian mineral fertilizers industry was completed by the end of 2010. Further expansion of existing capacities and deeper modernization are associated with a sharp increase in capital expenditures. As for energy efficiency, the basic principles of regulation in the field of energy conservation and energy efficiency improvement are laid down in the Federal Law of November 23, 2009. Federal Law No. 261 "On Energy Saving and Energy Efficiency Improvement and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation" and the relevant standard GOST R ISO 50001-2012.

The consumption of energy resources is inextricably linked with the problem of the impact on the environment, which is exerted by energy generation and transport, as well as greenhouse gas (GHG) emissions as a result of the combustion of hydrocarbon fuels. In the production of nitrogen fertilizers, a significant part of energy is consumed, in particular for the binding of atmospheric nitrogen necessary for the production of ammonia. During the production of ammonium nitrate, nitric acid from ammonia, sulfuric acid from sulfur, useful energy resources are produced that can be used

to generate electricity using steam turbines. The release of phosphorus-containing fertilizers requires energy for the production of phosphoric acid, its further processing into finished products. Despite the fact that large amounts of energy are always consumed in the fertilizer industry in processes that take place at high temperatures and pressures, these industries have become more energy-efficient due to the improvement of the technologies used. Ammonia plants built in 1990th consumed approximately 30% less energy per ton of nitrogen compared to those that were put into operation in 1970th.

Among the enterprises of the industry under consideration, those enterprises that produce sulfuric acid (from sulfur) and nitric acid are suppliers of energy resources, such as high, medium or low pressure steam, or hot water. If all thermal energy is converted into electricity by means of a steam turbine, then supplies to the side of useful energy resources will be significantly reduced, but at the same time the generated electricity will be used directly in production. This is already being considered as one of the ways of energy efficiency.

It should be noted that during the production of mineral fertilizers, CO_2 emissions may increase, but the overall effect is compensated by high yields. Agriculture is one of the areas of production that significantly affects the emission of greenhouse gases, as well as consuming a large amount of energy. At the same time, energy consumption and greenhouse gas emissions are often directly proportional. Therefore, the most important way to reduce GHG emissions is to increase the energy efficiency of agriculture.

According to [2] the implementation of energy-saving policy in Russia, improvement and implementation of new energy-efficient technologies, energy-efficient equipment and machinery, rational use of energy resources will reduce specific energy consumption in the production of agricultural products, i.e. reduce the energy intensity of production and reach the planned level of its reduction — to 2030 by 60% and to 2035 by 65%.

There are four directions of energy saving in agriculture:

- absolute reduction of the amount of consumed energy due to rationalization of management methods, increased intensification, introduction of energy- and resource-saving production technologies;
- replacement of expensive and scarce energy resources with less scarce ones;

- expanding the use of non-traditional and renewable energy sources;
- changing the management system of the organization, building and putting into practice the organizational and economic mechanism of energy saving.

Taking into account the huge amount of data accumulated in recent years on greenhouse gas emissions (primarily CO₂ and methane), it is possible to consider the problem of energy efficiency (carbon dioxide emissions occur primarily during fuel combustion, as well as the use of methane and CO₂ as precursors of nitrogen fertilizers) in the chain from fertilizer production to their logistics, application, production and disposal of waste.

Since the vast majority of GHG emissions are caused by energy consumption processes, therefore, the growth of energy efficiency plays a decisive role in the impact on the level of emissions. Over the period 1990–2017, the energy intensity of Russia's GDP decreased by 30%, the energy intensity of world GDP — by 35%. This was a key factor in curbing CO₂ emissions, while the contribution of the process of reducing the carbon intensity of energy consumed (depends on the fuel structure) remains significantly less significant. In the future, the leading role of the energy efficiency factor will remain [3].

Therefore, the purpose of this article is to analyze the associated processes of energy consumption and greenhouse gas emissions in the system “production of mineral fertilizers — transportation — application in agroecosystems — utilization of agricultural waste” and to assess energy efficiency factors. At the same time, the size of GHG emissions at all stages of the life cycle can be considered as a measure of energy efficiency.

1. Fertilizer production

The production of mineral fertilizers, as part of the chemical industry (and at the same time heavy industry) is one of the most energy-intensive industries and can play a crucial role in the implementation of energy conservation and emission reduction commitments. It is shown that among the factors that can lead to a reduction in CO₂ emissions in China's heavy industry, the structure of industry (IS), investments in fixed assets (F) and historically established emissions of pollutants should be taken into account. At the same time, energy efficiency (EE) is a key factor in reducing carbon dioxide emissions. The implementation of a mandatory emission reduction policy can reduce CO₂ emissions [4].

The chemical industry in Russia accounts for about 2% of the country's primary energy consumption and 2.5% of total greenhouse gas emissions, of which 60% are emissions from production processes and fuel combustion. The remaining 40% relate to indirect emissions related to electricity and heat consumption. It is expected that the industry will continue to grow rapidly over the next two decades, and in order to limit the growth of energy consumption, it will need to implement cost-effective energy conservation measures. When implementing all identified measures in 2030 greenhouse gas emissions may be lower than today's levels. However, in the absence of these changes, emissions will increase by approximately 85%.

Energy efficiency improvement involves the installation of more energy-efficient equipment at chemical plants, the optimal use of catalysts and the use of more efficient ethylene cracking technologies that reduce energy consumption. The highest profitability and the most significant potential is distinguished by a set of measures to improve the energy efficiency of equipment of chemical enterprises (conveyor engines, mixing machines, etc.). With their help, it is possible to achieve energy savings in the amount of 6.3 million tons of CU and reduce emissions by 6.5 million tons of CO₂-e per year in 2030. It is also necessary to implement a number of measures to improve production processes and catalysts that will help reduce the intensity of emissions in chemical processes. The most important is the capture and/or destruction of nitrous oxide (N₂O) in waste gases during the production of nitric acid. With the help of certain filtration technologies (catalytic decomposition or catalytic reduction), it is possible to accelerate the decomposition of N₂O in waste gases. The implementation of this measure will reduce emissions, but is highly costly. Further, it is necessary to change the structure of the fuel balance of the chemical industry in order to switch to fuel that emits fewer greenhouse gases during combustion, for example, the transition of chemical enterprises from oil and coal to gas. The introduction of carbon dioxide capture and storage technology can also be considered. This is an emerging technology that is expected to capture carbon dioxide released during fuel combustion and during production processes at chemical plants (for example, in the production of ammonia).

Thus, the largest Russian producer of mineral fertilizers — PJSC PhosAgro, which, according to the

Russian Association of Fertilizer Producers, occupies 24% of the market, plans to reduce greenhouse gas emissions by 14% by 2028 compared to 2018. For this, for example, it has an energy efficiency program for energy conservation, reduction of consumption and losses [1]. Increasing the use of “green” electricity is part of PhosAgro’s climate strategy, under which greenhouse gases alone are planned to reduce emissions by 14% from the base level of 2018 by 2028 for all three coverage areas.

The Energy Efficiency Strategy defines the following objectives (Table 1):

- reduction of greenhouse gas emissions with an increase in production;
- improving the energy and environmental efficiency of the main technological processes;
- reduction of energy and carbon intensity of manufactured products;
- entering new emerging markets for green products.

As a result, the specific energy consumption per unit of manufactured products and semi-finished products decreased from 5.58 GJ/t in 2018 and amounted to 5.06 GJ/t in 2021. At the same time, there was a decrease in the consumption of all types of natural fuels, even the consumption of the most environmentally friendly natural fuel — methane, decreased during this period to 0.075 m³/t of products.

PJSC PhosAgro consistently works to reduce the carbon footprint of its products. This includes requirements for suppliers of goods and services (Table 1).

Let’s look at a few more examples of Russian enterprises producing mineral fertilizers.

So, PJSC “Mineral Fertilizers” Perm, Russia, is one of the largest producers of nitrogen fertilizers in the Urals and Western Siberia. It produces anhydrous liquefied ammonia, technical aqueous ammonia, carbamide, as well as low-temperature liquid carbon dioxide and high-pressure liquid carbon dioxide.

For this enterprise, it was proposed to build a photovoltaic solar power plant on its territory, which is designed to generate electric current with its subsequent use within the internal power grid of the enterprise. This power plant can be installed both on the roof of a building and on the surface of vacant land plots. It is possible to install rechargeable batteries that will ensure stable operation of the redundant load in case of external power failure [5].

The enterprises-producers of nitrogen fertilizers in the Perm Region are considered. On the example of one of the largest producers of nitrogen fertilizers in the region, data on the material flows of ammonia production was collected [6]. The calculation of the carbon footprint of ammonia production at the enterprise in question was carried out in accordance with the methodological guidelines approved in Russia (Order of the

Table 1. List and main characteristics of the existing metrics that were introduced to monitor performance indicators within the framework of the climate strategy of PJSC “PhosAgro”

Таблица 1. Список и основные характеристики существующих метрик, которые были введены для мониторинга показателей эффективности в рамках климатической стратегии ПАО «ФосАгро»

Name of metrics, unit of measurement	Years			
	2018	2019	2020	2021
The volume of total global emissions (coverage 1 + 2) per unit of currency of total revenue, t CO ₂ -eq. / million US dollars	1552.3	1467.1	1621.6	975.5
The volume of total global emissions (coverage 1 + 2) per equivalent of one full-time employee, t CO ₂ -eq.	331.0	321.6	319.6	304.0
Purchased electricity per unit of manufactured products and semi-finished products, thousand kWh / t	0.071	0.069	0.068	0.066
Energy efficiency improvement costs, million rubles	-	82.0	10500.0	17.4
Share of raw material suppliers who provided the necessary baseline data on greenhouse gas emissions (coverage 3), %	-	-	4.0	2.7

Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 300 dated June 30, 2015). According to this document, greenhouse gas such as carbon dioxide (CO_2) is subject to mandatory accounting for ammonia production. It is established that the annual production generates 2.433 million tons of CO_2 . According to the calculated data, there are 2,027 tons of CO_2 per 1 ton of ammonia, which meets the requirements of the criteria for sustainable (including “green”) development projects in the Russian Federation — the total emission is below 2,104 tons of CO_2 per 1 ton of ammonia. But in order to clarify the amount of total emissions, a more detailed consideration of electricity sources is required, as well as an analysis of indirect CO_2 emissions per 1 ton of ammonia (coverage 2).

It is important to note that according to the results of the data analysis, it was revealed that there is no flow of CO_2 extracted at the enterprise for further use as raw materials for the production of marketable products. It was also found that as a result of recent measures, it was possible to reduce the consumption of natural gas to 1,275 m^3 per ton of ammonia (Table 2). In the future, it is planned to further reduce the consumption of natural gas to the level of 1100 m^3 per ton of ammonia, which will reduce the annual volume of CO_2 by 333.9 thousand tons.

Based on the results of the assessment of CO_2 emissions, as well as according to the analysis of technology and data on the main material flows of ammonia production, the main directions of the development of “green” projects that reduce the carbon footprint of ammonia production at the considered enterprise have been identified:

- processing of the extracted CO_2 fraction (for example, involving carbamide in the production process to

create a protective environment for welding metals, for drying molds, for fire extinguishing);

- development and implementation of technologies to reduce the consumption of raw materials in the production of ammonia (for example, the installation of separation of combustible gases from the CO_2 fraction in the CO_2 purification department, reconstruction of the syngas compressor and steam turbine);

- increased energy efficiency as a consequence of the factors mentioned above.

Summarizing the materials given in this section, it can be concluded that currently the production of mineral fertilizers due to technological processes, even with the use of BAT, is associated with GHG emissions. However, increasing the energy efficiency of production entails an inevitable reduction in GHG emissions.

2. Fertilizer logistics

Transport logistics is the optimization of cargo transportation management, that is, the execution of operations for the movement and storage of raw materials, semi-finished products, work-in-progress objects, finished products from places of origin to places of consumption.

For example, when moving commodity batches of mineral fertilizers from producers and commercial intermediaries to consumers, a combination of road, rail and water modes of transport (specialized wagons and vehicles) is used.

The main goal of transport logistics in the agro-industrial complex, as well as logistics in general, is to reduce the cost of physical goods movement. This goal is achieved by observing the following fundamental principles: the fullest possible use of the carrying capacity or cargo capacity of vehicles; organization of cargo delivery without warehouses (using cross-docking

Table 2. Material flows during the production of 1 ton of ammonia (JSC “Azot” Uralchem”, Berezniki) [7]

Таблица 2. Материальные потоки при производстве 1 тонны аммиака (ОАО «Азот» Уралхим», Березники) [7]

Incoming flows			Outgoing flows		
Name	Unit of measurement	Per 1 t of ammonia	Name	Unit of measurement	Per 1 t of ammonia
Natural gas	m^3	1275	NO_x emission	kg	1.86
Nitrogen	m^3	38			
Electricity	kWh	159	CO_2 emission	kg	1.45
Make-up water	m^3	3,65			

technology); multiplicity of the transport unit of cargo to the units of order, dispatch and warehousing (for example, the use of a container); standardization of containers; economies of scale and distance of cargo transportation, since in this case the costs per 1 ton-kilometer are minimal; the concentration of cargo flows on separate channels of distribution of goods and the rejection of uneconomical channels; delivery of goods using just-in-time technology. The implementation of these principles in practice makes it possible to achieve maximum economic efficiency for a transport, manufacturing or trading enterprise. It also determines the energy efficiency of mineral fertilizers transportation and optimizes GHG emissions.

Road transport produces a significant amount of GHG emissions, such as carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). Calculations of emissions from vehicles are based on data on total fuel consumption. The specific heat of combustion and emission factors for each type of fuel must be calculated taking into account the specifics of the fuel used. Taking into account the length of movement of mineral fertilizers, both energy consumption and GHG emissions are estimated.

The methodology for calculating emissions from fuel combustion from motor transport is divided into two parts: assessment of carbon dioxide emissions and assessment of emissions of other gases. The estimate of CO₂ emissions is best calculated based on the amount and type of fuel burned and the carbon content in it. The amount of oxidized carbon practically does not vary depending on the fuel combustion technology used. The assessment of emissions of other gases with a greenhouse effect is more complicated, since it depends on the type of car, fuel, vehicle operation characteristics, and the type of exhaust gas control technology.

Assessment of carbon dioxide emissions from fuel combustion by road

Calculation of carbon dioxide emissions from fuel combustion in internal combustion engines is recommended to be carried out on the basis of accounting for fuel types and engine types. Carbon dioxide emissions by this method are estimated as follows. First, the consumption of each type of fuel is estimated by type of transport (passenger, cargo, buses, special vehicles). Then the total CO₂ emissions are estimated by multiplying the amount of fuel consumed by the emissions factor for each type of fuel and type of transport according to the formula:

$$E = M \times K_1 \times CNV \times K_2 \times 44/12,$$

where E — annual CO₂ emissions in weight units (tons/year); M — actual fuel consumption per year (tons/year); K_1 — carbon oxidation coefficient in fuel (shows the proportion of burnt carbon), table 3; CNV — calorific net value (J/ton), table 3; K_2 — carbon emission factor (tons/J), table 3; 44/12 — the coefficient for converting carbon emissions to carbon dioxide.

Based on these data, let's consider an example of assessing the impact of tractor design on GHG emissions. Table 4 shows comparative calculations when performing transport work as part of Doutz-Fahr Agrottron L720 and Belarus 2022 tractors with a PST-12 trailer, John Deer 6110B and Belarus 82.1 tractors with a 2PTS-6 trailer within a farm. The Doutz-Fahr Agrottron L720 and Belarus 2022 tractors of the same traction class are distinguished by a more advanced gearbox from a foreign analogue, capable of realizing high performance properties. The gearbox of the John Deer 6110B tractor is also more perfect, it has 4 ranges of 6 gears, which contributes to a more rational use of operational properties compared to the Belarus 82.1 tractor [8]. The

Table 3. Coefficients for converting burnt fuel into CO₂ emissions for motor vehicles

Таблица 3. Коэффициенты для преобразования сгоревшего топлива в выбросы CO₂ для автотранспортных средств

Types of fuel	Calorific net value is the lowest, CNV TJ/thousand tons	Carbon emission factor, K ₂ , tC/TJ	Fraction of oxidized carbon, K ₁
Gasoline	44.21	19.13	0.995
Diesel fuel	43.02	19.98	0.995
CNG	47.17	17.91	0.99
Natural gas	34.78	15.04	0.995

Table 4. Indicators characterizing transport units and GHG emissions*Таблица 4. Показатели, характеризующие транспортные единицы и выбросы парниковых газов*

Key indicators	Transport units			
	Belarus 82.1+2PTS-6	John Deer 6110B+2ПТС-6	Belarus 2022+ PST-12	Doutz-Fahr Agrottron L720+ПСТ-12
Load capacity, kN	60.02	60.02	86.05	86.05
Average speed of movement, km/h	22.7	25.1	26.2	27.7
Speed utilization factor	0.77	0.77	0.77	0.77
Traction resistance of a trailer with a load, kN	4.35	4.35	6.06	6.06
Productivity, t/h	4.86	5.38	8.3	8.95
Working hour productivity, t	34	37.6	58.1	62.6
Fuel consumption per transported ton, kg/t	2.62	2.08	2.7	1.73
CO ₂ emissions per ton transported, kg/t	8.216	6.522	8.446	5.425

calculation data on the technical parameters of various tractors and fuel use are given in Table 4.

The presented calculations indicate that the GHG emission is significantly influenced by the machine system as a whole, as well as individual tractors, grain and forage harvesters and other energy means. At the same time, it is very important to properly complete the units both from the point of view of reducing fuel consumption, reducing CO₂, CH₄, NO_x emissions, and the negative impact on the soil — over-compaction, erosion, unjustified use of chemicals and others.

Let's also consider a comparison of transport parameters that determine energy consumption and GHG

emissions with 2 different wheat growing systems [9]. It is known that an optimized life cycle assessment is carried out to compare the global warming potential (GWP) and the use of primary energy in the production and delivery of traditional and organic wheat in the United States. The differences in the impact of agricultural resources, grain cultivation and transport processes are evaluated.

Logistics assessment and detailed analysis of transport chains, taking into account distances, were carried out using the Internet interface for specifying routes along the highway. Table 5 shows primary energy consumption (J) and global warming potential (GWP, measured in g CO₂-eq., 100-year time period) with an

Table 5. Estimation of the values of energy use and global warming potential in two wheat growing systems*Таблица 5. Оценка значений энергопотребления и потенциала глобального потепления в двух системах выращивания пшеницы*

Process	Conventional wheat (reference case)		Organic wheat (reference case)	
	Energy use (J)	Global warming potential (g CO ₂ -eq.)	Energy use (J)	Global warming potential (g CO ₂ -eq.)
Fertilizer production	820	46	21	1.7
Nitrogenous	770	42	0.0	0.0
Phosphatic	50	3.8	21	1.7
Pesticide production	22	1.6	0.0	0
Fertilizer & pesticide transport	29	2.1	31	2.2
Fuel use	22	1.5	25	1.8
Fuel production	7.0	0.5	5.4	0.4

End of table 5

Окончание таблицы 5

Process	Conventional wheat (reference case)		Organic wheat (reference case)	
	Energy use (J)	Global warming potential (g CO ₂ -eq.)	Energy use (J)	Global warming potential (g CO ₂ -eq.)
Wheat farming	490	36	650	48
Tillage	450	32	600	42
Fuel production	37	4.4	49	5.8
N ₂ O emission from soil	n.a.	96	n.a.	96
GHG from manure storage	n.a.	n.a.	n.a.	5.1
Farm machinery production	85	7.3	85	7.3
Subtotal	1400	190	790	160
Flour transport (2000 km)	1900	140	1900	140
Fuel use	1600	110	1600	110
Fuel production	310	25	310	25
Total	3300	330	2700	300

optimized wheat production and delivery system in the amount of 670 g required for 1 kg of loaf of bread. The traditional wheat growing system and the use of mineral fertilizers and the organic system are evaluated.

From the data in this table 5, it can be concluded that, although the organic wheat growing system requires slightly less energy use and is accompanied by lower GWP values, these differences are generally insignificant. It is shown that the GWP of a loaf of organic wheat bread weighing 1 kg is approximately 30 g CO₂-eq. less than that of a conventional loaf. However, it is necessary to take into account the transport shoulder. Thus, with longer transport routes for the delivery of wheat grain (more than 420 km), the differences between the two compared growing systems practically disappear. In addition, other factors are important, such as the accumulation of carbon in the soil and emissions of nitrous oxide from the two systems.

3. Fertilizer application to agroecosystems

In recent years, in Russia the energy intensity of agricultural production has been decreasing, but the share of energy consumption in the cost price has been steadily increasing. Thus, the cost of consumed energy resources in the cost of the main types of agricultural products

averaged 26—35% (in 1985—1990 — 7—15%). High energy consumption indicators indicate a faster growth in the cost of energy carriers and low efficiency of using fuel and energy resources, which negatively affects the cost of production (Table 6).

Significant sources of emissions in agriculture in Russia are the direct release of nitrous oxide from agricultural soils (52557.0 thousand tons of CO₂-eq.) and CH₄ emissions from fermentation of domestic animals (39090.4 thousand tons of CO₂-eq.), while compared with 1990, their volumes decreased by 38,4 and 62,8%, respectively. In 2019, the contribution of nitrous oxide to total agricultural emissions was 59,6%, CH₄ — 39,5%, CO₂ — about 0,8% (Table 7) [11].

Organic agriculture is an environmentally safe and sustainable method of farming, the key features of which are the use of technologies for recycling organic carbon into nutrients: direct processing of manure, effective composting, disposal of residues. The use of organic fertilizers eliminates greenhouse gas emissions during the application of mineral fertilizers and during their production. Agrotechnologies such as mulching, reducing soil erosion and increasing soil fertility, increasing carbon turnover due to nutrient recycling have a positive effect on energy efficiency and GHG

Table 6. Energy intensity of agricultural production in Russia (according to [10])

Таблица 6. Энергоемкость сельскохозяйственного производства в России (по данным [10])

Types of products	Electricity, kWh/t	Fuel (heat), kg cf/t	Total energy consumption (energy intensity), kg cf/t	The share of energy consumption in the cost of production, %
Milk	340	190	230	34.5
Pork	2500	1900	2200	26.5
Beef	1700	800	1000	12.0
Eggs (1000 pcs.)	95	28	38	34.0
Cereals	130	120	140	31.5

Table 7. Sources of greenhouse gas emissions in agriculture in Russia in 1990—2019, million tons of CO₂-eq.Таблица 7. Источники выбросов парниковых газов в сельском хозяйстве России в 1990—2019 гг., млн тонн CO₂-экв.

Source categories	GHG	1990	2000	2010	2017	2018	2019	Dynamics of reduction, 2019/1990, %
Internal fermentation of farm animals	CH ₄	105.2	51.2	40.5	39.4	39.4	39.1	37.2
Manure and manure collection, storage and use systems	CH ₄	13.4	5.6	4.5	5.3	5.4	5.4	40.3
	N ₂ O, direct emission	8.5	4.1	4.0	4.0	3.9	3.6	42.4
	N ₂ O, indirect emission	7.0	3.2	3.1	3.3	3.4	3.2	45.7
Rice cultivation	CH ₄	0.9	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	66.7
Emissions from agricultural land	N ₂ O, direct emission	85.3	46.4	43.5	51.2	50.8	52.6	61.7
	N ₂ O, indirect emission	17.1	6.8	6.6	8.5	8.4	8.7	50.9
Liming of soils and application of urea	CO ₂	10.2	1.0	0.8	0.8	1.0	0.9	8.8
Total		247.5	118.8	106.2	113.1	112.9	114.2	46.1

emissions. In animal husbandry, the use of energy-rich feeds in the diet, changing the duration, time and place of eating and drinking by animals can mitigate GHG emissions. However, with organic farming systems, as a rule, the production of marketable products decreases compared to traditional systems using mineral fertilizers.

In general, resource-saving agriculture is based on such principles as minimal mechanical tillage prior to seed planting, as well as when applying fertilizers, harvesting and other operations; preservation of plant residues on the soil surface (mulching), which allows protecting the soil from water and wind erosion, increasing its productivity, improving physical, chemical

and biological properties of the soil; the use of differentiated crop rotations to control weeds, diseases and pests, improve land productivity under the influence of individual crops; effective management of pasture lands, etc. Integrated management of soil, water and biological resources contributes to the conservation, improvement and efficiency of their use.

The most energy-intensive technological process is tillage, which on average consumes 30—40% of the energy consumed [12]. The reduction of these costs, for example, the use of a ploughshare developed by the authors, kinematically connected to the rotary frame of the plough, allows reducing both energy costs and GHG emissions by 10% during plowing.

Studies on the effect of soil treatments on humus reserves conducted in the chernozem zone of Siberia, Russia, have shown that differentiated tillage is optimal, where the humus content in the 0–30 cm layer has changed from 8.12 to 8.56% over 39 years. The use of permanent dump tillage led to a decrease in the humus content in the 20–30 cm layer from 7.73 to 7.23%, but its increase was noted in the 0–20 cm layer from 8.38 to 8.52%. No-tillage and zero treatment led to an increase in humus in the 0–10 cm layer, but led to a decrease in the humus content in the soil layers by both 0–20 cm and 0–30 cm. Based on this, it can be concluded that the transition to No-Till technologies in this zone to enhance carbon sequestration in chernozem soil is an ineffective technique, although this contributes to energy efficiency due to lower plowing costs [13–18].

Reducing the consumption of fossil fuel and energy resources, the use of renewable energy sources in organic agriculture, primarily solar and wind energy, also contributes to reducing greenhouse gas emissions. The use of liquid biofuels (biodiesel from oilseeds) or mixed with conventional fuel definitely has advantages over conventional fuel in terms of emissions of pollutants into the atmosphere. In addition, carbon dioxide is absorbed during the cultivation of oilseeds themselves, but, on the other hand, their cultivation leads to direct and indirect greenhouse gas emissions. The factor of land use change is important. Therefore, oilseeds in temperate climates also need to be grown using organic technologies to meet their own energy needs.

Similar data were obtained when estimating N_2O and CO_2 emissions from tropical oil palm plantations. A significant influence of soil growing conditions was established, while the use of fertilizers did not always lead to an increase in GHG emissions [19].

Based on long-term studies, the balance of carbon dioxide in crop rotations with sugar beet was estimated [20]. The authors calculated that this indicator consists of:

- absorption of CO_2 by the main and by-products, plant residues, as well as fixation during humification of manure, fixation with soil carbonates, precipitation from the atmosphere (input articles);
- decomposition of plant residues and humus, soil respiration (increases when mineral fertilizers are applied), liming, decomposition of part of manure, removal by surface and groundwater, mineralization of humus (expenditure items).

The dry matter of sugar beet at a yield of 55.0–60.0 t/ha in the conditions of the chernozem region (Russia). It is able to bind about 24.8–28.5 t/ha of CO_2 with the main products (root crops).

The main agricultural methods of crop cultivation (plowing of tops and plant residues, liming, application of manure and mineral fertilizers) contribute to the emission into the atmosphere of about 8.7–11.7 t/ha of carbon dioxide per year, while binding in the organic matter of the soil (subject to the application of manure) of about 4.4–11.2 t/ha of CO_2 per year (according to various estimates).

Reducing the mineralization of humus reserves, organic fertilizers, plant residues through rational soil treatment, the introduction of scientifically based doses of fertilizers, optimization of soil acidity can reduce CO_2 emissions in the soils of beet crop rotations.

According to preliminary calculations, the carbon dioxide balance during the cultivation and processing of sugar beet in the considered region is either negative (since a large amount of CO_2 is bound by products), or close to equilibrium, i.e. beet farming is not a pollutant of the atmosphere with CO_2 emissions, and under certain conditions, it may meet the requirements of carbon farming.

A significant number of studies have been carried out to assess the impact of various energy-efficient agricultural technologies and improved “green” fertilizers on greenhouse gas emissions from soil in agroecosystems. Thus, the use of nitrogen fertilizers with the addition of humic acid leads to a controlled release of nitrogen, which is accompanied by an increase in the yield and digestibility of nitrogen, an increase in the efficiency of nitrogen use and a reduction in greenhouse gas emissions [21].

A detailed overview of the retrospective application of fertilizers in China is given [22]. A quantitative assessment of GHG emissions from the production and application of nitrogen fertilizers during the cultivation of wheat and corn in various provinces and agricultural regions of China was carried out. The authors showed that in the period 2015–2017, the average nitrogen doses for wheat and corn in the high-altitude fields of China were 222 and 197 kg ha⁻¹, respectively. At the same time, a total of 12.63 million tons per year were contributed to these crops. Nationwide, greenhouse gas emissions associated with the production of mineral nitrogen fertilizers were estimated at 41.44 and 59.71 million tons of CO_2 per year for the crops in question. At the same

time, when applying these fertilizers, N_2O emissions due to denitrification processes, according to the authors, amounted to 35.82 and 69.44 Gg year⁻¹. The authors conclude that the production and application of mineral nitrogen fertilizers for wheat and corn on Chinese arable lands is an important source of greenhouse gas emissions in agriculture.

A field experiment was also conducted to study the effect of stabilized nitrogen fertilizer in combination with pig manure on rice yields and emissions of nitrous oxide (N_2O) and methane (CH_4) [23]. Four ways of applying various combinations of mineral and organic fertilizers were studied: urea (U); pig manure (PM); PM and urea (PM + U); PM and stabilized nitrogen fertilizer (urea plus 1% NBPT (N-(n-butyl) thiophosphoric triamide), 1% PPD (phenylphosphorodiamidate) and 2% DMPP (3,4-dimethylpyrazolophosphate)) (PM + U + I). As shown by the authors, in comparison with the PM variant, the PM + U variant significantly increased the total N_2O emissions, but when PM + U + I was introduced, no significant differences were found from PM in cumulative N_2O emissions. This indicates that the use of stabilized nitrogen fertilizer in combination with PM effectively reduces N_2O emissions. The total CH_4 emission when PM + U + I was introduced was lower than when PM and PM + U were introduced. Therefore, a stabilized nitrogen fertilizer in combination with PM can effectively reduce CH_4 emissions. The rice yield on the PM + U and PM + U + I variants did not differ significantly from the yield on the U and PM variants. Accordingly, the authors conclude that local traditional nitrogen application and PM return can provide sufficient nitrogen for rice growth. The total amount of GHG emissions at the production scale (yield-scaled emissions, YSE) in the PM variant was the highest, while in the PM + U + I variant there was a significant decrease in YSE values.

It was found that the emission of N_2O from agro-zems never exceeded 5 mg of N_2O -N/ha per day if the soil contained less than 10 mg of available mineral nitrogen per 1 kg of soil. The introduction of N into the soil with fertilizers almost always led to an increase in the cumulative flow of N_2O from the soil. The largest cumulative flows of N_2O from soils were observed when cattle manure was applied, which was associated not only with the entry of a large amount of available N into the soil, but also with the entry of available C and moisture. The introduction of manure into the soil led to an increase

in the spatial heterogeneity of N_2O emissions from soils, which significantly increased the measurement error.

The emission factor (EF), calculated as the proportion of nitrogen lost in the form of N_2O , in % of the total amount of nitrogen introduced with fertilizers, for sod-podzolic sandy loam soil in different years of the study was greatest for soils receiving high doses of N with mineral fertilizers (from 90 kg N per ha) and varied in different years from 0.5—1.8%. When applying green or organic fertilizers, the EF in the experiments did not exceed 0.62% [24].

Summarizing this section, it should be emphasized that the modern literature has accumulated a huge array of data on the assessment of GHG emissions from the cultivation of various crops in different regions of the world. Here are only some examples indicating the possibility of using these values as a measure of energy efficiency of agricultural production.

Within the framework of this article, it can be noted that the rational application of mineral fertilizers, as well as their various combinations with organic ones, leads to an increase in yields of cultivated crops and an increase in food safety. At the same time, the use of fertilizers leads almost everywhere to a largely inevitable increase in the emission of various greenhouse gases. For example, when nitrogen fertilizers are applied, the carbon- and nitrogen-mineralizing ability of soil organic matter (SOM) increases. This is accompanied by an increase in emissions of both carbon dioxide and nitrogen oxides. A similar effect is manifested in the denitrification of both the introduced nitrogen of mineral fertilizers and the mineralized nitrogen of SOM. In rice agroecosystems, the emissions of these GHGs are supplemented by methane emissions. In general, agroecosystems are a clean source of CO_2 . Therefore, the question of the relationship between GHG emissions and energy efficiency in agroecosystems must necessarily be considered in the context of crop yield growth.

4. Waste utilization

A large amount of agricultural waste (AWs) is generated every day around the world due to the growing needs of a rapidly growing population, whose number exceeded 8 billion in 2022. It is necessary to develop a strategy for their timely use. It will also increase the sustainability of agriculture and food security. AWs is generated from various sources, including plant residues, agro-industrial complex, animal husbandry and aquaculture. The main component of plant residues and agro-industrial waste is cellulose (the

most common biopolymer), lignin and hemicellulose (lignocellulose biomass). Waste and its recycling is a global problem. A recycling-based solution is needed. In this case, recycling can be aimed either at obtaining energy, or at returning to the biogeochemical cycle of the biophilic elements accumulated in waste. This will contribute both to the energy efficiency of agriculture as a whole and to the reduction of GHG emissions (see, for example, [25])

Using as an example the system of accumulation of agricultural waste in Jiangxi Province (China), it was investigated to what extent data on the assessment of resource flows and indicators characterizing the reduction of greenhouse gas emissions can be used to develop policy measures in the field of sustainable use of agricultural waste [26]. The authors showed that when the percentage of agricultural waste increases from 4.41% to 8.61%, the current potential for reducing greenhouse gas emissions subsequently increases by about 3.3 times. At the same time, the maximum potential for reducing GHG emissions may be 16.44×10^8 tons of CO_2 -eq. in this province.

Agricultural waste is largely associated with biodegradable household waste. A large amount of nitrogen is stored in this garbage. It was noted that biodegradable household waste, for example, in China, mainly included food waste, waste paper and wood chips in the amount of 31.56, 29.55 and $6.45 \times 10^6 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, respectively. Accordingly, the nitrogen reserves in China in these wastes were 65.31×10^4 , 6.80×10^4 and $3.81 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$. Nitrogen reserves in food waste provided 86% of the total nitrogen reserves in biodegradable household waste, which is equivalent to 11% of the actual absorption of mineral nitrogen fertilizers ($6.20 \times 10^6 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$) by agricultural plants in China [27].

Another important problem is the recycling of animal waste. For this purpose, it is important to estimate the content of nitrogen (N) and phosphorus (P) in solid organic fertilizer obtained from cattle manure, for example, in the North-West of Russia [28]. The study compared the following approaches: normative indicators for Russia; data calculated by the mass balance method; average experimental data on the content of N and P in cattle manure; analysis of nitrogen and phosphorus content in organic fertilizer. The selected livestock complex with 1,250 heads and a manure yield of $70 \text{ tons per day}^{-1}$ was considered. The authors established a difference between the calculated and experimental data, which was a maximum of 10%, but the experimental data and the

established norms differed by more than 15%. Consequently, even an increase in the nutrient content of organic fertilizer by 10% makes it possible to increase the area of fertilized agricultural land from 451 to 526 hectares.

To calculate greenhouse gas emissions from livestock farms, initial data on livestock are needed. Calculations were carried out for a livestock farm, which has 6 thousand heads of cattle [29]. The calculated method determined the methane emission from the storage systems of cattle biomass on a livestock farm, which amounted to 27,600 kg / year of CH_4 . In terms of CO_2 equivalent, methane emissions are 579.6 tons per year. The emission of N_2O during storage and use of biomass for the livestock farm in question is equal to 845.17 N_2O kg/year. In terms of CO_2 equivalent, this amounts to 262.0 tons per year. The sum of CH_4 and N_2O emissions in CO_2 equivalent from biomass collection and storage systems for the farm in question is 841.6 tons of CO_2 equivalent per year. According to the program developed by the authors for calculating the output of biogas from the waste of livestock farms, the daily production of biogas is calculated. For the livestock farm under consideration, the daily output of biogas was $9,850 \text{ m}^3/\text{day}$ or 3.4 million m^3 per year.

The processing of organic waste in agriculture contributes to the circular economy by returning nutrients to the soil and reducing the need for mineral-based fertilizers [30]. Also, the use of manure makes it possible to create organic systems with a regulated and optimized GHG flow [31]. Table 8 shows the GHG coefficients for pasture ecosystems.

The main contribution to the formation of waste in Russia is created by the food and processing industry. When analyzing the data of the Ministry of Agriculture for 2015—2017, it was revealed that 15,635 thousand tons of agricultural crops account for about 335 thousand tons of primary and secondary waste obtained as a result of technological processes of converting raw materials into food products [43]. The authors carried out the data of calculations and selection of the optimal use of agricultural waste, with the highest energy efficiency and minimum values of the carbon footprint.

One of the alternative uses of waste is the burning of dry residue as fuel pallets. The physical properties of straw residues were considered. The density of the straw residue weighing 400 kg and a volume of 1 m^3 will be 0.4 kg / l. At the same time, the mass of the dry substance

Table 8. Greenhouse gases (GHG) coefficients (kg CO₂-eq. unit⁻¹) of farm facilities for horticultural crops production

Таблица 8. Коэффициенты выбросов парниковых газов (ПГ) (кг CO₂-экв. на единицу⁻¹) сельскохозяйственных объектов для производства садовых культур

Inputs	Unit	GHG Coefficient (kg CO ₂ -eq./unit)	References
Human labor	h	0.36	[32]
Machinery	MJ	0.071	[33]
Electricity	kWh	0.608	[34]
Fuels			
Diesel	L	2.76	[33]
Fertilizers			
MWC / Industrial / on farm Composts	kg	0.040—0.063	[35–37]
Anaerobic digestate (AD)	kg	0.031	[38]
Nitrogen (N)	kg	5.29	[39]
Phosphate (P ₂ O ₅)	kg	0.52	[39]
Potash (K ₂ O)	kg	0.38	[39]
Chemicals			
Insecticides	Kg	5.1	[40]
Fungicides	Kg	3.9	[41]
Herbicides	kg	6.3	[41]
Irrigation water	m ³	0.27	[32]
Plastic pipes PE	kg	2.2	[42]

will be 100 kg. The data of the heat of combustion (MJ/t) for the presented types of residues of vegetable raw materials were found. The conversion factor for CO₂ emissions from wood waste incineration is 0.068 tons

of CO₂/ton of wood waste. Based on calculations, it is shown that the total amount of energy generated during the combustion of the total amount of waste can be 151.93 million. GJ per year (Table 9).

Table 9. The amount of energy generated by burning different types of vegetable raw materials (based on [43])

Таблица 9. Количество энергии, вырабатываемой при сжигании различных видов растительного сырья (на основе [43])

Type of vegetable raw materials	Mass of waste, million tons per year	Heat of combustion, MJ/t	The amount of energy generated during the combustion of the total amount of waste, mln GJ per year
Sunflower husk	7,1	17000	12.08
Rice husk	1,9	13300	25.92
Leftover corn	2,6	14650	38.18
Straw	41,4	15700	65.09
Cotton	7,7	14530	1.118
Legumes	65,1	14650	9.54
Total:		151,93	

According to the data obtained, it can be calculated that the burning of 1 ton of vegetable raw materials (straw residues) corresponds to the burning of 424 m³ of natural gas — a non-renewable fossil fuel. The authors recalculated into energy units based on carbon dioxide emission coefficients for different types of fuel burned (Table 10).

Combustion should be taken into account that the incineration of agricultural waste gives zero GWP, since the CO₂ that entered the air during combustion was previously absorbed from the atmosphere during growth.

Another possible method of processing agricultural waste is anaerobic digestion. This process is a reduction in the initial volume of waste using biological processing in an airless space, followed by the formation of biogas. Anaerobic digestion is often associated with the recovery of methane (CH₄) and combustion for energy.

Thus, for 200 million tons of agricultural waste, there are 1,739.7 mln MWh / year of clean energy (taking into account the maintenance of the complex itself with heat and electricity, as well as the possibility of selling to the consumer). The average output of the CHP is about 3.5 billion kWh per year [44]. Consequently, the values of electricity generation are 4 times less at the biocomplex, however, plant raw materials, not fossil fuels, participate in energy generation, which makes it possible to use the volume of agricultural raw materials waste to a large extent. The results of the calculations showed that the most energy-efficient methods are the burning of fuel brackets of waste (about 152 PWh/year), as well as the generation of biofuels (1740 GWh/year).

At the same time, it has been shown that catalytic additives can be additionally used and this has a positive

effect on the combustion process, as well as reduces emissions of pollutants [45]. The authors of the study calculated that the use of the proposed catalytic additives (CaO and KMnO₄) significantly increases the average temperature in the combustion chamber, makes the process more efficient and more complete with a reduction in carbon monoxide emissions. In the best case scenario, adding CaO reduced CO emissions by 41%, and similarly adding KMnO₄ to biomass pellets reduced CO emissions by 45%.

Another example of recycling is the production of bio-char from agricultural waste. Consider one of the many examples. Thus, the technology of microwave torrefaction is a new method of heating the organic mass, which allows heat to evenly penetrate into the raw material [46].

Straw, manure and other agricultural waste processed using torrefaction processes can be used as raw materials for the production of bio-coal. In turn, various types of bio-coal have a wide range of applications, ranging from remediation of contaminated soils to the creation of new fertilizers based on it. This seems to be an energy-efficient method of reducing GHG emissions.

Table 10. Comparative assessment of CO₂ emissions from the combustion of natural gas and vegetable raw materials, taking into account emission factors (based on [43])

Таблица 10. Сравнительная оценка выбросов CO₂ при сжигании природного газа и растительного сырья с учетом коэффициентов выбросов (на основе [43])

	Amount of waste, t	Natural gas, m ³
Unit of measurement	1	424
CO ₂ emission factor (t/unit)	100	54.4
Total amount of CO ₂ emissions, t	100	23 065

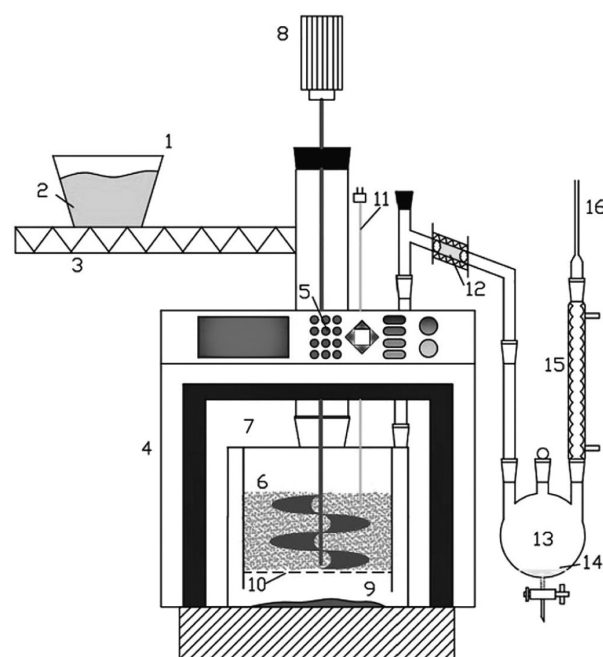


Figure 1. Schematic diagram of microwave-assisted torrefaction system [50]

Рис. 1. Принципиальная схема системы торрефикации с использованием микроволновой печи [50]

A typical experimental system for microwave torrefaction is shown in Fig. 1. The system includes a microwave oven, a reactor, a condenser, a feeder, a gas supply device, a thermocouple and a liquid fractionator [47]. Before starting the process, the feedstock is added to the reactor, through which a carrier gas is blown to remove air from the device. In other modifications, the inert gas purges pyrolysis steam into the gas condenser. The process is easily controlled and does not require mixing or fluidization devices. In conclusion, the microwave torrefaction technology has high scalability and is suitable for processing many types of biomass in large volumes [48, 49].

5. Discussion

Agricultural productivity is based on the process of photosynthesis, which forms the primary products. In the agricultural production sector, it is believed that a combination of technologies to reduce emissions and increase carbon storage in the soil can allow this sector to achieve net negative emissions while maintain-

ing high productivity. However, it has been established that agroecosystems are a net source of emitted GHGs [51]. Modern agricultural technologies for cultivating row crops are responsible for about 5% of greenhouse gas emissions in the United States and the European Union. In a number of countries (Russia, China, India, etc.), at present these values are even higher. In order to reduce GHG emissions, significant efforts are focused on the introduction of such techniques as 0-tillage, the introduction of large doses of organic and “green” fertilizers, in general, on the transition to organic low-carbon farming. At the same time, the potential for reducing emissions was largely neglected. Energy efficiency has also not always been considered as a key GHG emission management process. According to estimates [52], as well as other researchers [53–57], due to a combination of innovations in digital agriculture, crop genetics and microbes, as well as reclamation, it is possible to reduce greenhouse gas emissions by 71% (1744 kg CO₂-eq./ha) when growing row crops over the next 15 years (Fig. 2).

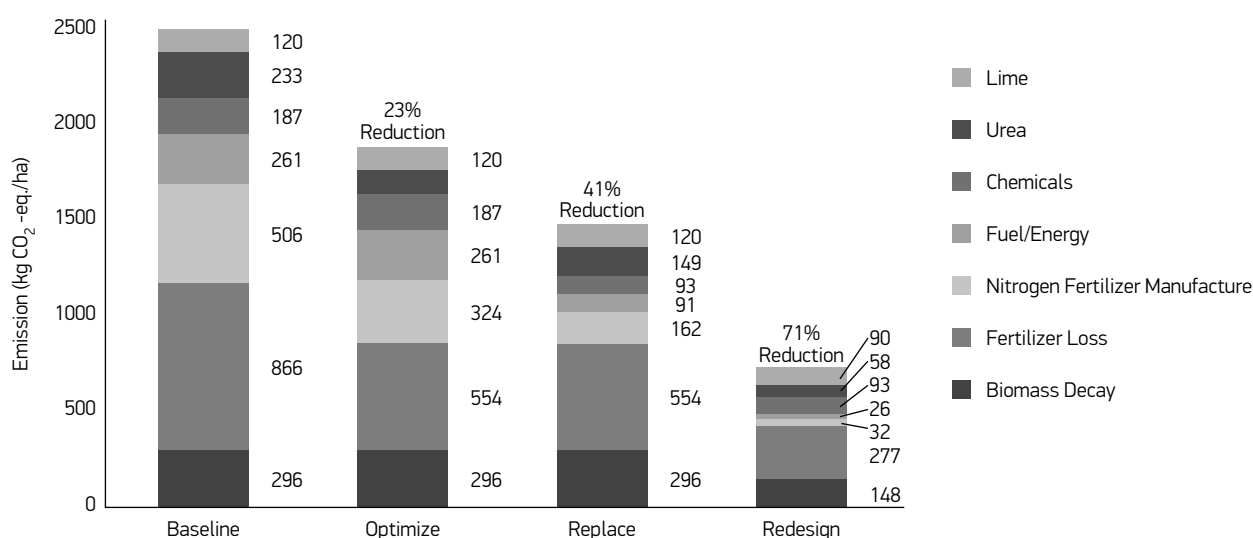


Figure 2. Technical improvements facilitate deep decarbonization of grain production. Numbers are shown as kilograms of CO₂-eq. per hectare and are separated by the emission source. The phases (optimize, replace, and redesign) are distinguished by the technical readiness of the enabling innovations. Implementing the optimization phase is largely possible using current technology, while replacement-phase technologies could be available in 2 to 5 y. and redesign-phase technologies in 5 to 15 y. [52]

Рис. 2. Технические усовершенствования способствуют глубокой декарбонизации производства зерна. Цифры указаны в килограммах CO₂-экв. на гектар и разделены источником выбросов. Этапы (оптимизация, замена и редизайн) отличаются технической готовностью внедряемых инноваций. Реализация фазы оптимизации в значительной степени возможна с использованием современных технологий, в то время как технологии фазы замены могут быть доступны через 2–5 лет, а технологии фазы редизайна — через 5–15 лет [52]

It is important to emphasize that the increase in energy efficiency values will be accompanied by a reduction in GHG emissions. Such a strategy can lower the barrier to widespread adoption by going through several stages with significant improvements. Ultimately, this will help agriculture to maintain its most important social function of providing society with food, while at the same time bringing environmental benefits.

One of the most important practices of implementing this approach is the production and widespread use of the necessary range of complex fertilizers for agriculture [58]. The main advantages of the new forms of complex fertilizers are, first of all, in the balance of mineral nutrition of plants, which is very difficult to ensure when using simple, standard forms of mineral fertilizers. Secondly, energy consumption is reduced by 65—70% for application to the soil by reducing the passage of technical means through the field. This is especially true in the spring, because at the same time, the overcompaction of the soil, which inevitably occurs when using energy-saturated tractors and fertilizer machines, is significantly reduced. In addition, a higher uniformity of fertilizer distribution over the soil surface is provided, which provides better conditions for mineral nutrition of plants. The transition to the use in the agricultural sector of agriculture for the large-scale use of new forms of complex mineral fertilizers will bring the crop industry of agriculture to a new, higher and qualitative level of development and will ensure further increase in crop productivity without increasing the overall need for fertilizers. An important factor in this case is to increase the energy efficiency of agroecosystems as a whole.

At the same time, the fundamental strategy for conducting research on carbon dioxide emissions as a measure of energy efficiency at all stages for the fertilizer system “production — logistic — application in croplands - waste utilization” is to assess the life cycle of both energy and GHG emissions (Fig. 3).

Let's consider the life cycle and coefficients of GHG emissions and the use of various energy sources in the “production — logistic — application in croplands - waste utilization” system. So, based on the data [59], for every ton of nitrogen produced and used on arable land in China, both as part of simple fertilizers (urea) and complex ones (for example, diamphosphos, an average of 13.5 tons of CO₂ equivalent (t CO₂-eq.) is emitted. At the same time, the highest values of GHG emissions are observed

in the technological processes of ammonia synthesis. This is due to the energy-intensive nature of the process of production of mineral fertilizers, as well as in general with the chemical industry, where technological processes require high temperatures and pressures. In addition, the energy intensity of the initial heat sources is important. For example, coal, used in a number of countries as the main source of energy, has low energy efficiency. Coal-fired plants have an emission factor of $> 5 \text{ t CO}_2\text{-eq. t NH}_3\text{-N}^{-1}$ compared to $< 3 \text{ t CO}_2\text{-eq. t NH}_3\text{-N}^{-1}$ for natural gas plants [60—63]. The scale of production also matters. For example, when using the same energy source, large-scale installations emit slightly less GHG per unit N than medium- or small-scale installations. The next stage includes the “fertilizer production” block, aimed at converting ammonia and phosphates into various N-P fertilizers; the processes have a weighted emission factor of $0.9 \text{ t CO}_2\text{-eq. t N}^{-1}$, but a wide range from 0.3 to $> 6 \text{ t CO}_2\text{-eq. t N}^{-1}$ (see, for example, [64, 1]).

Even in modern conditions, coal provides 86% of the energy consumed in the above processes. Methane emissions associated with coal mining have a global warming effect of $11.4 \text{ g CO}_2\text{-eq. MJ}^{-1}$ (10^6 J) compared to $< 2 \text{ g CO}_2\text{-eq. MJ}^{-1}$ when using natural gas or oil [65,62].

The weighted emission factor can be 2.2 tons of CO₂-eq. t⁻¹ fertilizers in the extraction and transportation of fossil fuels used in the fertilizer industry (including 1.8 tons of CO₂-eq. t N⁻¹ from the extraction of energy used for the synthesis of ammonia, and 0.4 tons of CO₂-eq. t⁻¹ when it is used for the production of, for example, N-P fertilizers). For the conditions of China, this is 16% of the total emissions of 13.5 tons of CO₂-eq. t N⁻¹ [62]. Taking into account different sources of raw materials, these values can vary widely — $< 1 \leq 12$ tons of CO₂-eq. per ton of fertilizers produced and used.

In the logistics process and during the transportation of nitrogen and phosphorus fertilizers, the emission coefficients are on average $0.1 \text{ t CO}_2\text{-eq. t}^{-1}$. (the range of values from $< 0.05 \geq 0.25$).

Estimates of GHG emissions from growing crops vary significantly ($< 2 \geq 9 \text{ t CO}_2\text{-eq. t N}^{-1}$). Thus, the size of nitrogen denitrification can be in the wide range from 5 to 90% (averaged at 25—30%) of the mineral nitrogen content in the soils of agroecosystems [66]. Ammonia emissions on alkaline soils, the amount of nitrate leaching and the amount of dry and wet precipitation also vary significantly. For the conditions of China, the emission

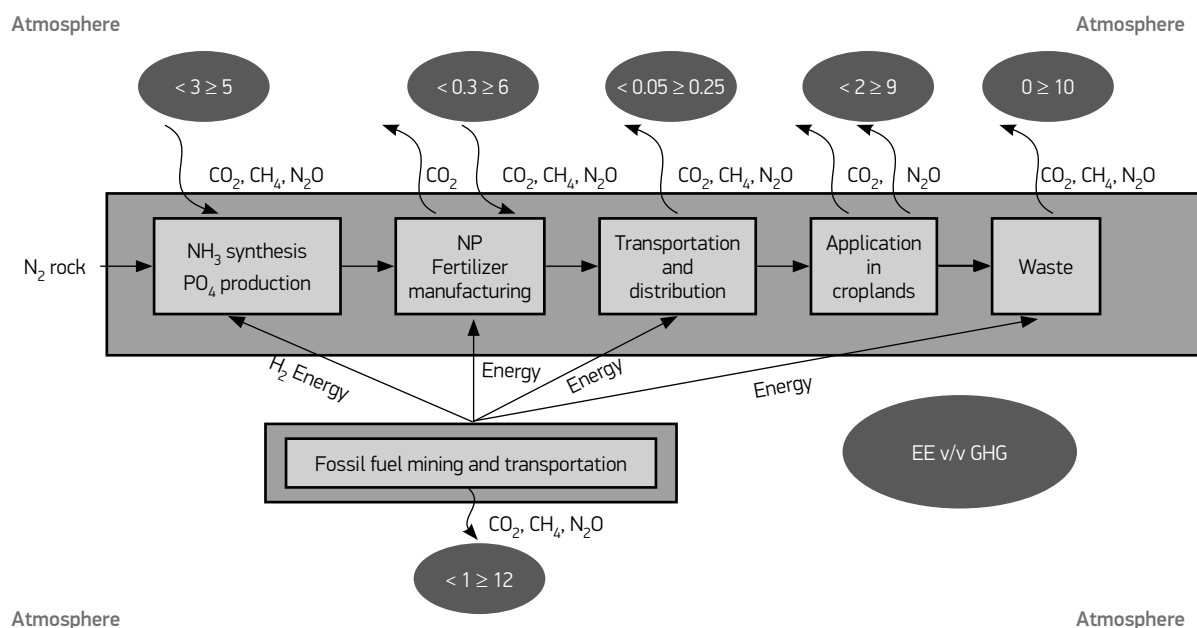


Figure 3. Assessment of the life cycle of greenhouse gas emissions from the production and use of nitrogen and phosphorus fertilizers and weighted emission factors for the main processes (explanations are given in the main text). Atmospheric nitrogen (N_2) combines with hydrogen using energy derived from fossil fuels. The resulting NH_3 reacts with CO_2 , nitric acid, hydrochloric acid or phosphoric acid to produce various fertilizers. These fertilizers are transported in various ways before being applied to arable land. The solid line represents the consumption of materials and N fertilizers. The dotted line represents the exchange of GHG between the chain of production and use of fertilizers, including processing of agricultural waste, and the atmosphere

Рис. 3. Оценка жизненного цикла выбросов парниковых газов при производстве и использовании азотных и фосфорных удобрений и взвешенные коэффициенты выбросов для основных процессов (пояснения даны в основном тексте). Атмосферный азот (N_2) соединяется с водородом, используя энергию, получаемую из ископаемого топлива. Полученный NH_3 вступает в реакцию с CO_2 , азотной кислотой, соляной кислотой или фосфорной кислотой с получением различных удобрений. Эти удобрения транспортируются различными способами перед внесением на пахотные земли. Сплошная линия представляет расход материалов и N удобрений. Пунктирная линия представляет собой обмен ПГ между цепочкой производства и использования удобрений, включая переработку сельскохозяйственных отходов, и атмосферой

coefficients are $5.2 \text{ t CO}_2\text{-eq. t N}^{-1}$, including direct emissions of N_2O ($4.3 \text{ t CO}_2\text{-eq. t N}^{-1}$) as a result of nitrification and denitrification in the soil and indirect emissions (0.9 tons of CO_2 equivalent per ton of nitrogen) [62].

At the end of the chain are greenhouse gas emissions from the processing and/or use of agricultural waste. As noted above, waste processing is significantly affected by the technological processes used, which have a very large variation in the values of their energy efficiency. This also affects the values of relative GHG emissions (from practically no to high values, see Fig. 3).

Consequently, the GHG emission values are a measure of energy efficiency in the “production — logistic — application in croplands — waste utilization” system.

Conclusions

In the context of global climate change and taking into account the increase in anthropogenic greenhouse gas emissions, the sustainability of agricultural systems can be improved by increasing the efficiency of energy use. Various agrotechnological techniques for reducing GHG emissions and increasing carbon sequestration are considered. At the same time, the potential for reducing emissions was largely neglected. Energy efficiency has also not always been considered as a key GHG emission management process.

The materials presented in this article testify to the key role of energy efficiency throughout the entire life cycle in the “production — logistic — application in croplands — waste utilization” system. The values of GHG emissions at

the same time act only as a measure of this energy efficiency. Further, the processing of agro-industrial waste and raw materials using various processes (composting, bioenergy production, bio-coal, biogeochemical recycling of nutrients) can also significantly reduce GHG emissions. However, it can also potentially lead to greenhouse gas emissions as a result of composting and material transportation processes. Moreover, these processes have a positive effect both directly, due to carbon sequestration, and indirectly by preventing the consequences of waste disposal, improving soil quality and minimizing soil losses.

In general, an increase in energy efficiency in the considered life cycle of fertilizers, from production to utilization of agricultural waste, can significantly reduce the role of agricultural production in undesirable GHG emissions. It should be emphasized that reducing the potential of GHG emissions in the production of fertilizers depends on the source of energy used and the transfer of power plants from coal to gas, and especially RES, will be the most significant. When growing products, factors related to the use of modern farming systems based on accurate fertilization, the use of electronic soil maps, precision farming and increasing the efficiency of fertilizer use, in particular, nitrogen and phosphorus, play a very important role.

References

1. Integrated Annual report of PJSC PhosAgro for 2021. 2022. 360p. Available from: www.phosagro.ru.
2. Tikhomirov A. The concept of power supply systems development and energy efficiency increase of fuel use and energy resources in agriculture. Herald of VIESH, 2016; 22(1):11-17. Available from: <https://vestnik.viesh.ru/>
3. Kolpakov AY. Energy efficiency: the role in curbing carbon dioxide emissions and determining factors. Forecasting problems, 2020; 6: 141-154. DOI 10.47711/0868-6351-183-141-153
4. Ouyang X, Fang X, Cao Y, Sun C. Factors behind CO₂ emission reduction in Chinese heavy industries: Do environmental regulations matter? Energy Policy, 2020; 145: October 2020, 111765 doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111765
5. Gilmanova RB, Osintsev KV. Development of a trigeneration cycle at chemical plants for the production of nitrogen fertilizers. Young researcher: materials of the 2nd scientific exhibition-conference of scientific, technical and creative works of students. Chelyabinsk: SUSU Publishing Center, 2015; 515 pp. ISBN 978-5-696-04703-4166-170
6. Shataeva AL, Taskinova IN. Assessment of greenhouse gas emissions from ammonia production and identification of directions for the development and implementation of climate projects. Chemistry. Ecology. Urban studies. Scientific-practical conf. Perm: Publishing House of Perm Polytech. Inst., 2022; 1: 146-150 (https://ceu.pstu.ru/wp-content/uploads/2022/06/Himiya.-Ekologiya.-Urbanistika.-Tom_1.pdf)
7. Information and technical handbook on the best available technologies "Production of ammonia, mineral fertilizers and inorganic acids", 2019 [Electronic resource]. — URL: <http://burondt.ru/index/its-ndt.html> (accessed: 08.03.2022).
8. Iovlev GA, Goldina II. Agriculture, transport and carbon problems. Transport. Transport facilities. Ecology, 2022; 1: 25–35. DOI: 10.15593/24111678/2022.01.04
9. Meisterling K, Samaras C, Schweizer V. Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat. J Clean Prod, 2009; 17: 222-230, 10.1016/j.jclepro.2008.04.009
10. Tikhomirov AV, Markelova EA, Ukhanova VYu. Fuel and power resources based on energy-saving technologies and technical means in agriculture. Agricultural machinery and technology, 2015; 5: 17-24. Available from: www.vim.ru
11. Akhmetshina LG. The possibilities of Russian agriculture in reducing greenhouse gas emissions and adapting to climate change. Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law, 2022; 4 (1): 5-14. URL: <https://vaael.ru/ru/article/view?id=2129> (date of application: 13.12.2022)
12. Semyenova EI, Semenov FV. Energy saving and energy efficiency improvement. Economics, labor, management in agriculture. 2020; 60(3): 86-91. DOI 10/33938/203-85
13. Kastornova MG, Demin E A, Eremin DI. Ecological assessment of the impact of agricultural activity on the emission of carbon dioxide from the leached chernozem of the Tobol-Ishim interfluvium. Agrarian Bulletin of the Urals, 2021; 213(10): 9-20. DOI 10.32417/1997-4868-2021-213-10-10-20.
14. Demina HE, Eremin DI. The effect of mineral fertilizers on the microflora of arable chernozem of the forest-steppe zone of the Trans-Urals. Bulletin of KrasGAU, 2020; 155(2): 63-71. DOI 10.36718/1819-4036-2020-2-63-71.
15. Eremin DI, Akhtyamova A. A. Mineralization of humus in arable chernozem when using mineral fertilizers. Agriculture, 2018; 7: 16-18. DOI 10.24411/0044-3913-2018-10704.

16. Eremin DI, Gruzdeva NA, Eremina D.V. Change in the humus state of gray forest soils of the eastern outskirts of the Trans-Ural plateau under the influence of prolonged plowing. *Eurasian soil science*, 2018; 7: 826-835. DOI 10.1134/S0032180X18070110.
17. Rzaeva V V, Eremin DI. The effect of basic tillage on the humus content in leached chernozem. *AgroForum*, 2021; 6: 38-40 (In Russian). Available from: <http://xn--80ayfipd.xn--p1ai/zhurnal>
18. Eremin DI, Fisunov N. V. Humus state of chernozem when using basic tillage systems. *The Age of Science*, 2020; 24: 37-45. DOI 10.24411/2409-3203-2020-12408.]
19. Sakata R, Shimada S, Arai H, Yoshioka N, Yoshioka R, Aoki H, Kimoto N, Sakamoto A, Melling L, Inubushi K. Effect of soil types and nitrogen fertilizer on nitrous oxide and carbon dioxide emissions in oil palm plantations. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2014; 1: 13 <http://dx.doi.org/10.1080/00380768.2014.960355>
20. Minakova O A, Kosyakin PA. CO₂ balance in sugar beet cultivation in the Russian Federation (review). *Sugar*, 2022; 3: 32-37. doi.org/10.24412/2413-5518-2022-3-32-37
21. Guo Y, Ma Z, Ren B, Zhao B, Liu P, Zhang J. Effects of Humic acid added to controlled-release fertilizer on summer maize yield, nitrogen use efficiency and greenhouse gas emission. *Agriculture*, 2022; 12: 448. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040448>
22. Chai R, Ye X, Ma C, Wang Q, Tu R, Zhang L, Gao H. Greenhouse gas emissions from synthetic nitrogen manufacture and fertilization for main upland crops in China. *Carbon Balance Management*, 2019; 14:20 <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0133-9>
23. Wu KK, Gong P, Zhang LL, Wu ZJ, Xie XS, Yang HZ, Li WT, Song YC, Li DP (2019): Yield-scaled N₂O and CH₄ emissions as affected by combined application of stabilized nitrogen fertilizer and pig manure in rice fields. *Plant Soil Environ.*, 2019; 65: 497–502
24. Rizhiya EY, Buchkina NP, Mukhina IM, Balashov E.V. Long-term monitoring of the direct nitrous oxide emission from loamy sand sod-podzolic soils. Materials of the II International Scientific Conference “Trends in the development of agrophysics: from current problems of agriculture and crop production to technologies of the future”, dedicated to the memory of Academician E. I. Ermakov. St. Petersburg, 02-04 October 2019 — St. Petersburg: FGBNU AFI, 2019; 117-122. Available from: <https://agrophys.ru/>
25. Macura B, Johannesdottir SL, Piniewski M, Haddaway NR, Kvarnstrom E. Effectiveness of ecotechnologies for recovery of nitrogen and phosphorus from anaerobic digestate and effectiveness of the recovery products as fertilisers: a systematic review protocol. *Environ Evid.*, 2019; 8:29 <https://doi.org/10.1186/s13750-019-0173-3>
26. Yu B, Liu X, Ji C, Sun H. Greenhouse gas mitigation strategies and decision support for the utilization of agricultural waste systems: A case study of Jiangxi Province, China. *Energy*, 2023; 265(C). DOI: 10.1016/j.energy.2022.126380
27. Wang L, Qin T, Zhao J, Zhang Y, Wu Z, Cui X, Zhou G, Li C, Guo L, Jiang G. Exploring the nitrogen reservoir of biodegradable household garbage and its potential in replacing synthetic nitrogen fertilizers in China. *PeerJ*, 2022; 10: e12621 DOI 10.7717/peerj.12621
28. Briukhanov A, Luostarinen S, Trifanov A, Shalavina E, Kozlova N, Vasilev E, Subbotin I. Revision of the total nitrogen and phosphorus content in cattle manure-based organic fertilizer in North-West Russia. *Agricultural and Food Science*, 2021; 30: 44–52. <https://doi.org/10.23986/afsci.99191>
29. Kolosova N, Monakh S. Evaluation of greenhouse gas emissions from livestock farms waste storage. *Engineering systems and technogenic safety*, 2015; 5 (115): 49-52. Available from: <http://isguru.ru>
30. López-Cano I, Luz Cayuela M, Sánchez-García M, Sánchez-Monedero MA. Suitability of different agricultural and urban organic wastes as feedstocks for the production of biochar—Part 2: Agronomical evaluation as soil amendment. *Sustainability*, 2018; 10: 2077. doi:10.3390/su10062077
31. Diacono M, Persiani A, Testani E, Montemurro F, Ciaccia C. Recycling agricultural wastes and by-products in organic farming: biofertilizer production, yield performance and carbon footprint analysis. *Sustainability*, 2019; 11: 3824. doi:10.3390/su11143824]
32. Ozalp A, Yilmaz S, Ertekin C, Yilmaz I. Energy analysis and emissions of greenhouse gases of pomegranate production in Antalya province of Turkey. *Erwerbs-Obstbau*, 2018; 60: 321–329. <https://doi.org/10.1007/s10341-018-0380-z>
33. Dyer JA, Desjardins RL. Simulated farm fieldwork, energy consumption and related greenhouse gas emissions in Canada. *Biosyst. Eng.*, 2003; 85: 503–513. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00135-6](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00135-6)
34. Khoshnevisan B, Rafiee S, Omid M, Yousefi M, Movahedi M. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, 2013; 52: 333–338. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.028>

35. Cadena E, Colón J, Artola A, Sánchez A, Font X. Environmental impact of two aerobic composting technologies using life cycle assessment. *Int. J. Life Cycle. Assess.*, 2009; 14: 401–410. <https://doi.org/10.1007/s11367-009-0107-3>
36. Fiore A, Lardo E, Montanaro G, Laterza D, Loiudice C, Berloco T, Dichio B, Xiloyannis C. Mitigation of global warming impact of fresh fruit production through climate smart management. *J. Clean Prod.*, 2018; 172: 3634–3643. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.062>
37. Pergola M, Persiani A, Palese AM, Di Meo V, Pastore V, D'Adamo C, Celano C. Composting: The way for a sustainable agriculture. *Appl. Soil Ecol.*, 2018; 123: 744–750. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.016>
38. Møller J, Boldrin A, Christensen TH. Anaerobic digestion and digestate use: Accounting of greenhouse gases and global warming contribution. *Waste Manag. Res.*, 2009; 27: 813–824. <https://doi.org/10.1177/0734242X09344>
39. Smith A, Brown K, Bates J, Ogilvie S, Rushton K. Waste Management Options and Climate Change. Final Report to the European Commission; DG Environment, AEA Technology; Abingdon, UK, 2001; p. 224.
40. Lal R. Carbon emission from farm operations. *Environ. Int.*, 2004; 30: 981–990. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.03.005>
41. Graefe S, Tapasco J, Gonzalez A. Resource use and greenhouse gas emissions of eight tropical fruits species cultivated in Colombia. *Fruits*, 2013; 68: 303–314. DOI: 10.1051/fruits/2013075
42. Martínez-Mate MA, Martín-Gorriz B, Martínez-Alvarez V, Soto-García M, Maestre-Valero JF. Hydroponic system and desalinated seawater as an alternative farm productive proposal in water scarcity areas: Energy and greenhouse gas emissions analysis of lettuce production in southeast Spain. *J. Clean Prod.*, 2018; 172: 1298–1310. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.275>
43. Matasov AV, Makarova AS, Avdeenkova TS. Quantitative assessment of greenhouse gas emissions from agricultural waste processing technologies. *Herald of MASI. Computer science, ecology, economics*, 2019; 21: 21–25. (<https://cat.gpntb.ru/?id=EC/ShowFull&irbDb=ESVODT&bid=db97600f33fa0376581c4b176dc37b42>)
44. Global trends in energy consumption. <http://www.econews.uz> (accessed: 10.05.2019).
45. Najser T, Gaze B, Knutel B, Verner A, Najser J, Mikeska M, Chojnacki J, Nemcek O. Analysis of the effect of catalytic additives in the agricultural waste combustion. *Process. Materials* 2022; 15: 3526. <https://doi.org/10.3390/ma15103526>
46. Su K, Qin Q, Yang J, Li L, Deng S. Recent advance on torrefaction valorization and application of biochar from agricultural waste for soil remediation. *Journal of Renewable Materials (JRM)*, 2022; 10(2) DOI: 10.32604/jrm.2022.018146
47. Li L, Ma X, Xu Q, Hu Z. Influence of microwave power, metal oxides and metal salts on the pyrolysis of algae. *Bioresource Technology*, 2013; 142(2): 469–474. DOI 10.1016/j.biortech.2013.05.080
48. Beneroso D, Bermúdez JM, Arenillas A, Menéndez JA. Microwave pyrolysis of microalgae for high syngas production. *Bioresource Technology*, 2013; 144: 240–246. DOI 10.1016/j.biortech.2013.06.102
49. Hu Z, Ma X, Chen C. A study on experimental characteristic of microwave-assisted pyrolysis of microalgae. *Bioresource Technology*, 2013; 107: 487–493. DOI 10.1016/j.biortech.2011.12.095.
50. Zhou J, Liu S, Zhou N, Fan L, Zhang Y, et al. Development and application of a continuous fast microwave pyrolysis system for sewage sludge utilization. *Bioresource Technology*, 2018; 256(1): 295–301. DOI 10.1016/j.biortech.2018.02.034.
51. Bashkin V, Alekseev A, Levin B, Mescherova E. Biogeochemical technologies for managing CO₂ flows in agroecosystems. *Adv Environ Eng Res.*, 2023; 4(1): 012; doi:10.21926/aer.2301012
52. Northrup DL, Bassob B, Wang MQ, Morgan CLS, Benfey PN. Novel technologies for emission reduction complement conservation agriculture to achieve negative emissions from row-crop production. *PNAS*, 2021; 118(28): e2022666118 <https://doi.org/10.1073/pnas.2022666118>
53. Udvardi M., Below F.E., Castellano M.J., Eagle A.J., Giller K.E., Ladha J.K., Liu X., Maaz T.M., Nova-Franco B., Raghuram N., Robertson G.P., Roy S., Saha M., Schmidt S., Tegeder M., York L.M. and Peters J.W. A research road map for responsible use of agricultural nitrogen. *Front. Sustain. Food Syst.*, 2021; 5: 660155. doi: 10.3389/fsufs.2021.660155.
54. Bashkin VN. Increasing the efficiency of nitrogen use: assessing the nitrogen-mineralizing capability of soils. *Russian Agricultural Sciences*, 2022; 48(4): 283–289. DOI: 10.3103/S1068367422040012.
55. Bashkin VN, Arabskiy AK. The role of natural gas in ensuring global food security. *Gas Business*, 2022; 2: 11–17 (in Russian). Available from: <https://gazo.ru/ru/media/publications/magazine/>
56. Bashkin VN, Alekseev AO. Global food security and fundamental role of fertilizer. Part 1. Global food security and

- fertilizer production. *Issues of Risk Analysis*, 2022; 19(3): 60-73, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2022-19-3-60-73>.
57. Bashkin VN, Alekseev AO. Global food security and fundamental role of fertilizer. Part 2. Fundamental role of fertilizer in food production. *Issues of Risk Analysis*, 2022; 19(4): 10-29, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2022-19-4-10-29>
 58. Lapa VV. Soil fertility management system in the Republic of Belarus. Materials of the II International Scientific Conference "Trends in the development of agrophysics: from current problems of agriculture and crop production to technologies of the future", dedicated to the memory of Academician E. I. Ermakov. St. Petersburg, October 02-04, 2019, St. Petersburg: FGBNU AFI, 2019; 37-44. Available from: <https://agrophys.ru/>
 59. Zhang WF, Dou ZX, He P, Ju XT, Powlson D, Chadwick D, Norse D, Lu YL, Zhang Y, Wu L, Chen XP, Cassman KG, Zhang FS. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2013; 110: 8375-80
 60. Samsonov RO, Bashkin VN., Akopova GS. Assessment of the greenhouse gas market. M.: IRC-Gazprom, 2007; 80 p.
 61. Samsonov RO, Kazak AS, Bashkin VN. Master plan methodology for gas industry development. Moscow: Scientific World Publishing House. 2007; 304 pp.
 62. Zhang WF, Dou ZX, He P, Ju XT, Powlson D, Chadwick D, Norse D, Lu YL, Zhang Y, Wu L, Chen XP, Cassman KG, Zhang FS. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2013; 110: 8375-80. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1210447110
 63. Markelov VA, Andreev OP, Kobylkin DN, Arabsky AK, Arno OB, Tsybulsky PG, Bashkin VN, Kazak AS, Galiulin RV. Gas industry sustainable development. Moscow: Publishing house "Nedra", 2013; 211 p.
 64. Bulatkin G.A. Ecological and energy bases of reproduction of soil fertility and increase of productivity of agroecosystems. Abstract of the dissertation of the Doctor of Biological Sciences. Moscow, 2007, 48 p
 65. Ampilov YuP, Gert AA. Economic geology. Moscow: Geoinformmark. 2006. 329 pp.
 66. Kudayarov V.N. Agrogeochemical cycles of carbon and nitrogen in modern agriculture of Russia. *Agrochemistry*. 2019. № 12. С. 3-15 DOI: 10.1134/S000218811912007X

Authors

Bashkin Vladimir N.: Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science of the Russian Academy of Sciences
Number of publications: more than 400

Research interests: geocological risks, gas industry, biogeochemistry

ResearcherID: J-4621-2018

Scopus Author ID: 7005340339

Contact information:

Address: Institutskaya str., 2, Pushchino, Moscow region, 142290, Russia
vladimrbashkin@yandex.ru

Alekseev Andrey O.: Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Head of the Department, Head of the Institute of Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science of the Russian Academy of Sciences

Number of publications: about 200

Research interests: soil science, soil mineralogy, biogeochemistry, geochemistry, environmental magnetism, soil organic matter, soil evolution, paleosols, paleogeography, Pleistocene, Holocene, Paleozoic

Scopus ID: 7202889447

ResearcherID: L-1162-2014

ORCID: 0000-0001-5158-4454

AuthorID: 58747

Contact information:

Address: Institutskaya str., 2, Pushchino, Moscow region, 142290, Russia
alekseev@issp.serpukhov.su

Статья поступила в редакцию: 22.03.2023

Одобрена после рецензирования: 24.03.2023

Принята к публикации: 13.04.2023

Дата публикации: 30.06.2023

The article was submitted: 22.03.2023

Approved after reviewing: 24.03.2023

Accepted for publication: 13.04.2023

Date of publication: 30.06.2023

УДК 614.8

<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-50-59>

ISSN 1812-5220

© Проблемы анализа риска, 2023

Факторы снижения качества воздуха в общественных и жилых помещениях

Малышев В.П.*,
Виноградов О.В.,
Родионов И.А.,

Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий)
121352, Россия, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 7

Аннотация

В настоящей статье представлены характеристики опасных химических веществ, которые могут находиться в общественных и жилых помещениях, рассмотрены возможные источники выделения опасных химических веществ в воздушную среду помещений, рассмотрен углекислый газ как дополнительный фактор ухудшения качества воздуха в помещениях.

Ключевые слова: качество воздуха; загрязнители воздуха; состав воздуха в помещении; углекислый газ; влияние углекислого газа на организм.

Для цитирования: Малышев В.П., Виноградов О.В., Родионов И.А. Факторы снижения качества воздуха в общественных и жилых помещениях // Проблемы анализа риска. 2023. Т. 20. № 3. С. 50—59, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-50-59>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Factors of Air Quality Reduction in Public and Residential Premises

Vladlen P. Malyshev*,
Oleg V. Vinogradov,
Igor A. Rodionov,

All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations of EMERCOM of Russia,
Davydkovskaya str., 7, Moscow, 121352, Russia

Abstract

This article presents the characteristics of hazardous chemicals that can be found in public and residential premises, considers possible sources of release of hazardous chemicals into the indoor air environment, considers carbon dioxide as an additional factor in the deterioration of indoor air quality.

Keywords: air quality; air pollutants; indoor air composition; carbon dioxide; the effect of carbon dioxide on the body.

For citation: Malyshev V.P., Vinogradov O.V., Rodionov I.A. Factors of air quality reduction in public and residential premises // Issues of Risk Analysis. 2023;20(3):50-59, (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-50-59>

The authors declare no conflict of interest.

Содержание

Введение

1. Общая характеристика и классификация опасных химических веществ, которые могут находиться в помещениях жилых и общественных зданий

2. Накопление углекислого газа в помещениях жилых и общественных зданий

3. Влияние углекислого газа на организм человека

4. Результаты экспериментальных исследований динамики изменения концентрации углекислого газа в воздухе помещения

Заключение

Литература

Введение

Внешняя среда оказывает большое влияние на здоровье человека. Наблюдения показывают, что жители городов большую часть жизни проводят в помещениях (дома, на работе, в общественных местах). От качества воздушной среды, температурных, световых и физико-химических характеристик этих помещений во многом зависит здоровье граждан [1].

Учет влияния опасных факторов нахождения людей в помещениях, достоверные прогнозные оценки их воздействия на организм человека позволяют заблаговременно принять необходимые меры по защите граждан и смягчению последствий от неблагоприятного воздействия негативных факторов.

В настоящее время принято выделять пять основных факторов, оказывающих существенное воздействие на здоровье и самочувствие граждан [1]:

- микроклиматический фактор;
- радиационный фактор;
- электромагнитное излучение;
- микробиологический фактор;
- токсико-химический фактор.

Токсико-химический фактор, как наиболее распространенный, целесообразно оценивать особенно тщательно. Он определяется наличием в воздушной среде помещений паров опасных химических веществ, которые поступают за счет применения экологически «грязных» строительно-отделочных материалов, мебели, использования продукции бы-

товой химии, косметических, лекарственных препаратов, поступления извне вследствие промышленных выбросов и эксплуатации автотранспортных средств, а также образования опасных концентраций углекислого газа в местах пребывания людей в помещениях [2].

В связи с этим целями исследования являются анализ потенциальных загрязнителей воздуха в помещениях жилых и общественных зданий, оценка влияния углекислого газа на качество воздуха в помещениях.

1. Общая характеристика и классификация опасных химических веществ, которые могут находиться в помещениях жилых и общественных зданий

Опасные химические вещества по характеру действия делятся на вещества раздражающего, прижигающего, удушающего, общетоксического действия, вызывая ожоги, нервные, респираторные, сердечно-сосудистые, желудочно-кишечные, мутагенные, аллергенные и канцерогенные болезни. На основании обобщения результатов химико-аналитической оценки различных строительных материалов, мебели и других бытовых изделий к возможным источникам выделения вредных веществ в воздушную среду помещений могут быть отнесены следующие изделия, приведенные в табл. 1 [1, 3—5].

Таблица 1. Данные по выделению вредных веществ различными строительными материалами и бытовыми изделиями

Table 1. Data on the release of harmful substances by various building materials and household products

№ п/п	Наименование материалов или изделий	Возможные летучие вредные вещества или аэрозоли
1	Линолеум	Бензол, толуол, кумол, бутилацетат, хлороформ, четыреххлористый углерод, изопропил бензол, триметилбензол
2	Герметизирующая рецептура на основе фенол-резольного пенопласта	Фенол, формальдегид, орто- и паракрезолы, этилбензол
3	Древесно-стружечные плиты и мебель, изготовленная из них	Фенол, формальдегид, орто- и пара-крезолы, бутилацетат
4	Бумажные обои с клеем	Этилацетат, камфара, метиловый спирт, толуол, ксилол
5	Синтетические обои с полимерным или металлизированным покрытием	Стирол, бутиловый спирт, этилбензол, фталаты, хром, марганец, цинк, медь, свинец
6	Герметизирующие ленты	Толуол, фталаты, четыреххлористый углерод, хлорфенол, октил

Окончание таблицы 1

End of table 1

№ п/п	Наименование материалов или изделий	Возможные летучие вредные вещества или аэрозоли
7	Мастики клеящие	Формальдегид, нафтол, фталаты, этилацетат, октил
8	Мебель из дерева, паркет, половая доска	Формальдегид, толуол, дифенилэтан, хлорфенол, бутиловый спирт, бутилацетат
9	Битумные мастики, смоляная пакля	Стирол, бензол, фенол, крезолы, толуол, ксилол, этилбензол, хлороформ
10	Изделия из полихлорвиниловых пластиков	Хлорвинил, фталаты, хлористый водород
11	Лакокрасочные покрытия на основе солей свинца (свинцовый сурик)	Свинец, этилбензол, бутилацетат, скипидар, амиловый спирт
12	Изделия из асбестосодержащих материалов: кабины санузлов, вентиляционные колодцы, подоконники	Асбестовые волокна, пыль, кальций, магний, кремний
13	Ковровые изделия	Нафталин, хлорфенол, бутиловый спирт, этилацетат
14	Ковролин с клеящим составом	Фталаты, нафтол, диметиланилин, ксилол

Воздушные среды помещений могут также загрязняться продуктами табакокурения, веществами, образующимися в ходе приготовления пищи, средствами личной гигиены, косметики, лекарственными и моющими препаратами. Кроме этого вредные вещества могут поступать в помещения с наружным воздухом. В крупных мегаполисах основной вклад в загрязнение воздушной среды вносит автотранспорт, который выделяет двуокись азота, окись углерода, фенол, аммиак, свинец, бензопирен и другие вредные веществ [6].

Исторические центры многих городов Европы, включая Москву, сильно загрязнены тяжелыми металлами: цинком, свинцом, кадмием, медью, никелем и хромом. Это обусловлено разрушением старых покрытий стен зданий. Минеральные покрытия старых зданий содержат значительное количество оксидов тяжелых металлов и, разрушаясь, загрязняют воздушную среду и почву городов. Промышленные предприятия, имеющие химические, нефтехимические, литейные и другие химически опасные производства, также вносят свой вклад в загрязнение воздушной среды.

Имели место случаи загрязнения жилых и учебных помещений, когда из-за небрежного обращения с опасными химическими веществами, а также

в результате преднамеренных действий озорных подростков, психически ненормальных или экстремистски настроенных людей учебные классы, подъезды домов, помещения общественного пользования подвергаются заражению сильно пахнущими или ядовитыми веществами. Опыт ликвидации подобных чрезвычайных ситуаций имеется у многих поисково-спасательных формирований МЧС России в крупных городах.

Контроль состояния воздушной среды помещений на содержание вредных веществ проводится на химико-аналитической аппаратуре. Определение органических веществ осуществляется с помощью хроматографической и хромато-масс-спектрометрической аппаратуры. Для определения неорганических веществ обычно используются атомно-эмиссионная аппаратура или масс-спектрометры с индуктивно связанной плазмой. Для количественного определения аэрозолей и асбестовых волокон используется оптико-электронная микроскопная аппаратура.

Большинство химических загрязнителей воздушной среды жилых помещений обладает широким спектром вредного воздействия. Характер вредного воздействия различных химических веществ приведен в табл. 2 [1].

Таблица 2. Токсические свойства наиболее распространенных загрязнителей воздушной среды квартир

Table 2. Toxic properties of the most common air pollutants of apartments

№ п/п	Наименование вещества	Характер воздействия на организм человека
1	Фенол, орто- и паракрезолы, хлорфенол	Клеточные яды, поражают нервную систему, вызывают раздражение дыхательных путей, расстройство пищеварения, общую слабость, потливость, слезотечение, кожный зуд, раздражительность, бессоницу
2	Формальдегид	Обладает канцерогенными и мутагенными свойствами, вызывает раздражение глаз, органов дыхания, аллергический насморк, трахеиты, бронхиты с астматическими проявлениями
3	Бензол	Поражает нервную систему, вызывает головную боль, одышку, кровоточивость десен
4	Стирол	Обладает ярко выраженным раздражительным действием на слизистые оболочки, вызывает нервные и желудочно-кишечные расстройства, нарушение сна, одышку, сердцебиение
5	Фталаты	Обладают общетоксическим, кумулятивным и раздражительным действием
6	Хлороформ	Обладает канцерогенными свойствами и наркотическим действием, поражает нервную и сердечно-сосудистую системы
7	Псевдокумол	Поражает нервную систему и желудочно-кишечный тракт
8	Асбест	Является канцерогенным веществом, способным вызывать опухоли органов дыхания. Чем короче волокна и меньше их диаметр, тем они опаснее
9	Ртуть	Поражает нервную систему, вызывает слабость, сонливость, головную боль, дрожание конечностей, судороги
10	Свинец	Вызывает расстройства центральной нервной системы, поражает зрение и обоняние, развивается слабость, головная боль, дрожание конечностей, век, языка
11	Медь	Поражает нервную систему, вызывает язву желудка, дерматиты и конъюнктивиты
12	Цинк	Вызывает желудочно-кишечные расстройства, раздражительность, бессоницу, снижение памяти и слуха

2. Накопление углекислого газа в помещениях жилых и общественных зданий

В октябре 2022 г. международная группа ученых заявила, что концентрация углекислого газа в атмосфере Земли достигла 418 ppm, что является самой высокой среднемесячной глобальной концентрацией, когда-либо зарегистрированной [7].

Основными составляющими атмосферного воздуха являются азот, кислород и аргон (табл. 3), доля остальных газов существенно меньше [8].

Азот и аргон являются инертными и не взаимодействуют с организмом человека. Состав вдыхаемого и выдыхаемого воздуха приведен в табл. 4 [9].

Степень усвоения кислорода невелика, около 0,25. После вдоха организм выдыхает обратно основную часть кислорода. Углекислый газ практически

Таблица 3. Химический состав осушенного воздуха [8]

Table 3. Chemical composition of the dried air

Вещество	Обозначение	Доля в воздухе, % об.
Азот	N ₂	78,084
Кислород	O ₂	20,946
Аргон	Ar	0,934
Углекислый газ	CO ₂	0,03
Неон	Ne	0,001818
Криптон	Kr	0,000114
Метан	CH ₄	0,0002
Гелий	He	0,000524
Водород	H ₂	0,0005
Ксенон	Xe	0,0000087

Таблица 4. Состав вдыхаемого и выдыхаемого воздуха [9]*Table 4. Composition of inhaled and exhaled air*

	Доля газов в воздухе, % об.			
	O ₂	CO ₂	Ar	N ₂
Вдыхаемый воздух	21	0,04	0,9	78
Выдыхаемый воздух	16	4	0,9	78

отсутствует во вдыхаемом воздухе и активно образуется при окислительных реакциях в организме.

По данным Н.Д. Семкина, общее количество потребляемого в сутки кислорода и выделяемого за это время углекислого газа зависит в основном от уровня энерготрат и в меньшей мере от состава суточного рациона. Основное потребление кислорода увеличивается по нелинейному закону с увеличением веса тела, но главной переменной, определяющей уровень энерготрат, является мышечная деятельность, которая оказывает наибольшее влияние на потребление кислорода [10].

Вследствие различного уровня физической активности в пределах умеренной работы весовое потребление кислорода для человека весом в 70 кг может изменяться в пределах от 0,5 до 1,0 кг в сутки. В стандартных условиях газовой среды потребление кислорода составляет 7,3...7,5 дм³ на 1 кг веса. Однако, учитывая серьезные последствия даже кратковременного воздействия гипоксии, основные расчеты систем обеспечения жизнедеятельности проводят исходя из стандартного потребления 1 кг кислорода на человека в сутки, что по объему соответствует 1000 дм³ [10].

Исходя из нормального значения дыхательного коэффициента, равного 0,83, можно вычислить количество углекислого газа, выделяемого при поглощении кислорода. Так, если величина потребленного кислорода составляет 1000 дм³ в сутки при дыхательном коэффициенте К_д = 0,83, то выделится 830 дм³ углекислого газа [10].

Экспериментальные исследования динамики накопления углекислого газа в помещении, проведенные С.Н. Бесединым в Волгоградском государственном социально-педагогическом университете, показали, что в течение часа в помещении объемом 215 м³

при нахождении 11 человек содержание углекислого газа увеличивается вдвое (с 903 до 1735 ppm) [11].

В процессе исследований было установлено, что один человек в покое выделяет углекислого газа в среднем 17 л/час, а при выполнении легкой работы это значение увеличивается в среднем до 22,6 л/час.

3. Влияние углекислого газа на организм человека

Углекислый газ нетоксичен в небольших концентрациях, однако вдыхание его при повышенных концентрациях в воздухе оказывает на живые организмы удушающее действие.

Нормальный уровень углекислого газа на открытом воздухе составляет 350—450 ppm. Этот уровень зависит от многих факторов, таких как размер города, количество автотранспорта на улицах, время года, время суток, температура окружающей среды и многих других.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» определяет классы качества воздуха исходя из содержания углекислого газа в воздухе жилых и общественных помещений (табл. 5).

Согласно данному межгосударственному стандарту качество воздуха относится к низкому при содержании углекислого газа более 1000 ppm.

Растворенный в крови углекислый газ активизирует дыхательный центр мозга в физиологических и несколько повышенных концентрациях. Повышение концентрации, вплоть до 2000—4000 ppm, в помещениях приводит к развитию у людей сонливости и слабости. В значительно более высоких концентрациях оно приводит к снижению или

Таблица 5. Классификация воздуха в помещениях*Table 5. Classification of indoor air*

Класс	Качество воздуха в помещении		Допустимое содержание CO ₂ , ppm
	оптимальное	допустимое	
1	Высокое		400 и менее
2	Среднее		400—600
3		Допустимое	600—1000
4		Низкое	1000 и более

Таблица 6. Влияние углекислого газа на организм человека [12—14]

Table 6. The effect of carbon dioxide on the human body

Уровень углекислого газа, ppm	Влияние на организм человека
1000—1200	Расширяются кровеносные сосуды в мозге, снижается активность нейронов и уменьшается объем коммуникации между регионами мозга
1200—2500	Развитие у людей сонливости и слабости
2500—5000	Наблюдаются головная боль, раздражение верхних дыхательных путей
5000—7000	Возникают головные боли и головокружение
7000—8000	Учащается сердцебиение (тахикардия), появляются рвота, головокружение, повышение артериального давления, одышка, возможна потеря сознания
Свыше 8000	Отравление с последующим смертельным исходом в течение 30—60 минут
Свыше 20 000	Смерть от остановки дыхания через несколько секунд

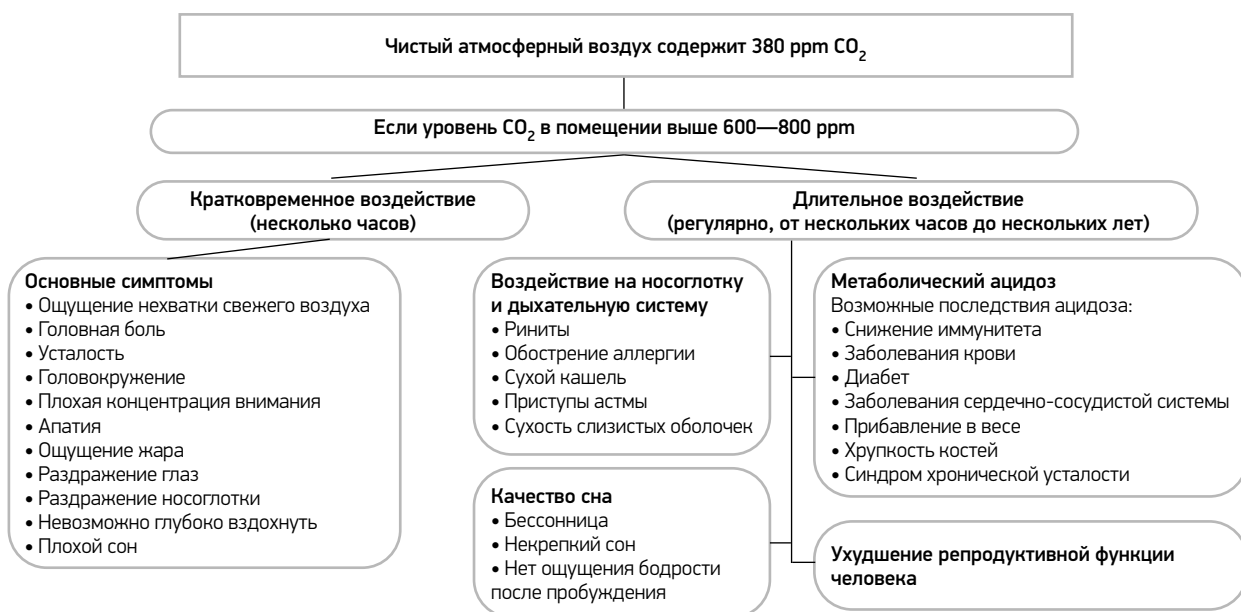
устранению рефлекторного респираторного раздражителя, сначала к угнетению дыхания и, наконец, к остановке дыхания [12].

В ряде исследований [12—14] отражено влияние уровня углекислого газа на организм человека (табл. 6).

По инициативе Европейского респираторного общества в школах Франции, Италии, Дании, Швеции и Норвегии были проведены исследования

влияния повышенных концентраций углекислого газа на здоровье учащихся. Они показали, что в учебных заведениях, где концентрация углекислого газа в классах превышала 0,1%, подверженность учащихся заболеваниям респираторных органов повысилась в 2—3,5 раза [15].

Н.Ф. Гладышев и др. приводят данные (рис. 1) о влиянии углекислого газа на человека в зависимости от длительности воздействия [14].

Рис. 1. Влияние повышенного содержания CO₂ в помещении на организм человекаFigure 1. The effect of elevated CO₂ content in the room on the human body

Таким образом, углекислый газ, накапливаемый в помещениях жилых и административных зданий, может оказывать существенное влияние на качество воздуха, приводить к серьезным, а в некоторых случаях опасным последствиям для людей.

4. Результаты экспериментальных исследований динамики изменения концентрации углекислого газа в воздухе помещения

Помещение, в котором проводился эксперимент, представляет собой офис (кабинет) общим объемом 29,5 м³. В помещении имеется вход вентиляционного канала. Деревянные рамы, предусмотренные проектом строительства, заменены на пластиковые. Дыхательные клапаны на рамах не установлены, приток свежего воздуха через них не обеспечен. Приток воздуха осуществляется через щели в дверном проеме, отток — через вентиляционный канал. В помещении оборудовано рабочее место для одного человека. Во время эксперимента двери и окна помещения закрыты.

Измерение концентрации углекислого газа осуществлялось датчиком с диапазоном измерений от 0 до 3000 ppm, термокомпенсация показаний осуществляется в автоматическом режиме.

Проведена серия из 6 измерений, результаты которых приведены на рис. 2.

Полученные в ходе исследования результаты были отработаны с использованием метода линейной статистики с определением *t*-критерия Стьюдента [16], результаты обработки приведены в табл. 7.

График изменения среднего значения концентрации углекислого газа приведен на рис. 3.

По результатам полученных экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что нарушение конструктивных решений вентиляции помещений жилых и административных зданий или несоблюдение вместимости таких помещений приводит к существенному снижению качества воздуха, вызывающему негативные последствия для здоровья граждан.

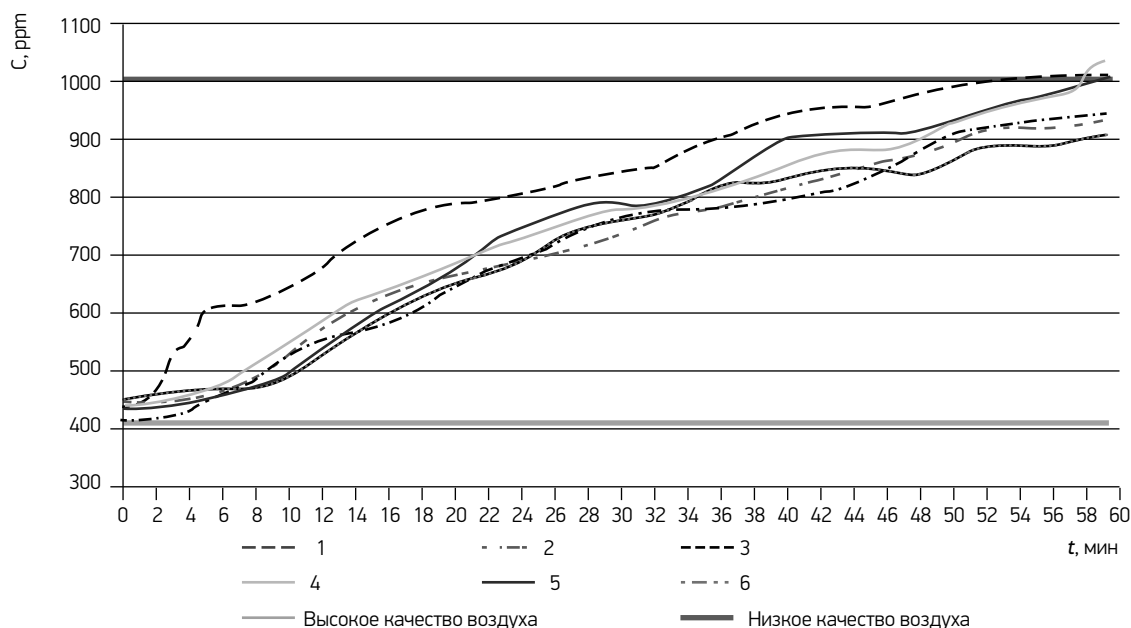


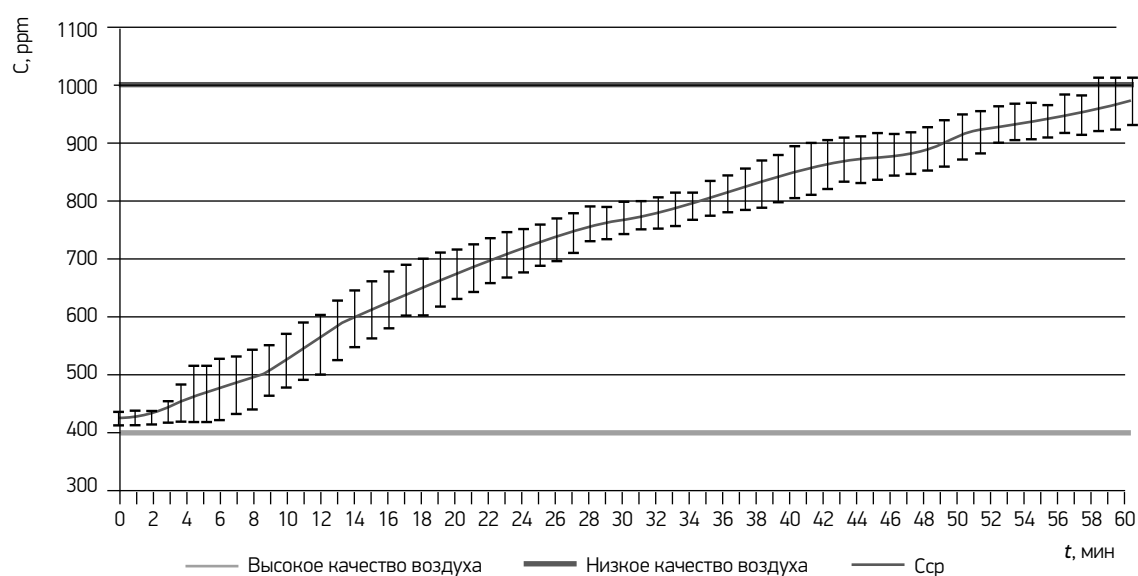
Рис. 2. Динамика изменения концентрации CO₂ по результатам измерений

Figure 2. Dynamics of changes in CO₂ concentration based on measurement results

Таблица 7. Результаты обработки измерений

Table 7. Measurement results

Время с начала опыта, мин	Среднее значение концентрации CO ₂ по результатам 6 опытов, ppm	Доверительный интервал, ppm (при P = 0,9)
0	425	±14
5	470	±50
10	525	±48
15	613	±51
20	674	±44
25	725	±38
30	771	±29
35	805	±33
40	849	±45
45	876	±40
50	909	±39
55	942	±33
60	970	±41

Рис. 3. График изменения среднего значения концентрации CO₂Figure 3. Graph of changes in the average CO₂ concentration

Заключение

Наряду с парами опасных химических веществ, которые поступают за счет применения экологически «грязных» строительного-отделочных материалов, мебели, использования продукции бытовой химии, косметических, лекарственных препаратов, поступления извне вследствие промышленных выбросов и эксплуатации автотранспортных средств, существенное влияние на качество воздуха оказывает углекислый газ. Установка пластиковых окон низкого качества, несоблюдение нормативов площади могут привести к существенному превышению допустимого уровня содержания углекислого газа и вызвать негативные последствия для здоровья и жизни граждан. Для снижения этого негативного фактора необходимо принятие организационных или технических решений на основе моделирования динамики изменения концентрации углекислого газа в зависимости от условий пребывания людей в помещениях.

Литература [References]

1. Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.Г. Характеристика внутренних опасностей и угроз образовательных учреждений высшего профессионального образования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 2. С. 124—126. [Radoutsky V.Yu., Shaptala V.G. Characteristics of internal dangers and threats of educational institutions of higher professional education // Bulletin of BSTU named after V.G. SHUKHOV. 2009;(2):124-126, (In Russ.)]
2. Васильева Э.А., Ахмедьянова Р.А., Яруллин Р.С. Очистка воздуха рабочей зоны производственных помещений от этил- и бутилацетата / Э. А. Васильева // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 2. С. 113—115. [Vasilyeva E.A., Akhmedyanova R.A., Yarulkin R.S. Cleaning the air of the working area of industrial premises from ethyl and butyl acetate // Bulletin of the Technological University. 2016;(2):113-115, (In Russ.)]
3. Малышев В.П. Основные угрозы и опасности для жителей крупных городов // Проблемы анализа риска. 2006. Т. 3. № 4. С. 338—345. [Malyshev V.P. Major threats and hazards facing the population of large cities // Issues of Risk Analysis. 2006;(4):338-345, (In Russ.)]
4. Аксель-Рубинштейн В. З. Санитарная химия атмосферы гермообъектов. СПб.: «Пресс-Сервис». 2010. 354 с. [Axel-Rubinstein V. Z. Sanitary chemistry of the atmosphere of hermetic objects. St. Petersburg: LLC "Press-Service", 2010. 354 p., (In Russ.)]
5. Быховская М.С., Гинзбург С.Л., Хализова О.Д. Методы определения вредных веществ в воздухе. М.: ЭНАС, 2003 г., 98 с. [Bykhovskaya M.S., Ginzburg S.L., Khalizova O.D. Methods for determining harmful substances in the air. M.: ENAS. 2003. 98 p., (In Russ.)]
6. Зюзин А.В., Семенов В.И. Защита производственного персонала и населения от сильнодействующих ядовитых веществ на химически опасных объектах. М.: ТОО «Мединор», 1994. 265 с. [Zyuzin A.V., Semenov V.I. Protection of production personnel and the population from potent toxic substances at chemically hazardous facilities. M.: Medinor LLP, 1994. 265 p., (In Russ.)]
7. World Scientists' Warning of a Climate Emergency 2022 / BioScience, Volume 72, Issue 12, December 2022, P. 1149—1155, <https://doi.org/10.1093/biosci/biac083>
8. Иванов Ю.И., Погорелюк О.Н. Статистическая обработка результатов медико-биологических исследований по городским программам. М.: Медицина, 1990. 148 с. [Ivanov Yu.I., Pogorelyuk O.N. Statistical processing of the results of biomedical research on urban programs. M.: Medicine, 1990. 148 p., (In Russ.)]
9. Физиология системы дыхания: Учебное пособие / Сост.: А.Ф. Каюмова, И.Р. Габдулхакова, А.Р. Шамратова, Г.Е. Инсарова. Уфа: Изд-во ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, 2016. 60 с. [Physiology of the respiratory system: textbook / Comp.: A.F. Kayumova, I.R. Gabdulkhakova, A.R. Shamratova, G.E. Insarova. Ufa: Publishing house of the BSMU of the Ministry of Health of Russia, 2016. 60 p., (In Russ.)]
10. Семкин Н.Д. Аппаратура медико-биологических исследований в космосе: Учеб. пособие / М-во образования РФ, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Сам. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева». Самара: Сам. гос. аэрокосм. ун-т, 2004. 283 с. ISBN 5-7883-0275-7. [Semkin, N. D. Equipment for biomedical research in space: textbook. manual / M-vo obrazovaniya Russia Federation, State education. institution of higher Prof. education "Sam. gos. aerospace. un-t named after S.P. Korolev". Samara: Sam. gos. aerospace. un-t, 2004. 283 p. ISBN 5-7883-0275-7, (In Russ.)]
11. Беседин С.Н. Прогноз углекислого газа в учебных помещениях и разработка организационно-технических мероприятий по минимизации ущерба здоровью обучающихся // Грани познания. 2020. № 2 (67). С. 3—8. [Besedin S.N. Forecast of carbon dioxide in classrooms and development of organizational and technical activities of minimizing students health damage // Grani Poznaniya. 2020;(67):3-8, (In Russ.)]

12. Влияние эксплуатации дорожной инфраструктуры в Керченском проливе на выбросы в атмосферу черного углерода, парникового газа и двуокиси серы / А.И. Честнов, В.М. Абрамов, В.В. Меркулов, Н.С. Лебедев // Информационные технологии в образовании: Сборник статей научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 31 марта 2021 года / Российский государственный гидрометеорологический университет, Институт информационных систем и геотехнологий. Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2021. С. 258—266. [The impact of road infrastructure operation in the Kerch Strait on emissions of black carbon, greenhouse gas and sulfur dioxide into the atmosphere / A.I. Chestnov, V.M. Abramov, V.V. Merkulov, N.S. Lebedev // Information technologies in education: Collection of articles of the scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists, St. Petersburg, March 31, 2021 / Russian State Hydrometeorological University, Institute of Information Systems and Geotechnologies. Saint Petersburg: Russian State Hydrometeorological University, 2021. P. 258—266, (In Russ.)]
13. Раков Э. Г. Углерода диоксид // Большая российская энциклопедия. М.: Большая российская энциклопедия, 2016. Т. 32. С. 662—663. [Rakov E. G. Carbon dioxide // Bolshaya Rossiyskaya Encyclopedia. M.: The Great Russian Encyclopedia, 2016. Vol. 32. P. 662—663, (In Russ.)]
14. Гладышев Н.Ф., Гладышева Т.В., Дворецкий С.И. Системы и средства регенерации и очистки воздуха обитаемых герметичных объектов. М.: Издательский дом «Спектр». 2016. 204 с. [Gladyshev N.F., Gladysheva T.V., Dvoretzky S.I. Systems and means of regeneration and air purification of inhabited hermetic objects. M.: Publishing house "Spectrum", 2016. 204 p., (In Russ.)]
15. Гурина И.В. Безопасный уровень углекислого газа требует ревизии // Экологический Вестник России. 2008. № 10. С. 18. [Gurina I.V. The safe level of carbon dioxide requires revision // Ecological Bulletin of Russia. 2008;(10):18, (In Russ.)]
16. Светозаров В.В. Основы статистической обработки результатов измерений: Учебное пособие. М.: Изд. МИФИ, 2005, 40 с. [Svetozarov V.V. Fundamentals of statistical processing of measurement results. Textbook. M.: MEPhI Publishing House. 2005. 40 p., (In Russ.)]

Сведения об авторах

Малышев Владлен Платонович: доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, главный научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий)

Количество публикаций: более 316

Область научных интересов: проблемы обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях

SPIN-код: 2163-3798

Контактная информация:

Адрес: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 7

Vlad1936.malyshev@yandex.ru

Виноградов Олег Владимирович: кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий)

Количество публикаций: более 40

Область научных интересов: проблемы обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях

SPIN-код: 3056-0611

AuthorID: 1038780

Контактная информация:

Адрес: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 7

v1970ov@mail.ru

Родионов Игорь Александрович: доцент, научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий)

Количество публикаций: 4

Область научных интересов: проблемы обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях

SPIN-код: 3506-4636

AuthorID: 1130203

Контактная информация:

Адрес: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 7

Goha-5@yandex.ru

Статья поступила в редакцию: 07.02.2023

После доработки: 02.05.2023

Одобрена после рецензирования: 16.05.2023

Принята к публикации: 22.05.2023

Дата публикации: 30.06.2023

The article was submitted: 07.02.2023

Received after reworking: 02.05.2023

Approved after reviewing: 16.05.2023

Accepted for publication: 22.05.2023

Date of publication: 30.06.2023

УДК 330.4+338.14
<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-60-71>

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2023

Математико-статистическая модель оценки влияния волн COVID-19 на региональную систему (на примере Кировской области)¹

Караулова Л.В.,

Кировский государственный медицинский университет, 610998, Россия, Приволжский федеральный округ, Кировская область, г. Киров, ул. К. Маркса, д. 112

Караулов В.М.*,

Вятский государственный университет, 610000, Россия, Приволжский федеральный округ, Кировская область, г. Киров, ул. Московская, д. 36

Вишняков А.В.,

Кировский государственный медицинский университет, 610998, Россия, Приволжский федеральный округ, Кировская область, г. Киров, ул. К. Маркса, д. 112

Аннотация

С момента первой вспышки в Китае и распространения в разных странах мира COVID-19 началось и интенсивно продолжается исследование математических моделей распространения эпидемии. Такие модели являются динамическими, и часто в их основе лежат дифференциальные или разностные уравнения. Как правило, эти модели требуют процедуру идентификации для определения неизвестных параметров. Но по ряду причин однозначная идентификация таких параметров не может быть выполнена. Например, подготовка статистических данных для процедуры идентификации может быть выполнена различными способами. Поэтому предпочтительным способом предобработки данных является аппроксимация их наиболее подходящей функциональной зависимостью.

Исследование показывает, что эпидемические кривые могут быть представлены суперпозицией нескольких локальных волн — вспышка эпидемии в том или ином регионе складывается из многих локальных волн, и некоторые из них могут сливаться в одну общую волну. В данной статье предлагается применять аналоги функции плотности нормального распределения для прогнозирования волн новых случаев заболеваемости COVID-19. Целью статьи явились разработка модели динамики общего числа заболевших и новых случаев заболеваемости COVID-19 с учетом волн эпидемии и оценка влияния на региональную социально-экономическую систему.

Исследование проводилось на основании данных о заболеваемости COVID-19 в регионах Кировской области² в 2020—2022 гг. Показано, что выбранная модель хорошо описывает статистические данные и позволяет делать реалистичные прогнозы для общего числа заболеваний и новых случаев заболеваний. Результаты исследования могут быть использованы для разработки превентивных мер по предупреждению распространения заболевания и позволяют оценивать влияние эпидемиологической ситуации на социально-экономическую систему региона.

Ключевые слова: математическое моделирование; суперпозиция эпидемиологических волн; прогнозирование.

¹ Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации НШ-5187.2022.2 для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации в рамках темы исследования «Разработка и обоснование концепции, комплексной модели резилиенс-диагностики рисков и угроз безопасности региональных экосистем и технологии ее применения на основе цифрового двойника».

² Статистика коронавируса в Кировской области // <https://russian-trade.com/coronavirus-russia/kirovskaya-oblast/>

Для цитирования: Караулова Л.В., Караулов В.М., Вишняков А.В. Математико-статистическая модель оценки влияния волн COVID-19 на региональную систему (на примере Кировской области) // Проблемы анализа риска. 2023. Т. 20. № 3. С. 60—71, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-60-71>

Вклад авторов:

Караулова Л. В. — развитие методологии; разработка прогнозов; написание исходного текста, итоговые выводы;

Караулов В. М. — научное руководство; концепция исследования; доработка исходного текста; итоговые выводы;

Вишняков А. В. — сбор статистических данных и предварительная обработка, выявление волн распространения COVID-19.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Mathematical and Statistical Model for Assessing the Impact of COVID-19 Waves on the Regional System (on the Example of the Kirov Region)³

Larisa V. Karaulova,

Kirov State Medical University,
K. Marx str., 112, Kirov,
610998, Volga Federal District,
Kirov Region, Russia

Vasily M. Karaulov*,

Vyatka State University,
Moscow str., 36, Kirov, 610000,
Volga Federal District,
Kirov Region, Russia

Alexey V. Vishnyakov,

Kirov State Medical University,
K. Marx str., 112, Kirov,
610998, Volga Federal District,
Kirov Region, Russia

Abstract

Since the first outbreak in China and the spread of COVID-19 in different countries of the world, the study of mathematical models of the spread of the epidemic has begun and is intensively continuing. Such models are dynamic and often based on differential or difference equations. As a rule, these models require an identification procedure to determine unknown parameters. But for a number of reasons, unambiguous identification of such parameters cannot be performed. For example, the preparation of statistical data for the identification procedure may be performed in various ways. Therefore, the preferred method of data preprocessing is to approximate them with the most appropriate functional dependence.

The study shows that epidemic curves may be represented by a superposition of several local waves — an outbreak of an epidemic in a particular region consists of many local waves and some of them may merge into one common wave. In this article, it is proposed to use analogs of the normal distribution density function to predict waves of new COVID-19 cases. The purpose of the article was to develop a model of the dynamics of the total number of cases and new cases of COVID-19, taking into account the waves of the epidemic and the impact on the regional socio-economic system.

The study was conducted on the basis of data on the incidence of COVID-19 in the Kirov region⁴ in 2020—2022. It is shown that the chosen model describes statistical data well and allows making

³ The work was supported by the grant of the President of the Russian Federation NSH-5187.2022.2 for state support of leading scientific schools of the Russian Federation within the framework of the research topic “Development and substantiation of the concept, integrated model of resilience diagnostics of risks and threats to the security of regional ecosystems and technology of its application based on a digital twin”.

⁴ Coronavirus statistics in the Kirov region // <https://russian-trade.com/coronavirus-russia/kirovskaya-oblast/>

realistic forecasts for the total number of diseases and new cases of diseases. The results of the study may be used to develop preventive measures to prevent the spread of the disease and allow assessing the impact of the epidemiological situation on the socio-economic system of the region.

Keywords: mathematical modeling; superposition of epidemiological waves; forecasting.

For citation: Karaulova L.V., Karaulov V.M., Vishnyakov A.V. Mathematical and statistical model for assessing the impact of COVID-19 waves on the regional system (on the example of the Kirov region) // Issues of Risk Analysis. 2023;20(3):60-71, (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-60-71>

Contribution of the authors:

Karaulova L. V. — development of methodology; development of forecasts; writing of the source text, final conclusions;

Karaulov V. M. — scientific guidance; research concept; revision of the source text; final conclusions;

Vishnyakov A.V. — collection of statistical data and preliminary processing, detection of COVID-19 propagation waves.

The authors declare no conflict of interest.

Содержание

Введение

Основная часть

Заключение

Литература

Введение

Математическое моделирование распространения эпидемии COVID-19 в разных странах и регионах мира началось с момента первой вспышки болезни в Китае и интенсивно проводится в настоящее время.

К простейшим математическим моделям эпидемий относятся SIR и SEIR, в которых население делится на группы: восприимчивые (S), инфицированные (I) и вылеченные (R), контактировавшие с инфекцией (E). Данные модели содержат небольшое число параметров, что является весьма важным фактом в условиях недостатка исходных количественных данных. Однако эти модели не учитывают многие факторы (различные способы передачи инфекции, различную плотность населения, возможность выработки иммунитета, инкубационный период заболевания и т. п.), поэтому они постоянно дорабатываются. Помимо указанных групп вводятся дополнительные группы: бессимптомные заразные индивидуумы (A), помещенные в карантин (Q), умершие (D) и т. д. Динамика численности групп описывается системой из дифференциальных уравнений.

С 2020 г. было опубликовано большое количество статей, в которых модели SIR, SEIR и их модификации применяются для прогнозирования распространения COVID-19 во многих странах мира, в том числе в России. Отметим только некоторые из работ, в которых указанные модели использовались для

прогнозирования развития COVID-19 в России (в том числе в региональном разрезе). В работе В.Л. Соколовского и других [1] продемонстрировано, что простые SIR-модели дают возможность оценить параметры моделей (коэффициенты выздоровления и заболеваемости), которые могут использоваться в более сложных моделях, позволяющих учитывать неравномерное распределение населения и изменение мобильности населения. В работе Д.А. Томчина и др. [2] для прогнозирования распространения в России COVID-19 применяются простейшие модели эпидемий: SIR и SEIR, в работе В.А. Вербы и А.Г. Вовик [3] проводится сравнение результатов прогнозов распространения COVID-19 в Москве с помощью SIR-, SEIR- и SEIQR-моделей и показано, что прогноз с помощью SIR-модели хуже всего соответствовал реальности. В работе О.И. Криворотько и др. [4] прогнозирование распространения COVID-19 в Москве и Новосибирской области осуществляется с помощью модели SEIR-D (учитывающей число умерших) и модели SEIR-HCD (учитывающей число умерших и число госпитализированных, находящихся в критическом состоянии). В работе А.Н. Наркевич и др. [5] распространение инфекции COVID-19 на территории Красноярскa прогнозируется с помощью модели SIRU, учитывающей число незарегистрированных лиц с симптомами инфекции (U). Отмечается отличительная особенность модели SIRU — возможность моделирования на начальном этапе развития инфекции на определенной территории при отсутствии воздействий извне. В работе В.Ф. Обеснюк [6] предложен модифицированный вариант SEIR-модели, учитывающей численность лиц с бессимптомным течением болезни (P) и допускающий, таким образом, возможность заражения как от бессимптомных носителей, так и от лиц с доказанной инфекцией.

Однако параметры SIR-моделей и их модификаций, определяемые на основе фактических данных о заболеваемости, на начальном этапе развития эпидемии не всегда хорошо известны. Поэтому для прогнозирования эпидемий представляется целесообразным использовать простые модели с минимальным количеством параметров. Часто в основе таких моделей лежат дифференциальные или разностные уравнения.

В простейшем классическом случае распространение эпидемии представляется логистическим отображением (одномерное отображение Фейгенбаума):

$$x_{n+1} = \alpha x_n \left(1 - \frac{x_n}{N} \right),$$

где x_n — общее число зараженных в n -й день; α — коэффициент скорости роста популяции; N — емкость или общая численность популяции. Логистический рост числа зараженных наблюдается при значениях параметра $1 < \alpha < 2$. Прогнозирование распространения COVID-19 с помощью дискретной логистической модели в Москве и нескольких странах представлено в работе Э. М. Кольцовой и др. [7], где рассмотрены четыре сценария распространения COVID-19 в Москве, для каждого из которых получены кривые увеличения числа инфицированных и графики увеличения общего числа случаев, изучена динамика распространения инфекции по дням, определены пиковые времена, периоды эпидемии, количество инфицированных на пике и их рост.

К одной из распространенных математических моделей динамики числа зараженных с начала эпидемии $x(t)$ относится логистическое уравнение Ферхюльста:

$$\frac{dx}{dt} = \lambda x \left(1 - \frac{x}{K} \right), \quad x(t_0) = x_0.$$

Помимо классической модели может использоваться обобщенная логистическая модель и модель с запаздыванием (учитывающая продолжительность инкубационного периода) [8]. Прогнозирование распространения COVID-19 в шести странах с помощью обобщенной логистической модели продемонстрировано в работе М.В. Кокоулина и др. [9]. При этом отмечается, что, несмотря на то, что в среднем модель неплохо описывает фактические данные, для более точного прогноза целесообразно строить многофакторные модели, учитывающие деление населения на возрастные и социальные группы, плотность населения и т. п.

Распространение инфекции обычно представляет не одну «изолированную» волну, а суперпозицию волн. В работах [10], [11] предложена методика выявления локальных волн. Данная методика продемонстрирована для описания распространения COVID-19 в нескольких странах мира, а также в мегаполисе Москва.

В работе [12] приводится сравнительная характеристика методов прогнозирования и оценки распространения COVID-19: компартментные модели, методы машинного обучения, ГИС-моделирование и агент-ориентированное моделирование. Отмечается, что компартментные модели (SIR, SEIR, логистические модели и др.) не дают возможности оценить экономические последствия пандемии, для этой цели могут использовать методы машинного обучения (регрессия, нейронные сети). Например, в исследовании [13], [14] с помощью уравнения линейной регрессии прогнозируется число летальных исходов в зависимости от числа инфицированных и количества тяжелых случаев COVID-19.

Еще один подход к исследованию моделей распространения COVID-19 рассматривался авторами настоящей статьи на основе комплексной оценки уровня эпидемиологической безопасности в субъектах Приволжского федерального округа [15]. Модель базируется на четырех относительных показателях распространения заболевания. Данные показатели нормируются, и строится их обобщенная оценка. Полученная оценка принимает значения от нуля и до единицы, что позволяет ее интерпретировать как вероятность рисков и угроз распространения пандемии. Для качественной интерпретации состояния эпидемиологической безопасности в регионах предлагается использовать пороговые уровни безопасности.

Основная часть

Цель исследования — моделирование динамики распространения COVID-19 и оценка его влияния на социально-экономическую систему региона, в частности степени загрузки системы здравоохранения и уровня временного выбытия рабочей силы из производственного процесса. Для этого строится модель динамики числа зараженных на дату. Число зараженных может моделироваться и прогнозироваться с помощью SIR-модели и ее модификаций. Но в рамках данной работы предлагается использовать простую математическую модель, имеющую минимум параметров, — логистическое уравнение Ферхюльста:

$$\frac{dx}{dt} = \lambda x \left(1 - \frac{x}{K} \right), \quad x(t_0) = x_0. \quad (1)$$

В данном уравнении K — это количество людей, которые точно будут заражены к концу эпидемии, и λ — коэффициент скорости распространения. Решением данного уравнения является функция, отражающая общее число зараженных с начала эпидемии:

$$x(t) = \frac{x_0 K}{x_0 + (K - x_0) \cdot \exp(-\lambda(t - t_0))}. \quad (2)$$

С помощью построенной функции $x(t)$ предлагается оценивать число зараженных на дату.

Число новых случаев за день можно определить как разность общего числа зараженных в моменты t и $(t - 1)$:

$$x_{new}(t) = x_1(t) = x(t) - x(t - 1). \quad (3)$$

Число новых случаев заражения $x_T(t)$ за промежутков времени $[t - T; t]$ длиной T определяется как разность:

$$x_T(t) = x(t) - x(t - T). \quad (4)$$

Если в качестве T взять среднюю продолжительность заболевания, то величину $x_T(t)$ можно рассматривать как оценку числа зараженных на момент времени t .

В работе предлагается моделировать число зараженных $x^z(t)$ на момент t как $x_T(t)$, где T определяется как средняя продолжительность заболевания. Иными словами, число зараженных $x_z(t)$ на дату t можно оценивать как сумму

$$x^z(t) = x_{new}(t - (T - 1)) + x_{new}(t - (T - 2)) + \dots + x_{new}(t) = x_T(t) \quad (5)$$

моделируемого числа новых случаев заражения x_{new} за промежутков времени $[t - T; t]$, где T — средняя продолжительность заболевания. Тогда $x^z(t)$ можно рассматривать как оценку загрузки системы здравоохранения.

Продолжительность COVID-19 при легком течении болезни составляет 1—2 недели, при средней тяжести (при наличии неосложненной пневмонии) — 3—4 недели, при тяжелой форме — 1—1,5 месяца. Поэтому предварительно выбрано значение для средней продолжительности заболевания 3 недели (21 день). На рис. 1 представлена информация о числе зараженных на дату⁵ $x_z(t)$ и суммарном числе но-

⁵ Статистика коронавируса в Кировской области // <https://russian-trade.com/coronavirus-russia/kirovskaya-oblast/>

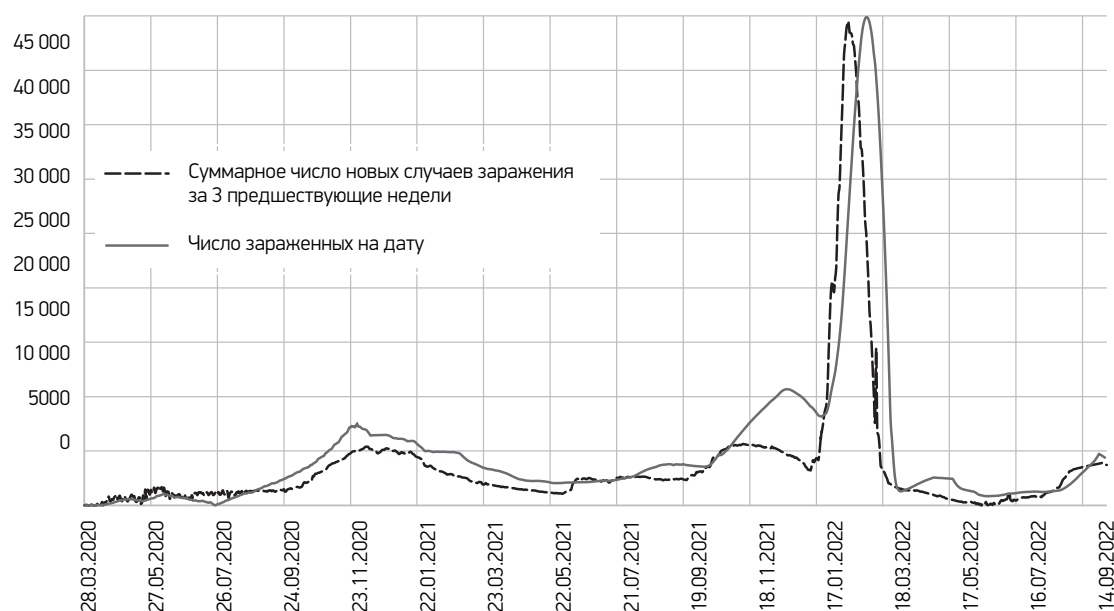


Рис. 1. Число зараженных на дату и суммарное число новых случаев заражения за последние три недели

Figure 1. The number of infected on the date and the total number of new cases of infection in the last three weeks

Источник: составлено авторами.

вых случаев заболевания за последние три недели, предшествующие этой дате, в Кировской области за период с 28.03.2020 по 06.10.2022 (922 наблюдения).

Визуальное сравнение графиков показывает, что суммарное число новых заражений может отличаться от числа зараженных. Особенно это проявляется во второй половине исследуемого периода, в частности, из-за меняющейся средней продолжительности болезни при распространении штамма Омикрон, а также под влиянием других факторов. Это указывает на сложный характер процесса и необходимость корректировки параметров при построении модели числа зараженных.

Суточные эпидемические кривые имеют несколько локальных максимумов и содержат плато. Причина сложной динамики объясняется тем, что отдельные субъекты РФ являются открытыми неоднородными системами, в которых время от времени случайно возникают новые очаги эпидемии, порождающие новые цепочки передачи инфекции от инфицированных к восприимчивым. В неоднородных системах вспышки эпидемии случаются в разное время в разных местах и распространяются с разной скоростью. Все это приводит к возникновению локальных

волн эпидемии, сдвинутых по времени. В результате вспышка эпидемии в том или ином регионе складывается из многих локальных волн. Некоторые из них могут сливаться в одну общую волну. Можно сделать вывод, что суточные эпидемические кривые $x_{new}(t)$ представляют собой суперпозицию нескольких локальных волн, возможно, с различной средней продолжительностью заболевания.

На рис. 2 наглядно продемонстрировано, что в Кировской области за период с 28.03.2020 по 06.10.2022 зафиксировано 7 пиков, поэтому выделено 7 волн, причем последняя волна рассматривается как незавершенная (на рис. 2 указаны участки наибольшей активности волн).

Особое внимание вызывает шестая волна с наибольшей активностью в начале 2022 г., связанная с появлением штамма COVID-10 — Омикрон. Его отличительной особенностью явились более высокая заразность и короткий инкубационный период. В связи с этим в январе 2022 г. в Кировской области наблюдались антирекорды заболеваемости — более 2000 заражений за сутки. Последняя седьмая волна приходится на осень 2022 г., причем к началу октября наблюдался подход к плато этой волны.

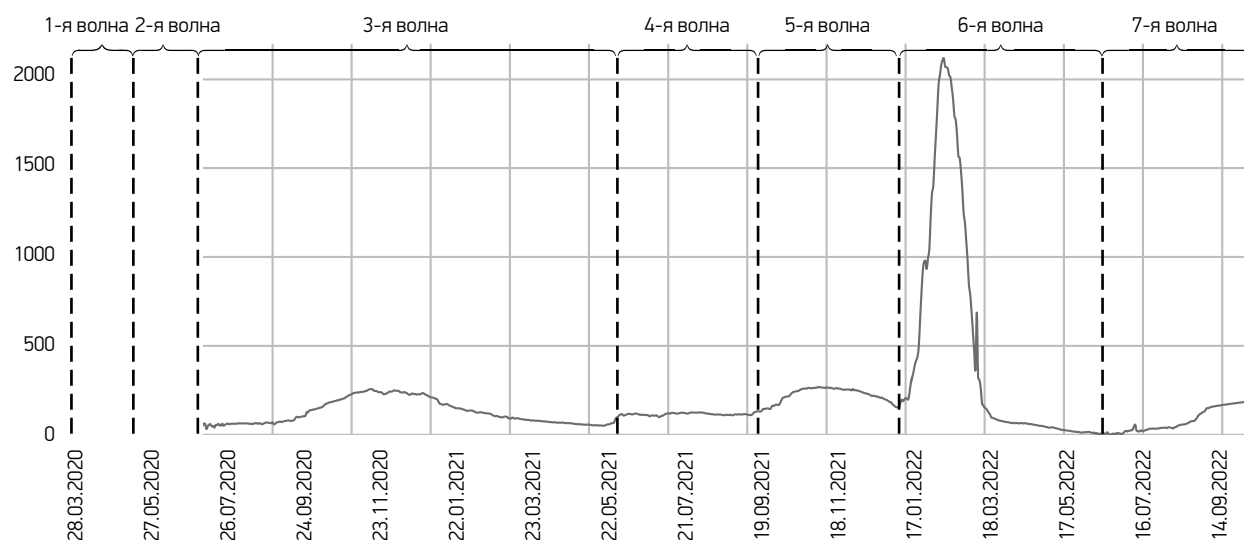


Рис. 2. Динамика волн новых случаев заражения COVID-19 в Кировской области за период с 28.03.2020 по 06.10.2022

Figure 2. Wave dynamics of new cases of COVID-19 infection in the Kirov region for the period from 28.03.2020 to 06.10.2022

Источник: составлено авторами.

В связи с этим динамика распространения COVID-19 на территории Кировской области была представлена в виде суперпозиции $x(t)$ семи волн моделей $x^1(t)$, $x^2(t)$, ..., $x^7(t)$ динамики общего числа зараженных с начала пандемии. Данная модель была использована для построения модели динамики числа зараженных на дату и оценки влияния COVID-19 на региональную экономику за период пандемии.

Для выявления волн использовалась методика, разработанная в работе [10]. Локальные волны вводятся в модель последовательно, при этом добавление новой волны происходит тогда, когда расчетные данные начинают значительно отставать от фактических.

При построении модели $x(t)$ аппроксимации накопленных значений числа суточных заражений для различных волн использовались индивидуальные параметры. В частности, при выборе аппроксимирующей функции $x^i(t)$ волны i использовалось решение уравнения (1) за счет соответствующего подбора параметров λ_i , K_i , $i = 1, 2, \dots, 7$. Полученная таким образом модель суперпозиции $x(t) = x^1(t) + x^2(t) + \dots + x^7(t)$ достаточно хорошо описывает динамику числа зараженных в Кировской области с начала эпидемии, что позволяет использовать ее для прогнозирования общего числа заражений до конца седьмой волны (до конца 2022 г.) (рис. 3).

Средняя ошибка аппроксимации полученной модели составляет 3,4%, что свидетельствует о высоком качестве модели. Поэтому модель суперпозиции $x(t)$ может быть использована для моделирования числа новых суточных заражений $x_1(t) = x(t) - x(t-1)$ и прогнозирования до конца седьмой волны. Впоследствии полученные фактические значения подтвердили адекватность такого прогнозирования (рис. 4).

Средняя ошибка аппроксимации модели новых случаев заражения $x_1(t)$ составляет 5,3%, что также подтверждает высокое качество модели. Это позволяет применять модель суперпозиции $x(t)$ для оценки числа зараженных на дату $x^z(t)$. При этом в модель вводятся дополнительные параметры — средние продолжительности заболевания для каждой волны (рис. 5).

На пике заражения штаммом Омикрон количество зараженных превышало 40 тыс. населения. С учетом того, что, по данным Росстата, в этот год в регионе на каждые 10 тыс. населения приходилось в среднем около 90 коек (что ощутимо выше среднего показателя по РФ — около 80 коек), а численность населения на конец 2021 г. составляла 1234,78 тыс. чел., то в этот период в регионе имелось около 11 тыс. коек. Если из них до половины могут быть использованы для больных с COVID-19, то это всего лишь 16% от числа зараженных на пике

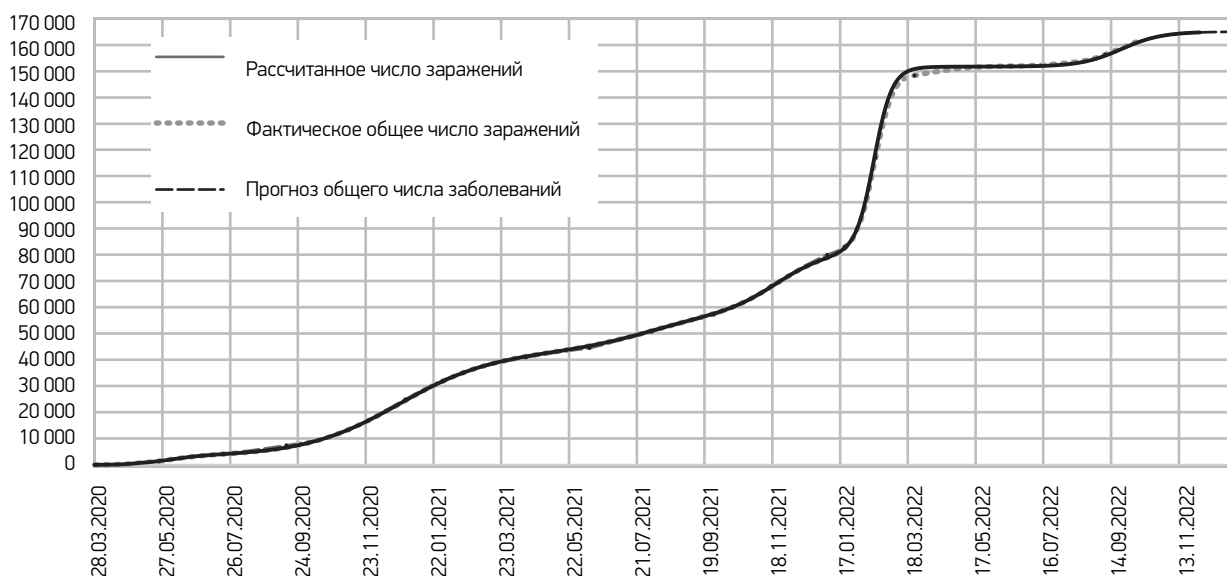


Рис. 3. Динамика общего числа заражений в Кировской области с начала эпидемии и модель суперпозиции волн

Figure 3. Dynamics of the total number of infections in the Kirov region since the beginning of the epidemic and the wave superposition model

Источник: составлено авторами.

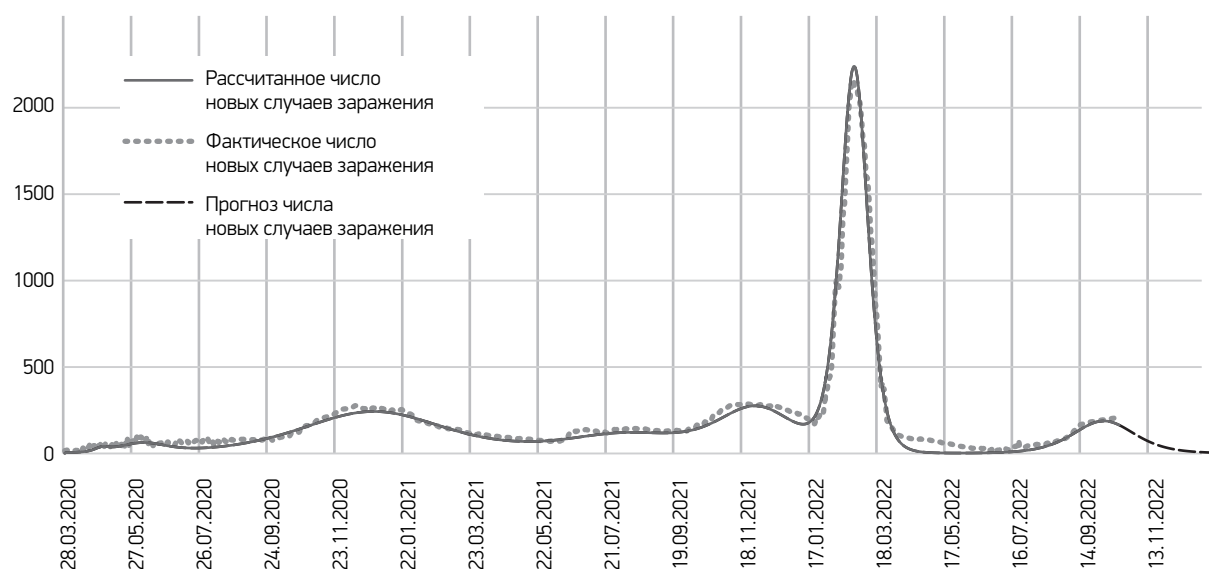


Рис. 4. Модель динамики и фактическое значение суточных заражений COVID-19 в Кировской области с начала эпидемии

Figure 4. Dynamics model and actual value of daily COVID-19 infections in the Kirov region since the beginning of the epidemic

Источник: составлено авторам на основе построенных моделей волн.

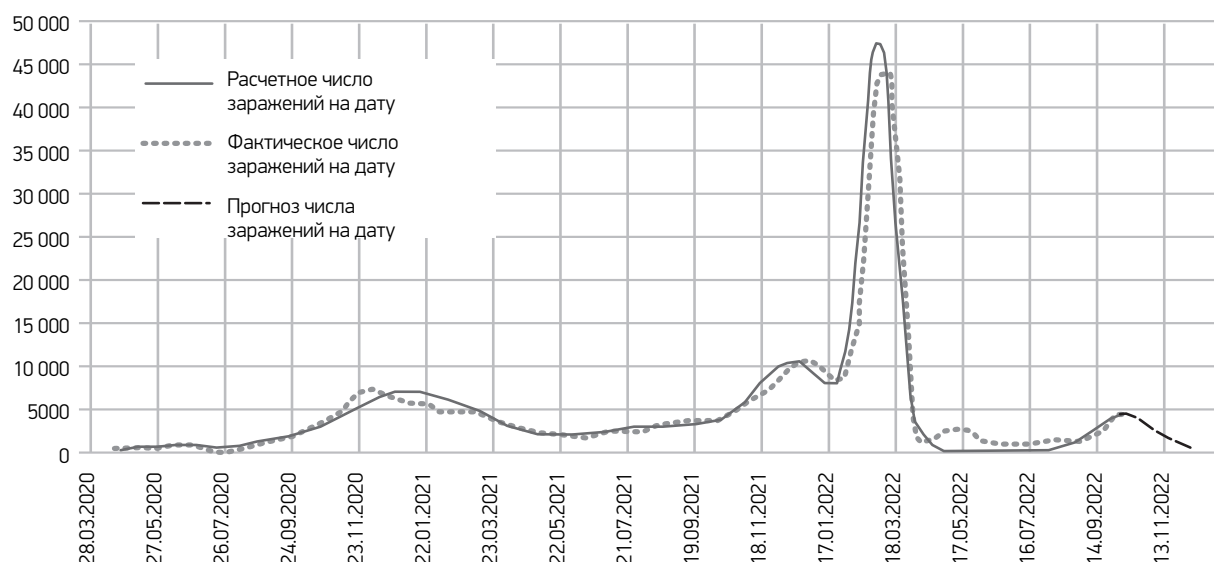


Рис. 5. Модель динамики и фактическое значение числа зараженных на дату в Кировской области с начала эпидемии

Figure 5. The dynamics model and the actual value of the number of infected on the date in the Kirov region since the beginning of the epidemic

Источник: составлено авторами на основе построенных моделей волн.

заболевания, что указывает на критическую нагрузку системы здравоохранения в этот период.

Модель числа зараженных на дату также позволяет оценить временные потери трудовых ресурсов из-за распространения пандемии за период T путем суммирования всех значений $x^z(t)$ для $t \in T$. При оценке потерь использовалось предположение

о равномерном распределении заболевания относительно возрастной структуры: доля заболевших среди занятых в экономике региона совпадает с долей всех занятых в общей численности населения региона — в Кировской области в исследуемом периоде это доля составляла около 45%, а численность занятых — около 555 тыс. населения. В таблице

Таблица. Оценка временных потерь занятого населения Кировской области в результате волн распространения COVID-19

Table. Estimation of temporary losses of the employed population of the Kirov region as a result of waves of COVID-19 spread

Волна	Период существенных заражений		Пик числа новых случаев	Временные потери среди занятого населения	
	начало	конец		максимальные суточные, %	в среднем за волну, %
1	23.04.2020	27.05.2020	Конец апреля 2020	0,05	0,01
2	24.04.2020	04.08.2020	Начало июня 2020	0,14	0,03
3	16.06.2020	21.07.2021	Конец декабря 2020	1,27	0,24
4	23.03.2021	28.12.2021	Конец июля 2021	0,52	0,11
5	09.08.2021	29.03.2022	Конец ноября 2021	1,81	0,34
6	24.12.2021	01.05.2022	Середина февраля 2022	8,24	1,10
7	07.07.2022	08.12.2022	Конец сентября 2022	0,80	0,17

Источник: расчеты авторов на основе построенных моделей волн.

представлено влияние волн распространения COVID-19 на социально-экономическую систему региона. В качестве начала существенных заражений очередной волны принималась дата, когда суточные заражения моделируемой волны впервые превышают 10 человек.

Заключение

Исследование показало, что распространение заболеваемости COVID-19 неплохо моделируется при помощи суперпозиции нескольких локальных волн, которые, в частности, могут описывать распространение различных штаммов COVID-19. Число всех зараженных с начала волны может описываться с помощью SIR-модели в форме двухпараметрического логистического уравнения Ферхюльста. На базе этой модели моделируется и прогнозируется количество суточных заражений и число зараженных на дату. В последнем случае в модель вводится дополнительный параметр — средняя продолжительность заболевания в моделируемой волне. Исследование показало возможность адекватного прогнозирования распространения заболевания и оценки социально-экономических последствий. В частности, на пике волны заболевания возможен критический уровень загрузки коечного фонда системы здравоохранения, а временное выбытие из-за заболевания рабочей силы может в разы превышать уровень безработицы.

Литература [References]

1. Пространственно-временное моделирование эпидемии COVID-19 / В.Л. Соколовский, Г.Б. Фурман, Д.А. Полянская, Е.Г. Фурман // Анализ риска здоровью. 2021. № 1. С. 23—37.
DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.03 [Sokolovsky V.L., Furman G.B., Polyanskaya D.A., Furman E.G. Spatio-temporal modeling of COVID-19 epidemic // Health Risk Analysis, 2021, no. 1, pp. 23–37, (In Russ.). DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.03.eng]
2. Томчин Д.А., Ситчихина М.С., Ананьевский М.С., Свенцицкая Т.А., Фрадков А.Л. Прогноз динамики пандемии COVID-19 по России на основе простых математических моделей эпидемий. Информационно-управляющие системы, 2021. № 6. С. 31—41, doi: 10.31799/1684-8853-2021-6-31-41 [Tomchin D.A., Sitchikhina M.S., Ananievsky M.S., Svetsitskaya T.A., Fradkov A.L. Prediction of COVID-19 pandemic dynamics in Russia based on simple mathematical models of epidemics // Informatsionno-upravliaiushchie sistemy [Information and Control Systems]. 2021;(6):31–41, (In Russ.), doi: 10.31799/1684-8853-2021-6-31-41]
3. Вербма В.А., Вовик А.Г. Разработка модели, прогнозирующей распространение инфекций на основе исторических данных на примере COVID-19 // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXV Международной научной и учебно-практической конференции: в 3 ч., Санкт-Петербург, 13—14 октября 2021 г. Том Часть 3. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 555—569.
DOI: 10.18720/SPBPU/2/id21-412 [Verba V.A., Vovik A.G. Development of a model predicting the spread of infections based on historical data on the example of COVID-19 // System analysis in design and management: collection of scientific papers of the XXV International Scientific and educational-practical conference: in 3 parts, St. Petersburg, October 13–14, 2021. Vol. Part 3. St. Petersburg: Polytech Press, 2021. P. 555—569, (In Russ.). DOI: 10.18720/SPBPU/2/id21-412]
4. Криворотко О.И., Кабанихин С.И., Зятков Н.Ю. и др. Математическое моделирование и прогнозирование COVID-19 в Москве и Новосибирской области // Сибирский журнал вычислительной математики. 2020. Т. 23. № 4. С. 395—414. DOI: 10.15372/SJNM20200404 [Krivorotko O.I., Kabanikhin S.I., Zyatkov N.Y. et al. Mathematical modeling and forecasting of COVID-19 in Moscow and the Novosibirsk region // Siberian Journal of Computational Mathematics. 2020;23(4):395–414, (In Russ.). DOI: 10.15372/SJNM20200404]
5. Наркевич А.Н., Шадрин К.В., Виноградов К.А. Моделирование распространения коронавирусной инфекции на территории города Красноярска // Сибирское медицинское обозрение. 2020. № 2(122). С. 111—116. DOI: 10.20333/2500136-2020-2-111-116 [Narkevich A.N., Shadrin K.V., Vinogradov K.A. Modeling of coronavirus infection spread among the residents of Krasnoyarsk city // Siberian Medical Review. 2020;(2(122)):111–116, (In Russ.). DOI: 10.20333/2500136-2020-2-111-116]
6. Обеснюк В.Ф. Динамика локальной эпидемической вспышки COVID-19 через призму компартмент-моделирования // Анализ риска здоровью. 2020. № 2. С. 83—91. DOI: 10.21668/health.risk/2020.2.09 [Obesnyuk V.F. Dynamics of local epidemic COVID-19 outbreak through the prism of compartment modeling // Health Risk Analysis. 2020;(2):83–91, (In Russ.). DOI: 10.21668/health.risk/2020.2.09]

7. Кольцова Э.М., Куркина Е.С., Васецкий А.М. Математическое моделирование распространения эпидемии коронавируса COVID-19 в Москве // *Computational Nanotechnology*. 2020. Т. 7. № 1. С. 99—105. DOI: 10.33693/2313-223X-2020-7-1-99-105 [Koltsova E.M., Kurkina E.S., Vasetsky A.M., Mathematical modeling of the spread of the COVID-19 in Moscow // *Computational Nanotechnology*. 2020;7(1):99-105, (In Russ.). DOI: 10.33693/2313-223X-2020-7-1-99-105]
8. Куркин А.А., Куркина О.Е., Пелиновский Е.Н. Логистические модели распространения эпидемий // *Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева*. 2020. № 2(129). С. 9—18. DOI: 10.46960/1816-210X_2020_2_9 [Kurkin A.A., Kurkina O.E., Pelinovsky E.N. Logistic models of epidemic growth // *Proceedings of the R.E. Alekseev NSTU*. 2020;(2(129)):9-18, (In Russ.). DOI: 10.46960/1816-210X_2020_2_9]
9. Кокоулина М.В., Елифанова А.С., Пелиновский Е.Н. и др. Анализ динамики распространения коронавируса с помощью обобщенной логистической модели // *Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева*. 2020. № 3(130). С. 28—41. DOI: 10.46960/1816-210X_2020_3_28 [Kokoulina M.V., Epifanova A.S., Pelinovsky E.N. et al. Analysis of coronavirus dynamics using the generalized logistic model // *Proceedings of the R.E. Alekseev NSTU*. 2020;(3(130)):28-41, (In Russ.). DOI: 10.46960/1816-210X_2020_3_28]
10. Куркина Е.С., Кольцова Э.М. Математическое моделирование распространения волн эпидемии коронавируса COVID-19 в разных странах мира // *Прикладная математика и информатика*. М.: МАКС Пресс. 2021. С. 46—79. [Kurkina E.S., Koltsova E.M. Mathematical modeling of the spread of waves of the COVID-19 coronavirus epidemic in different countries of the world // *Applied mathematics and Computer science*. Moscow: MAX Press LLC, 2021. P. 46—79, (In Russ.)]
11. Куркина Е.С., Зинченко Д.И., Кольцова Е.М. Математическое моделирование и прогнозирование распространения COVID-19: многоволновая модель развития эпидемии в Великобритании // *Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 5-й Международной конференции (3—4 февраля 2022 г., Москва)*. М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2022. С. 182—192, <https://keldysh.ru/future/2022/16.pdf>, <https://doi.org/10.20948/future-2022-16> [Kurkina E.S., Zinchenko D.I., Koltsova E.M. Mathematical modeling and forecasting of the spread of COVID-19: a multi-wave model of epidemic development in the UK // *Designing the future. Problems of digital reality: proceedings of the 5th International Conference (February 3—4, 2022, Moscow)*. M.: M.V. Keldysh IPM, 2022. С. 182—192, <https://keldysh.ru/future/2022/16.pdf>, <https://doi.org/10.20948/future-2022-16>]
12. Наумов И.В., Отмахова Ю.С., Красных С.С. Методологический подход к моделированию и прогнозированию воздействия пространственной неоднородности процессов распространения COVID-19 на экономическое развитие регионов России // *Компьютерные исследования и моделирование*. 2021. Т. 13. № 3. С. 629—648. DOI: 10.20537/2076-7633-2021-13-3-629-648 [Naumov I.V., Otmakhova Yu.S., Krasnykh S.S. Methodological approach to modeling and forecasting the impact of the spatial heterogeneity of the COVID-19 spread on the economic development of Russian Regions // *Computer Research and Modeling*. 2021;13(3):629-648, (In Russ.). DOI: 10.20537/2076-7633-2021-13-3-629-648]
13. Melik-Huseynov D.V., Karyakin N.N., Blagonravova A.S. et al. Regression models predicting the number of deaths from the new coronavirus infection // *Modern Technologies in Medicine*. 2020;12(2):6-13. DOI: 10.17691/stm2020.12.2.01
14. Карякин Н.Н., Саперкин Н.В., Баврина А.П. и др. Модернизация прогностических регрессионных моделей для оценки количества летальных исходов при новой коронавирусной инфекции // *Современные технологии в медицине*. 2020. Т. 12. № 4. С. 6—12. DOI: 10.17691/stm2020.12.4.01 [Karyakin N.N., Saperkin N.V., Bavrina A.P., Drugova O.V., Klimko V.I., Blagonravova A.S., Kovalishena O.V. Modernization of Regression Models to Predict the Number of Deaths from the New Coronavirus Infection // *Sovremennyye tehnologii v medicine*. 2020;12(4):6, (In Russ.), <https://doi.org/10.17691/stm2020.12.4.01>]
15. Караулов В.М., Караулова Л.В., Каранина Е.В. Математическая модель обобщенной оценки рейтинга сходных объектов на основе статистических данных с позиций эпидемиологической безопасности (на примере заболеваемости COVID-19 в регионах ПФО) // *Проблемы анализа риска*. 2021. Т. 18. № 5. С. 58—71, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-5-58-71> [Karaulov V.M., Karaulova L.V., Karanina E.V. Mathematical Model of Generalized Assessment of the Rating of Similar Objects Based on Statistical Data from the Standpoint of Epidemiological Safety (on the Example of the Incidence of COVID-19 in the Regions of the Volga Federal District) // *Issues of Risk Analysis*. 2021;18(5):58-71, (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-5-58-71>]

Сведения об авторах

Караулова Лариса Владимировна: кандидат педагогических наук, доцент кафедры информатики и физики ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России

Количество публикаций: более 60

Область научных интересов: математическая статистика, математическое моделирование, математическое моделирование социально-экономических процессов

ORCID: 0000-0003-4618-8443

Контактная информация:

Адрес: 610998, Приволжский федеральный округ, Кировская область, г. Киров, ул. К. Маркса, д. 112

krabot1@mail.ru

Караулов Василий Михайлович: кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры финансов и экономической безопасности ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»

Количество публикаций: более 70, в т. ч. монографий и учебных изданий

Область научных интересов: социально-экономическое развитие, региональная экономика, качество жизни, анализ экономических рисков, экономическая безопасность, прогнозирование

Scopus Author ID: 57194595826

ORCID: 0000-0002-9599-3740

Контактная информация:

Адрес: 610000, Приволжский федеральный округ, Кировская область, г. Киров, ул. Свободы, д. 122, каб. 115, 218

vm_karaulov@vyatsu.ru

Вишняков Алексей Васильевич: студент ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России

Область научных интересов: математическая статистика, математическое моделирование

Контактная информация:

Адрес: 610998, Приволжский федеральный округ, Кировская область, г. Киров, ул. К. Маркса, д. 112

mishakrossingover@gmail.com

Статья поступила в редакцию: 02.05.2023

Одобрена после рецензирования: 12.05.2023

Принята к публикации: 16.05.2023

Дата публикации: 30.06.2023

The article was submitted: 02.05.2023

Approved after reviewing: 12.05.2023

Accepted for publication: 16.05.2023

Date of publication: 30.06.2023

УДК 629.064.5
<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-72-81>

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2023

Оценивание индивидуального риска травматизма обслуживающего персонала при эксплуатации сложных технических систем с помощью имитационной модели

Андреев Е.А.*,
Вивчарь Р.М.,
Решетников Д.В.,

Военно-космическая
академия
имени А.Ф. Можайского,
197198, Россия,
г. Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13

Аннотация

В типовой системе обеспечения безопасности эксплуатации оборудования сложных технических систем важнейшим элементом является оценивание индивидуального риска гибели (травмы) и/или нанесения вреда здоровью обслуживающему персоналу. Поэтому в процессе выработки качественного решения по формированию перечня и параметров мероприятий программы обеспечения безопасности необходимо оценивать показатели индивидуального риска, что осложнено наличием различных неопределенностей, которые обуславливают появление индивидуального риска при эксплуатации оборудования. В статье представлена имитационная модель, позволяющая оценивать показатели индивидуального риска гибели (травматизма) обслуживающего персонала при эксплуатации оборудования в целях формирования программы обеспечения безопасности. Данная имитационная модель отличается от существующих тем, что в результате агрегирования моделей подпроцессов функционирования системы эксплуатации сложной технической системы удается установить взаимосвязь между сценариями реализации негативных событий, параметрами мероприятий программы обеспечения безопасности и комплексным влиянием всех существенных нежелательных факторов. Разработанная имитационная модель позволяет повысить адекватность оценки показателя индивидуального риска: индивидуального риска гибели (травмы) и/или нанесения вреда здоровью обслуживающему персоналу. Работоспособность методологии будет продемонстрирована на примере получения электротравмы обслуживающим персоналом при эксплуатации системы электрообеспечения.

Ключевые слова: системы электрообеспечения; безопасная эксплуатация; индивидуальный риск гибели (травмы).

Для цитирования: Андреев Е.А., Вивчарь Р.М., Решетников Д.В. Оценивание индивидуального риска травматизма обслуживающего персонала при эксплуатации сложных технических систем с помощью имитационной модели // Проблемы анализа риска. 2023. Т. 20. № 3. С. 72—81, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-72-81>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Assessment of the Individual Risk of Injury to Service Personnel During the Operation of Complex Technical Systems Using a Simulation Model

Evgeny A. Andreev*,
Roman M. Vivchar,
Dmitry V. Reshetnikov,

Military Space Academy
named after A.F. Mozhaisky,
Zhdanovskaya str., 13,
St. Petersburg, 197198, Russia

Abstract

In a typical system for ensuring the safety of operation of equipment of complex technical systems, the most important element is the assessment of the individual risk of death (injury) and/or harm to the health of service personnel. Therefore, in the process of developing a qualitative decision on the formation of a list and parameters of safety program measures, it is necessary to assess individual risk indicators, which is complicated by the presence of various uncertainties that cause the appearance of individual risk during the operation of equipment. The article presents a simulation model that allows assessing the indicators of individual risk of death (injury) of service personnel during the operation of equipment in order to form a safety program. This simulation model differs from the existing ones in that, as a result of aggregation of models of subprocesses of the operation of a hazardous production facility, it is possible to establish a relationship between the scenarios of the implementation of negative events, the parameters of the safety program measures and the complex effects of all significant undesirable factors. The developed simulation model makes it possible to increase the adequacy of the assessment of the risk indicator: the individual risk of death (injury) and/or harm to the health of service personnel. The efficiency of the methodology will be demonstrated by the example of receiving an electrical injury by maintenance personnel during operation of the power supply system.

Keywords: power supply systems; safe operation; risk of death (injury).

For citation: Andreev E.A., Vivchar R.M., Reshetnikov D.V. Assessment of the individual risk of injury to service personnel during the operation of complex technical systems using a simulation model // Issues of Risk Analysis. 2023;20(3):72-81, (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-72-81>

The authors declare no conflict of interest.

Содержание

Введение
Основная часть
Заключение
Литература

Введение

В настоящее время в основе системы обеспечения безопасности эксплуатации оборудования сложной технической системы (СТС) при обосновании параметров организационно-технических мероприятий, проводимых в целях достижения минимального значения вероятности гибели (травматизма) обслуживающего персонала, лежит теория управления риском [1]. Данное научно-методическое обеспечение активно развивается и внедряется в практику управления опасными производственными объектами. В рамках этого процесса разрабатывается множество нормативных документов. К одному из таких документов относится программа обеспечения безопасности (ПОБ). Разработка ПОБ заключается в формировании перечня организационно-технических мероприятий и обосновании их параметров. Данный процесс осложнен наличием различных неопределенностей, которые обуславливают появление индивидуального риска при эксплуатации оборудования СТС. Поэтому в процессе выработки качественного решения необходимо оценивать показатели индивидуального риска.

Наиболее распространенными методами оценивания показателей индивидуального риска являются экспертные методы [1, 2]. Однако при использовании данных методов возникает ряд трудностей, связанных с высокой сложностью отбора достаточного количества экспертов требуемой квалификации и с согласованием полученных от них данных, анализом этих данных и их интерпретацией. Применение имитационного моделирования [3] для оценивания показателей индивидуального риска позволит преодолеть трудности, связанные с использованием названных выше методов.

Целью данной статьи является представление разработанной имитационной модели, позволяющей оценивать показатели индивидуального риска гибели (травматизма) обслуживающего персонала (ОП) при эксплуатации оборудования СТС в целях формирования ПОБ. Работоспособность методологии будет продемонстрирована на примере получения электротравмы обслуживающим персоналом при эксплуатации системы электроснабжения (СЭС).

Основная часть

Для оценивания индивидуального риска получения электротравмы ($R_{\text{этр}}$) ОП необходимо разработать имитационную модель (ИМ) функционирования системы эксплуатации (СЭ) оборудования СТС, которая помимо самого оборудования включает в себя СЭС, дополнительные технические средства защиты, дополнительные средства индивидуальной защиты (СИЗ) и электрозащитные средства (ЭЗС) применяемых ОП.

Для разработки ИМ функционирования СЭ оборудования СТС, позволяющей оценить показатель индивидуального риска, воспользуемся методологией, представленной в [3]. Согласно этой методологии процесс разработки ИМ включает в себя выполнение четырех последовательных этапов:

- построение дерева целей решения по обоснованию параметров ПОБ (этап I);
- выявление нежелательных факторов и разработка сценариев недостижения каждой цели решения по обоснованию параметров ПОБ (этап II);
- разработка моделей подпроцессов функционирования СЭ оборудования СТС и их агрегирование (этап III);
- оценка адекватности разработанной имитационной модели (этап IV).

Опишем каждый из них.

Этап I. Построение дерева целей решения по обоснованию параметров ПОБ

На этом этапе необходимо выстроить иерархию целей, на достижение которых должно быть направлено решение по обоснованию параметров ПОБ. Ключевой целью такого решения является обеспечение безопасной эксплуатации (БЭ) оборудования СТС с точки зрения снижения вероятности гибели (травмы) и/или нанесения вреда здоровью ОП. Для достижения этой цели необходимо выполнение различных подцелей, представленных на рис 1.

При этом введем допущение, что отказ элемента СЭС приводит к появлению потенциала на корпусе оборудования СТС. Будем рассматривать возможность получения травмы ОП только в процессе восстановления работоспособного состояния оборудования СТС. Основанием для введения такого допущения является анализ эксплуатации различного

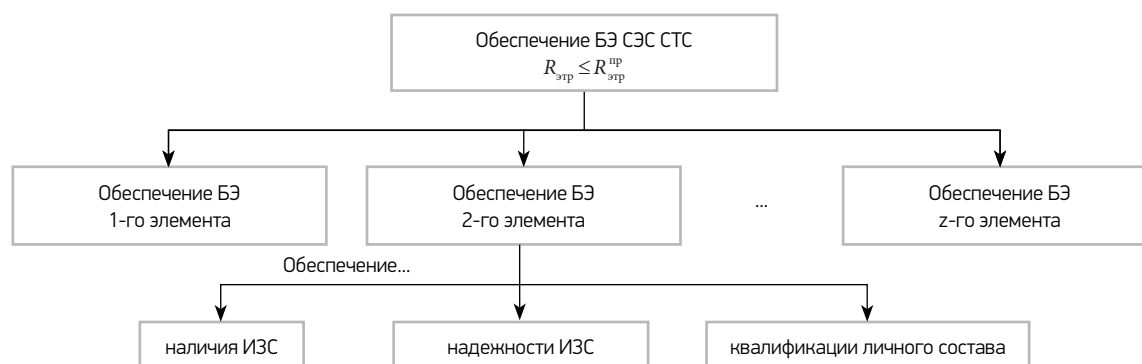


Рис. 1. Дерево целей, достижение которых необходимо для обеспечения безопасности эксплуатации оборудования СТС, где: $R_{этр}$, $R_{этр}^{пр}$ — фактическая и приемлемая вероятность получения электротравмы ОП

Figure 1. Tree of goals, achievement of which is necessary to ensure safety of CTS equipment operation, where: $R_{этр}$, $R_{этр}^{пр}$ — actual and acceptable probability of obtaining electrical trauma of SP

оборудования СТС, показавший, что наибольшее количество травм обслуживающим персоналом было получено именно в процессе восстановления его работоспособного состояния.

Этап II. Выявление нежелательных факторов и разработка сценариев недостижения каждой цели решения по обоснованию параметров ПОБ

В результате проведенного анализа было выявлено, что нежелательными факторами, оказывающими влияние на процесс достижения цели решения по обоснованию параметров ПОБ, являются: отказ элемента СЭС, появление напряжения на корпусе элемента СЭС, появление напряжения на отключен-

ных токоведущих частях в составе элемента СЭС, отсутствие требуемого количества и исправности СИЗ, ЭЗС, а также технических средств защиты от поражения ОП электрическим током, возможность их отказа, недостаточная квалификация ОП с точки зрения знаний требований безопасности при восстановлении элементов СЭС.

Далее было построено дерево событий, отражающее результаты совокупного влияния различных сочетаний выявленных нежелательных факторов и характеризующее возможные сценарии процесса недостижения каждой цели решения, начиная от целей нижнего уровня, и их последствия. На рис. 2

Иницирующий нежелательный фактор (А)	Последующие нежелательные события			Сценарий	Результирующее событие сценариев, характеризующее возможный ущерб и реализации этих сценариев
	вероятность безотказной работы УЗО	вероятность безошибочных действий ОП	вероятность отказа ЭЗС		
	$P(A_1 A)$	$P(A_2 A)$	$P(A_3 A)$		
Отказ элемента СЭС 	$P(A_1 A)$			№ 1	Отсутствие электротравм
		$P(A_2 A)$	$P(A_3 A)$	№ 2	Отсутствие электротравм
			$\bar{P}(A_3 A)$	№ 3	Получение электротравм
	$\bar{P}(A_1 A)$	$\bar{P}(A_2 A)$		№ 4	Получение электротравм

Рис. 2. Возможный сценарий поражения ОП электрическим током от вероятности нежелательных событий

Figure 2. Possible scenario of electrical shock for service personnel from the probability of undesirable events

представлены эти сценарии для нижнего уровня целей рассматриваемого примера.

На представленном рисунке использованы следующие обозначения:

A — событие, связанное с возникновением отказа элемента СЭС;

УЗО — устройство защитного отключения.

Этап III. Разработка моделей подпроцессов функционирования СЭС СЭ оборудования СТС и их агрегирование

На этом этапе были разработаны имитационные модели функционирования СЭ СЭС оборудования СТС, в которых могут реализоваться сценарии, входящие в состав дерева событий, представленного на рис. 2.

Входными данными для этой модели являются продолжительность эксплуатации СЭС (θ) и вектор, характеризующий параметры мероприятия ПОБ $X_4 = (x^1, x^2, x^3, x^4)$, а именно:

x^1 — проводимые дополнительные мероприятия средствами контроля технического состояния аппаратов защиты (АЗ) и СЭС;

x^2 — данные о времени, отводимом на подготовку ОП (изучения требований безопасности при эксплуатации СЭС);

x^3 — данные о дополнительных применяемых аппаратах защиты в СЭС;

x^4 — данные о дополнительных применяемых ИЗС. Выходным результатом моделирования является информация о вероятности получения электротравмы ($P^{этр}$) ОП и вероятности отключения ($P^{отк}$) в целом самого СТС из-за отказа элементов СЭС.

Структура данной имитационной модели представлена на рис. 3, которая описывает возможный сценарий поражения ОП электрическим током после проверки состояния z -го элемента СЭС на работоспособность.

На рис. 4 представлен алгоритм модели, имитирующий функционирование z -го элемента СЭС, который предназначен для анализа z -го элемента. Отказ z -го элемента в алгоритме реализован следующим образом: пусть необходимо генерировать отказ z -го элемента (случайное событие) с известной вероятностью $P_z^{вбр} = e^{(-\lambda_z \cdot (X_z^1) \cdot \theta)}$ и $\hat{Y}$ — случайная величина равномерно распределена (0,1). В соответствии с геометрическим определением вероятности события $P_z^{вбр} \{ \hat{Y} < P \} = P$ [4]. Поэтому с помощью базового датчика генерируется значение случайной величины $\hat{Y}$, и если $\hat{Y} < P$, то произошел отказ, в противном

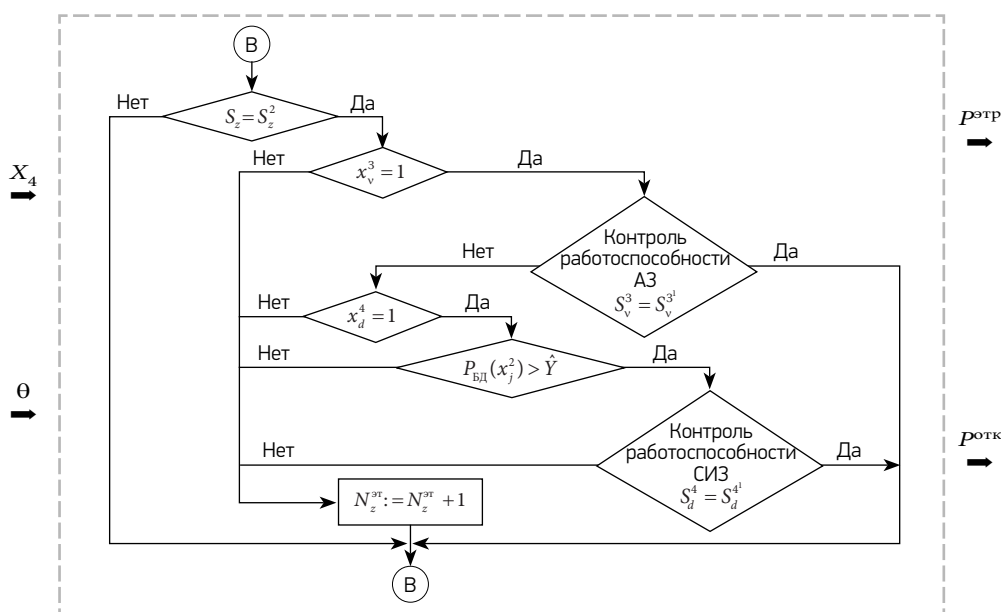
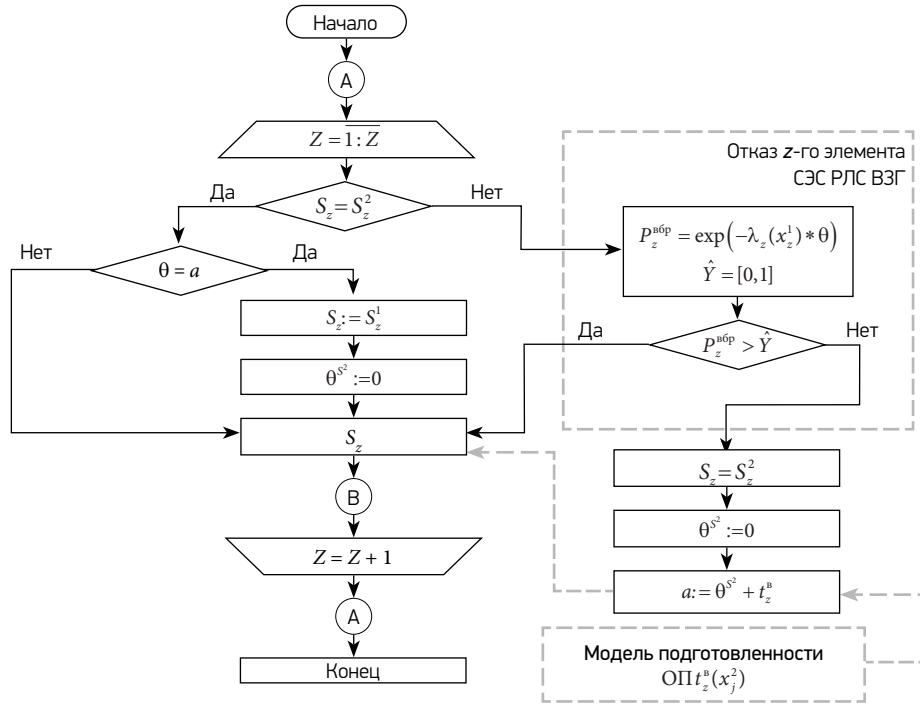


Рис. 3. Имитационная модель сценария поражения ОП электрическим током в результате отказа z -го элемента СЭС

Figure 3. Simulation model of the scenario of electrical shock for service personnel as a result of failure of the z -th SES element

Рис. 4. Алгоритм модели функционирования z-го элемента (S_z)Figure 4. Algorithm of the z-th element functioning model (S_z)

случае отказа нет. Подобный подход широко применяется в имитационном моделировании [5]. Далее в алгоритме производится расчет времени восстановления z-го элемента в зависимости от уровня подготовки ОП.

Таким образом, модель сценария поражения ОП электрическим током в результате отказа z-го элемента СЭС и модель функционирования z-го элемента взаимосвязаны, а именно: в случае отказа z-го элемента реализуется сценарий поражения ОП электрическим током. Обе модели интегрированы в имитационную модель функционирования СЭС, представленную на рис. 5. Данный алгоритм позволяет в зависимости от структурной схемы надежности СЭС рассчитать коэффициент готовности СЭС. В общем случае функция готовности восстанавливаемых систем в произвольный момент времени t может быть представлена:

$$K_{\Gamma}(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{[-(\lambda + \mu) \cdot t]}, \quad (1)$$

где λ — интенсивность отказов, ч^{-1} ;

μ — интенсивность восстановления, ч^{-1} .

С учетом того, что наработка на отказ $T_0 = 1/\mu$ и среднее время восстановления $T_B = 1/\lambda$, получаем еще одно выражение для функции готовности:

$$K_{\Gamma}(t) = \frac{T_0}{T_0 + T_B} + \frac{T_B}{T_0 + T_B} \cdot e^{\left[-\left(\frac{1}{T_0} + \frac{1}{T_B}\right) \cdot t\right]}. \quad (2)$$

При $t = 0$ функция готовности равна единице $K_{\Gamma}(0) = 1$. Предельное значение функций готовности называется коэффициентом готовности:

$$K_{\Gamma} = \lim_{t \rightarrow \infty} K_{\Gamma}(t) = \frac{T_0}{T_0 + T_B}. \quad (3)$$

Наработку на отказ T_0 можно представить в виде разницы наработки СЭС θ и ее времени восстановления $t_B^{\text{СЭС}}$, получим:

$$T_0 = \theta - t_B^{\text{СЭС}}. \quad (4)$$

Из этого следует, что коэффициент готовности можно представить в виде [6]:

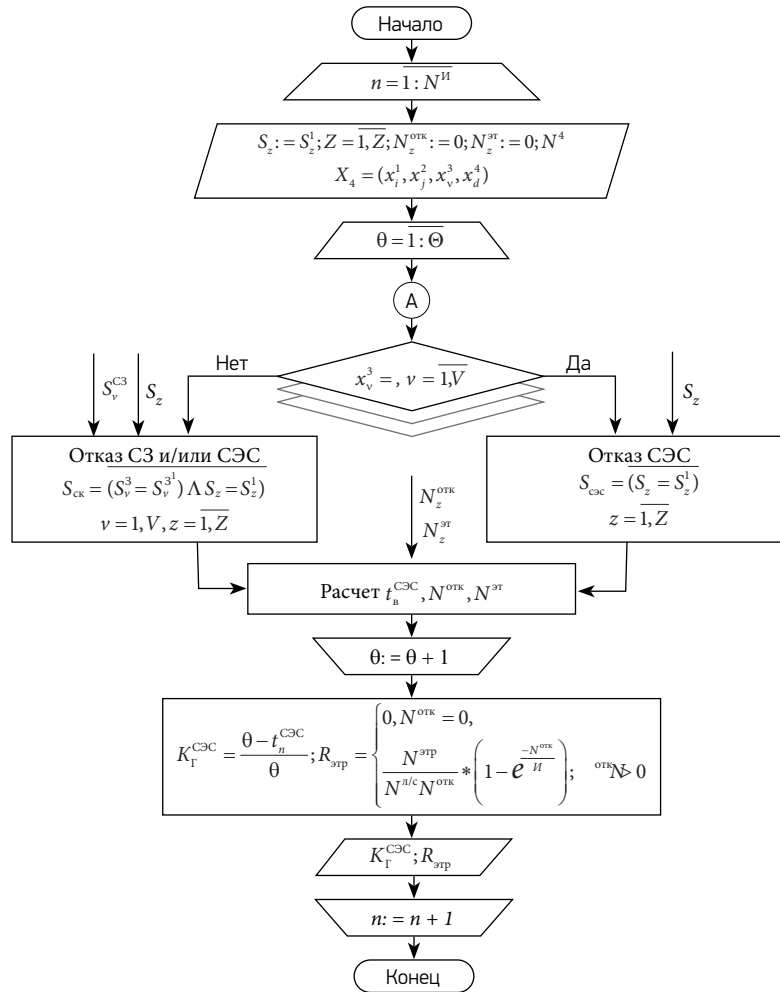


Рис. 5. Алгоритм имитационной модели функционирования СЭ СЭС

Figure 5. Algorithm of simulation model of ES ESS functioning

$$K_{\Gamma}^{\text{СЭС}} = \frac{\theta - t_{\text{Б}}^{\text{СЭС}}}{\theta}. \quad (5)$$

В общем случае расчет индивидуального риска получения электротравмы ($R_{\text{эп}}$) ОП за рассматриваемый период времени осуществляется по формуле [7]:

$$R_{\text{эп}} = P^{\text{отк}} \cdot P^{\text{эп}}, \quad (6)$$

где $P^{\text{отк}} = 1 - e^{(-\lambda \cdot \theta)}$ — вероятность отказа СЭС;

$\lambda = \frac{N^{\text{отк}}}{N_{\text{и}}}$ — интенсивность отказов СЭС, рассчитывается как отношение количества отказов элементов СЭС $N^{\text{отк}}$ к $N_{\text{и}}$ итерации имитационного моделирования;

$P^{\text{эп}} = \frac{N^{\text{эп}}}{N^{\text{оп}} N^{\text{отк}}}$ — условная вероятность получения

электротравмы в случае отказа z -го элемента СЭС. Выражение (6) можем преобразовать:

$$R_{\text{эп}} = \frac{N^{\text{эп}}}{N^{\text{оп}} N^{\text{отк}}} \left(1 - e^{-\frac{N^{\text{отк}}}{N^{\text{и}}} \theta} \right), \quad (7)$$

где $N^{\text{эп}}$ — количество полученных электротравм; $N^{\text{оп}}$ — количество обслуживающего персонала.

Количество итераций имитационного моделирования позволяет определить вероятность возникновения нежелательных событий за промежуток времени, год.

Научная новизна этой модели заключается в том, что разработанные алгоритмы взаимодействия между частными моделями позволяют учесть комплексное влияние на показатели индивидуального риска поражения ОП и готовности защиты СЭС от нежелательных факторов.

Этап IV. Оценка адекватности разработанной имитационной модели

Для проверки адекватности представленной имитационной модели был использован подход, представленный в [8] и заключающийся в оценивании меры близости результатов, полученных при моделировании, и результатов, полученных из статистических данных.

В результате обработки данных многократной имитации процесса функционирования СЭ СЭС путем ядерной оценки плотности вероятности методом Парзена — Розенблатта [9, 10] удается получить закон распределения индивидуального риска получения электротравм $R_{\text{этр}}$, представленный в таблице и на рис. 6.

Построим функцию распределения риска получения электротравмы:

$$1) \text{ при } R_{\text{этр}} = 0 \quad F(R_{\text{этр}}) = 0;$$

$$2) \text{ при } 0 < R_{\text{этр}} \leq 0,00005 \quad F(R_{\text{этр}}) = 0,951;$$

$$3) \text{ при } 0,00005 < R_{\text{этр}} \leq 0,00015 \\ F(R_{\text{этр}}) = 0,951 + 0,028 = 0,979;$$

$$4) \text{ при } 0,00015 < R_{\text{этр}} \leq 0,00025 \\ F(R_{\text{этр}}) = 0,951 + 0,028 + 0,013 = 0,992;$$

$$5) \text{ при } 0,00025 < R_{\text{этр}} \leq 0,0003 \\ F(R_{\text{этр}}) = 0,951 + 0,028 + 0,013 + 0,006 = 0,998;$$

$$6) \text{ при } R_{\text{этр}} > 0,0003 \\ F(R_{\text{этр}}) = 0,951 + 0,028 + 0,013 + 0,006 + 0,002 = 1.$$

График функций распределения представлен на рис. 6.

График функции распределения любой прерывной случайной величины всегда есть разрывная ступенчатая функция, скачки которой происходят в точках, соответствующих возможным значениям случайной величины, и равны вероятности этих значений. Сумма всех скачков функций $F(R_{\text{этр}})$ равна единице [11].

Так как вероятность попадания случайной величины на заданный участок равна приращению функции распределения на этом участке, то:

$$\begin{aligned} P(R_{\text{этр}} > R_{\text{этр}}^{\text{нр}}) &= \\ &= F(0,0003) - F(0,00005) = 1 - 0,951 = 0,049. \end{aligned}$$

Таблица. Ряд распределения риска получения электротравмы

Table. A number of risk distributions for electrotrauma

$R_{\text{этр}} (N_{\text{этр}})$	0	0,00005	0,00015	0,00025	0,0003
$P(R_{\text{этр}} > R_{\text{этр}}^{\text{нр}})$	0,951	0,028	0,013	0,006	0,002

Таким образом, полученная функция распределения позволит определить значение вероятности $P(R_{\text{этр}} > R_{\text{этр}}^{\text{нр}})$, которая является показателем риска решений, направленных на обоснование ПОб. Этот показатель можно использовать в качестве показателя эффективности таких решений. На основе оценивания вероятности $P(R_{\text{этр}} > R_{\text{этр}}^{\text{нр}})$ в дальнейшем возможно обосновать значения параметров ПОб по критерию минимизации этой вероятности. В качестве метода оптимизации можно использовать метод дифференциальной эволюции. Применимость такого метода обусловлена возможностью нахождения аналитической зависимости вероятности $P(R_{\text{этр}} > R_{\text{этр}}^{\text{нр}})$ от параметров ПОб. В качестве такой «зависимости» должна использоваться имитационная модель функционирования СЭ СЭС.

Представленная в статье имитационная модель функционирования СЭ СЭС является составной частью методики управления безопасностью эксплуатации СЭС. Применение данного научно-методического аппарата объединенной группой «Электро Сервис» (г. Санкт-Петербург) для обоснования дополнительных организационно-технических мероприятий ПОб и их реализация в практике

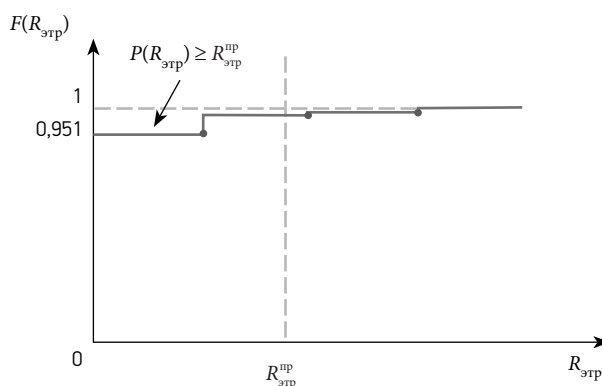


Рис. 6. Распределение индивидуального риска поражения ОП электрическим током

Figure 6. Distribution of individual risk of electrical shock in EP

позволили снизить индивидуальный риск электротравматизма на 10%. Примерами дополнительных мероприятий ПОБ явились: применение блокираторов на коммутационные аппараты при производстве отключений, установка термоиндикаторов на жилах кабельных линий и распределительных шин, включение в электрическую схему снабжения дополнительных устройств защитного отключения, увеличение времени на подготовку ОП по охране труда при выполнении работ на СЭС.

Заключение

Разработанная имитационная модель функционирования СЭ СЭС с помощью изменения параметров дополнительных мероприятий (x^1 , x^2 , x^3 , x^4) позволяет разработать комплекс мер, снижающих индивидуальный риск получения ОП электротравмы и включить его в ПОБ. Выполнение ОП данного ПОБ значительно снизит индивидуальный риск получения электротравмы.

Представленная имитационная модель функционирования СЭ СЭС отличается от известных тем, что разработанные алгоритмы взаимодействия между моделями подпроцессов функционирования этой системы эксплуатации позволяют учесть комплексное влияние на показатели риска решения по обоснованию ПОБ всех нежелательных факторов, что, в свою очередь, повышает адекватность оценки этих показателей.

Литература [References]

1. IEC 60812:2006 Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).
2. Кузьмина Н.М., Ридли А.Н. Решение задачи синтеза рисков в управлении инфраструктурными объектами // Надежность. 2020. Т. 20. № 4. С. 42—49. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-4-42-49>. [Kuzmina N.M., Ridley A.N. Solving the problem of risk synthesis as part of infrastructure facility management // Dependability. 2020;20(4):42-49, (In Russ.), <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-4-42-49>]
3. Вивчарь Р.М., Птушкин А.И., Соколов В.Б. Риск-ориентированное управление созданием организационно-технических систем на основе использования имитационных моделей их функционирования // Вестник Воронежского гос. ун-та. Серия: системный анализ и информационные технологии. 2021. № 2. С. 17—31, <https://doi.org/10.17308/sait.2021.2/3502> [Vivchar R.M., Ptushkin A.I., Sokolov B.V. Risk-based management of the design of organisational and technical systems based on simulation models of their functioning // Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technologies. 2021;(2):17-31, (In Russ.), <https://doi.org/10.17308/sait.2021.2/3502>]
4. Тихов М.С., Гришин В.А. Геометрические вероятности: Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2018. 52 с. [Tikhov M.S., Grishin V.A. Geometric probabilities: Educational and methodological manual. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University. 2018. 52 p., (In Russ.)]
5. Марголис Н.Ю. Имитационное моделирование: Учеб. пособие. Томск: Издательский Дом Томского гос. университета, 2015. 130 с. [Margolis N.Yu. Simulation: tutorial. Tomsk: Publishing House of Tomsk State University, 2015. 130 p., (In Russ.)]
6. Александров Е.С. и др. Основы эксплуатации космических средств: Учеб. Пособие. Военный инженерно-космический университет имени А.Ф. Можайского. Санкт-Петербург: Вузовский учебник, 2000. 500 с. [Alexandrov E.S. et al. Basics of the operation of space facilities: training manual. Military Engineering and Space University named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg. University textbook, 2000. 500 p., (In Russ.)]
7. Приказ Ростехнадзора об утверждении руководства по безопасности от 03.11.2022 № 387 «Методические основы анализа опасностей и оценки индивидуально-го риска аварий на опасных производственных объектах» [Rostekhnadzor Order on Approval of Safety Manual No. 387 of 03.11.2022 “Methodological Basis for Hazard Analysis and Assessment of Individual Risk of Accidents at Hazardous Production Facilities”, (In Russ.)]
8. Поршневу С.В., Копосов А.С. Использование аппроксимации Розенблатта-Парзена для восстановления функции распределения непрерывной случайной величины с ограниченным одномодальным законом распределения // Научный журнал КубГАУ. 2013. № 92(08). <http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/76.pdf> [Porshnev S.V., Koposov A.S. Using Rozenblatt-Parzen approximation for recovering a cumulative distribution function of continuous random variable with a bounded single-mode distribution rule // Scientific Journal of KubSAU. 2013;(92(08)), <http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/76.pdf>, (In Russ.)]
9. Давыдов В.С. Распознавание зарождающихся дефектов в узлах корабельных механизмов в результате

- вибродиагностирования на основе оптимальных решающих правил // Дефектоскопия. 2019. № 3. С. 19—24, <https://doi.org/10.1134/S0130308219030047>. [Davydov V.S. Recognition of nascent defects in ship mechanisms nodes as a result of vibration diagnostics based on optimal decision rules // Flaw detection. 2019;(3):19-24, (In Russ), <https://doi.org/10.1134/S0130308219030047>]
10. Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов: Монография. М.: РАН, 2018. 314 с., <https://doi.org/10.31857/S9785907036321000001> [Mikoni S.V., Sokolov B.V., Yusupov R.M. Qualimetry of models and polymodel complexes: Monograph. M.: RAS, 2018. 314 p., <https://doi.org/10.31857/S9785907036321000001>]
11. Вентцель Е.С. Теория вероятностей [Текст]: Учебник для вузов. 3-е изд., испр. М.: Наука, 1964. 576 с. [Wentzel E.S. Probability theory [Text]: Textbook for vtuz. 3rd ed., Ref. Moscow: Nauka, 1964. 576 p., (In Russ.)]

Сведения об авторах

Андреев Евгений Александрович: преподаватель кафедры организации эксплуатации и технического обеспечения

Количество публикаций: 14

Область научных интересов: безопасность эксплуатации систем электроснабжения

Контактная информация:

Адрес: 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13

evgeny.979@mail.ru

Вивчарь Роман Михайлович: преподаватель кафедры организации эксплуатации и технического обеспечения

Количество публикаций: 27

Область научных интересов: безопасность эксплуатации систем электроснабжения

Контактная информация:

Адрес: 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13

ramzec9322@rambler.ru

Решетников Дмитрий Владимирович: доцент кафедры организации эксплуатации и технического обеспечения

Количество публикаций: 32

Область научных интересов: безопасность эксплуатации систем электроснабжения

Контактная информация:

Адрес: 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13

reshetnikovdv@yandex.ru

Статья поступила в редакцию: 25.08.2022

После доработки: 20.02.2023

Одобрена после рецензирования: 20.04.2023

Принята к публикации: 16.05.2023

Дата публикации: 30.06.2023

The article was submitted: 25.08.2022

Received after reworking: 20.02.2023

Approved after reviewing: 20.04.2023

Accepted for publication: 16.05.2023

Date of publication: 30.06.2023

УДК: 336.051

<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-82-91>

ISSN 1812-5220

© Проблемы анализа риска, 2023

Индикативные системы оценки финансовой безопасности хозяйствующих субъектов: недостатки и перспективы развития

Королева Л.П.,
Панкрухина А.М. *,
Финансовый университет
при Правительстве Российской
Федерации,
125167, Россия, г. Москва,
Ленинградский пр-т, д. 49/2

Аннотация

Целью настоящей статьи является анализ существующих индикативных систем, применяемых для оценки финансовой безопасности, на предмет выявления присущих им недостатков. Для достижения поставленной цели была проведена оценка финансовой безопасности двух российских компаний с использованием шести систем индикаторов, разработанных разными российскими исследователями. В результате сравнения полученных оценок был сделан вывод о высокой корреляции таких оценок по причине использования авторами рассмотренных подходов стандартных коэффициентов финансового анализа. В заключение было отмечено, что ключевым недостатком большинства рассмотренных систем индикаторов финансовой безопасности является игнорирование отраслевой специфики объекта оценивания.

Ключевые слова: финансовая безопасность; финансовые индикаторы; финансовые коэффициенты; индикаторы финансовой безопасности; отраслевые пороговые значения.

Для цитирования: Королева Л.П., Панкрухина А.М. Индикативные системы оценки финансовой безопасности хозяйствующих субъектов: недостатки и перспективы развития // Проблемы анализа риска. 2023. Т. 20. № 3. С. 82—91, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-82-91>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Indicative Systems for Assessing the Financial Security of Business Entities: Disadvantages and Development Prospects

**Lyudmila P. Koroleva,
Anastasia M.**

Pankrukhina*,
Financial University under the
Government of the Russian
Federation,
Leningradsky pr., 49/2, Moscow,
125167, Russia

Abstract

The purpose of this article is to analyze the existing indicative systems used to assess financial security in order to identify their inherent shortcomings. To achieve this goal, an assessment of the financial security of two Russian companies was carried out using six systems of indicators developed by various Russian researchers. As a result of comparing the obtained estimates, it was concluded that such estimates are highly correlated due to the use by the authors of the considered approaches of standard financial analysis coefficients. In conclusion, it was noted that the key drawback of most of the considered systems of financial security indicators is ignoring the industry specifics of the object of assessment.

Keywords: financial security; financial indicators; financial ratios; financial security indicators; industry thresholds.

For citation: Koroleva L.P., Pankrukhina A.M. Indicative systems for assessing the financial security of business entities: disadvantages and development prospects // *Issues of Risk Analysis*. 2023;20(3):82-91, (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-82-91>

The authors declare no conflict of interest.

Содержание

Введение

1. Нормативно-правовое регулирование
2. Сущность индикативного подхода
3. Авторские системы индикаторов финансовой безопасности
4. Практическое применение различных систем индикаторов оценки уровня финансовой безопасности

Заключение

Литература

Введение

Под финансовой безопасностью понимают способность экономического субъекта противостоять внешним и внутренним угрозам и достигать своих приоритетных интересов. Под экономическим субъектом понимаются и физические лица, и коммерческие и некоммерческие организации, и государство. Так как хозяйствующие субъекты функционируют в условиях неопределенности, то их деятельность сопряжена с постоянно возникающими рисками, разнонаправленно воздействующими на устойчивость и независимость субъектов. Для успешного достижения приоритетных интересов необходимо построение системы экономической

безопасности. Но прежде следует разделить понятия экономической и финансовой безопасности.

Так, согласно Л.А. Куликовой и В.В. Ушакову финансовая безопасность является функциональной составляющей экономической безопасности [8]. Следовательно, построение эффективной системы экономической безопасности невозможно без эффективной системы финансовой безопасности. Целью последней является поддержание финансовой стабильности и устойчивости. Для этого необходимо идентифицировать, оценивать и реагировать на угрозы финансовой безопасности. Одним из подходов к оценке таких угроз является индикативный подход [10].

1. Нормативно-правовое регулирование

Оценка экономической безопасности проводится в том числе на макроэкономическом уровне. Центральным документом в данной области является Стратегия экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 г. (далее — Стратегия), где описаны вызовы и угрозы экономической безопасности России, а также определен вектор развития политики государства по обеспечению собственной экономической безопасности [1]. На основе данной Стратегии для регулярной оценки состояния экономической безопасности в стране Федеральной службой государственной статистики была разработана система показателей [12].

Таким образом, можно констатировать, что государство демонстрирует лучшую практику в области экономической безопасности, избирая количественную оценку ее уровня, что должно послужить стимулом для остальных экономических субъектов поступать подобным образом.

2. Сущность индикативного подхода

Согласно индикативному подходу оценкой финансовой безопасности служит система количественных показателей с пороговыми значениями. Состояние соответствия всех индикаторов области допустимых значений при прочих равных условиях свидетельствует о высоком уровне защищенности от финансовых угроз, в противном случае — превышение или недостижение индикаторами своих нормативных значений говорит о неспособности системы финансовой безопасности противостоять текущим внешним и внутренним угрозам и, следовательно, о низкой защищенности хозяйствующего субъекта [5].

Разные авторы называют ключевыми индикаторами финансовой безопасности разные показатели. Например, Ю.В. Нуретдинова выделяет в качестве такового стоимость предприятия. Л.А. Кондаурова помимо разработанного ею агрегированного индекса обращает внимание на важность:

- рыночной капитализации;
- эффективности использования капитала, т. е. показателей рентабельности;
- финансового равновесия [7].

Именно это и является главным **проблемным вопросом** индикативного подхода к оценке уровня финансовой безопасности — какие индикаторы необходимо включить в систему показателей и какие пороговые значения следует установить, чтобы наиболее точно и достоверно оценить текущую финансовую безопасность предприятия и спрогнозировать ее изменение после принятия тех или иных управленческих решений [9].

3. Авторские системы индикаторов финансовой безопасности

Существует множество мнений относительно перечня показателей системы оценки финансовой безопасности и их нормативных значений. Рассмотрим некоторые из них. Например, Р.С. Папехин в систему индикаторов финансовой безопасности включает показатели, перечисленные в табл. 1, и устанавливает соответствующие пороговые значения.

Однако представленная система индикаторов имеет ряд недостатков. Так, ряд ученых отмечают, что набор показателей, представленных Папехиным, позволяет выявить угрозы финансовой безопасности, узкие места, требующие более пристального внимания, но не оценить уровень финансовой безопасности, то есть способность экономического субъекта противостоять эти угрозам [4].

Другая методика, предложенная Л.А. Запорожцевой, М.А. Шкваруком и представленная в табл. 2, включает практически такой же набор финансовых индикаторов, как и у Папехина, — новыми являются только коэффициент ликвидности, достаточность денежных средств на счетах и экономическая добавленная стоимость.

Главной отличительной чертой данной системы индикаторов является то, что авторы устанавливают для каждого показателя не одно пороговое значение, а два — безопасное и опасное. Если выход

Таблица 1. Оценка финансовой безопасности ПАО «Кузбассразрезуголь» и ПАО «Русагро» на основе системы финансовых индикаторов по методологии Папехина Р.С.*Table 1. Assessment of financial security of PJSC "Kuzbassrazrezugol" and PJSC "Rusagro" based on the system of financial indicators according to the methodology of R.S. Papakhin*

Показатель	Пороговое значение	2022 (уголь)	2022 (с/х)
Коэффициент покрытия (ликвидности)	1	1,92	2,23
Коэффициент автономии	0,3	0,53	0,56
Уровень финансового левериджа	3	0,40	0,0
Коэффициент обеспечения процентов к уплате	3	17,06	-0,66
Рентабельность активов	Индекс инфляции (11,94% по итогам 2022 г. согласно данным Банка России)	29%	-2%
Рентабельность собственного капитала	15%	54%	-3%
Средневзвешенная стоимость капитала WACC	Рентабельность инвестиций		
Временная структура кредитов	Кредиты сроком до 1 года < 30%	0,37	1,00
	Кредиты сроком от 1 года > 70%	0,63	0,00
Темпы роста прибыли, реализации продукции, активов	Темпы роста прибыли > Темпы роста выручки > Темпы роста активов	-7,2 < 2,07 > 1,6	-0,09 < 0,43 < 1,07
<i>Темп роста чистой прибыли</i>		<i>-7,19</i>	<i>-0,09</i>
<i>Темп роста выручки</i>		<i>2,07</i>	<i>0,43</i>
<i>Темп роста активов</i>		<i>1,61</i>	<i>1,07</i>
Соотношение оборачиваемости дебиторской и кредиторской задолженности	Период оборота дебиторской задолженности > Период оборота кредиторской задолженности	61,1 > 27,9	240,05 > 84,7
<i>Период оборота дебиторской задолженности</i>		<i>61,14</i>	<i>240,05</i>
<i>Период оборота кредиторской задолженности</i>		<i>27,91</i>	<i>84,70</i>
Доля индикаторов, вышедших за пределы пороговых значений		38,9%	66,7%

Источник: составлено авторами.

Таблица 2. Оценка финансовой безопасности ПАО «УК Кузбассразрезуголь» и ПАО «Русагро» по методологии [6]*Table 2. Assessment of financial security of PJSC "UK Kuzbassrazrezugol" and PJSC "Rusagro" according to the methodology [6]*

Контрольные точки финансовой безопасности	Безопасное значение	Опасное значение	Уголь	С/х
Коэффициент текущей ликвидности	≥ 1	< 1	1,92	2,23
Коэффициент автономии	$\geq 0,5$	1	0,53	0,56
Рентабельность активов	> индекса инфляции	$\leq$ индекса инфляции	0,35	-0,02
Рентабельность собственного капитала	> рентабельности активов	$\leq$ рентабельности активов	0,73	-0,03
Темп роста прибыли	> темпа роста выручки	$\leq$ темпа роста выручки	-7,19	-0,09
<i>Темп роста выручки</i>			2,07	0,43
Темп роста активов	> 1	≤ 1	1,61	1,07
Оборачиваемость дебиторской задолженности	≥ 12	< 12	5,89	1,50
Оборачиваемость кредиторской задолженности	$\geq$ оборачиваемости дебиторской задолженности	< 1	12,90	4,25
Доля индикаторов, вышедших за пределы пороговых значений			22%	33%

Источник: составлено авторами.

за пределы безопасных значений ограничивается одним или двумя показателями, то авторы предлагают оценивать уровень финансовой безопасности как высокий. Оценка «низкий» присваивается системе финансовой безопасности при выявлении нарушений опасных значений по трем и более индикаторам.

Преимуществом такой системы является возможность рационального использования ограниченных ресурсов предприятия, а также учет риска-аппетита. Так, выход одного или нескольких показателей за пределы безопасного значения еще не является причиной говорить о серьезных неполадках в работе компании и мотивацией для сообщения о данной проблеме высшему руководству. Такая ситуация может быть решена в рабочем порядке владельцами процессов, сбои в которых привели к появлению «брешей» в финансовой безопасности. В случае достижения финансовым индикатором

опасного значения уже требуются мобилизация гораздо большего объема ресурсов и принятие решений на более высоком уровне [6].

Главным недостатком системы индикаторов, предложенной Л.А. Запорожцевой и М.А. Шкваруком, является проблема, общая для всех систем количественных показателей. Во-первых, какие именно показатели необходимо включить в систему для получения максимально достоверной оценки финансовой защищенности экономического субъекта? Во-вторых, насколько правильно устанавливать единые безопасные и опасные значения в условиях влияния отраслевой специфики на экономическую деятельность [10]? Классическим примером является определение рентабельности в сельском хозяйстве, банковском секторе и сырьевом секторе.

Третья система индикаторов финансовой безопасности разработана Н.Н. Подтиховой, И.С. Феровой и представлена в табл. 3.

Таблица 3. Оценка финансовой безопасности ПАО «УК Кузбассразрезуголь» и ПАО «Русагро» по методологии [11]

Table 3. Assessment of financial security of PJSC "UK Kuzbassrazrezugol" and PJSC "Rusagro" according to the methodology [11]

Индикатор	Пороговое значение (если ниже, то опасно)	2022 (уголь)
Коэффициент текущей ликвидности (И1)	1	1,92
Коэффициент быстрой ликвидности (И2)	0,5	1,52
Коэффициент абсолютной ликвидности (И3)	0,2	0,28
Коэффициент покрытия оборотных средств собственными источниками формирования	0,1	0,04
Коэффициент финансовой устойчивости	0,5	0,84
Коэффициент автономии	0,3	0,53
Отношение фактической величины задолженности по кредитам и займам к EBITDA (И7)	5	0,71
Коэффициент покрытия процентов (И8)	1,5	17,06
Отношение темпов роста прибыли и выручки (И9)	1	-3,48
Индикатор оборачиваемости дебиторской задолженности (И10)	1	1,39
Отношение коэффициентов оборачиваемости дебиторской и кредиторской задолженности (И11)	1	0,46
Коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности		5,89
Коэффициент оборачиваемости кредиторской задолженности		12,90
Рентабельность продаж по прибыли от продаж (И12)	12,90%	0,34
Рентабельность собственного капитала (И13)	Доходность по безрисковым активам (10,96% в среднем по данным Банка России)	0,73
Рентабельность активов (И14)	Индекс инфляции (11,94% по итогам 2022 г. согласно данным Банка России)	0,35
Качественный показатель работы финансовой службы	0,7	
Доля индикаторов, вышедших за пределы пороговых значений		43,8%

Источник: составлено авторами.

Авторы учли претензии к работе их коллег по части отсутствия внимания к отраслевому фактору и сконцентрировались на оценке финансовой безопасности угледобывающих компаний [11]. Данная система включает большее число индикаторов. Если в первых двух рассмотренных системах было по 12 количественных показателей, то тут их 15. Авторы не ограничиваются одним показателем ликвидности, как Запорожцева и Шкварук и Папехин, а включают также коэффициенты быстрой и абсолютной ликвидности. Из нового включены:

- коэффициент покрытия оборотных средств собственными источниками формирования (далее — коэффициент СОС);
- коэффициент финансовой устойчивости;
- отношение задолженности по кредитам и займам к EBITDA;
- рентабельность продаж по прибыли от продаж.

Характерной особенностью данного подхода к формированию системы показателей финансовой безопасности является включение качественного

показателя работы финансовой службы — такого нет ни в одной из ранее рассмотренных систем. С одной стороны, это добавляет субъективности в совокупную оценку финансовой защищенности, но с другой — неправильным будет игнорировать человеческий фактор, играющий далеко не последнюю роль в финансовых успехах или проблемах субъекта хозяйствования.

Вообще субъективность расчета показателей и простор для манипулирования результатами являются главными недостатками системы индикаторов, предложенной Подтиховой и Феровой. Так, коэффициент СОС имеет как минимум 5 методик расчета, представленных в табл. 4 [3].

Наиболее продвинутый подход применяется в системе показателей в работе И.Д. Аникиной, Е.П. Кучеровой, Е.С. Каревой, приведенной в табл. 5 [2].

В ней реализован один из активно обсуждаемых трендов в области индикативного подхода — разработка интегрального показателя. Финансовые показатели данной модели классифицированы

Таблица 4. Подходы к расчету собственных оборотных средств

Table 4. Approaches to calculating own working capital

Модель	Авторы	Формула расчета СОС
1	Донцова Л.В., Никифорова Н.А., Гаврилова А.Н., Незаймакин В.Н.	$СОС = СК - ВА$, где: СОС — собственные оборотные средства; СК — собственный капитал; ВА — внеоборотные активы
2	Савицкая Г.В., Козельцева Е.А., Маркарян Э.А., Герасименко Г.П.	$СОС = СК + ДБП + ОЦО - ВА$, где: СК — собственный капитал; ДБП — доходы будущих периодов; ОЦО — оценочные обязательства
3	Ковалев В.В., Волкова О.Н., Ефимова О.В., Миронов А.В.	$СОС = ОА - КО$, где: ОА — оборотные активы; КО — краткосрочные обязательства
4	Бланк И.А., Любушин Н.П., Дьякова В.Г., Шеремет А.Д., Козельцева Е.А.	$СОС = СК + ДО - ВА = ПК - ВА$, где: ПК — постоянный капитал; ДО — долгосрочные обязательства
5	Глазунов М.И.	$СОС = СК - (ВА - (ДЗК - А) - (КЗК - Г))$, где: ДЗК — долгосрочные займы и кредиты; КЗК — краткосрочные займы и кредиты; А — долгосрочные займы и кредиты, направленные на финансирование оборотных активов; Г — краткосрочные кредиты и займы, направленные на финансирование оборотных активов

Таблица 5. Оценка финансовой безопасности ПАО «Русагро» на основе системы финансовых индикаторов [2]

Table 5. Assessment of financial security of PJSC "Rusagro" based on the system of financial indicators [2]

Финансовый показатель	Нормативное значение	Нормативное значение, скорректированное с учетом специфики сельскохозяйственных организаций	2022
Показатели рентабельности Ф1			
Рентабельность продаж (ROS)	Больше 0	Больше 0	-0,01
Норма чистой прибыли	Больше 0	Больше 0	
Рентабельность собственного капитала	Больше 0	Больше 0	-0,03
Ф1	0,03	0,03	-0,04
Показатели финансовой устойчивости Ф2			
Коэффициент автономии	0,5	0,5	0,56
Коэффициент финансового левериджа (обратный)	1	1	0,00
Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами	0,1	0,1	0,55
Ф2	1,6	1,6	1,11
Показатели платежеспособности Ф3			
Коэффициент текущей ликвидности	2	0,75	2,23
Коэффициент быстрой ликвидности	0,8	0,25	1,98
Коэффициент абсолютной ликвидности	2	0,25	0,00
Ф3	4,8	1,25	4,22
Показатели деловой активности Ф4			
Оборачиваемость оборотных активов в днях / 365	0,77	0,77	0,00
Оборачиваемость дебиторской задолженности в днях / 365	0,12	0,12	0,00
Фондоотдача	1,52	1,52	–
Ф4	2,41	2,41	0,01
ФБ = Ф1 + 0,75Ф2 + 0,5Ф3 + 0,25Ф4			
Показатель финансовой безопасности (ФБ)	4,23	2,46	2,90

Источник: составлено авторами.

по четырем блокам: рентабельность, финансовая устойчивость, платежеспособность и деловая активность. По каждому из блоков рассчитываются итоговые показатели, из которых складывается интегральный индикатор, иллюстрирующий общий уровень финансовой безопасности. Каждый индикатор в системе: в составе блока, итоговый по блоку и конечный интегральный — имеет нормативные значения, установленные с учетом специфики компаний сельскохозяйственной отрасли.

Единственным явным недостатком системы индикаторов, разработанной И.Д. Аникиной, Е.П. Кучеровой, Е.С. Каревой, является методика расчета агрегированных показателей — простое сложение, то есть не учитывается уровень критичности нарушения той или иной группой показателей своих пороговых значений, что может сыграть решающую роль, тем более в случае оценки финансовой безопасности такой специфической отрасли, как сельское хозяйство.

4. Практическое применение различных систем индикаторов оценки уровня финансовой безопасности

В качестве практического примера оценим уровень финансовой безопасности российской компании с помощью рассмотренных выше четырех индикативных систем и сравним результаты. Так как две из четырех систем показателей имеют отраслевую специфику, то оценка будет проведена в отношении двух компаний: угледобывающей ПАО «УК Кузбассразрезуголь» и сельскохозяйственной ПАО «Русагро»¹.

По результатам расчетов, представленных в табл. 1—3 и 5, можно сделать несколько выводов. Во-первых, разные методики оценки финансовой безопасности через индикативный подход содержат разную долю индикаторов, расчет которых затруднен, если полагаться на такие традиционные источники информации для финансового анализа, как бухгалтерский баланс и отчет о финансовых результатах. Рассмотренные подходы содержали 17, 31, 7 и 0% таких индикаторов.

Во-вторых, только два из четырех рассмотренных подходов сообщают пользователю критерии формирования интегральной оценки. Л.А. Запорожцева и М.А. Шкварук рекомендуют классифицировать уровень финансовой безопасности как низкий, если три или более индикатора попали в зону опасных значений. Система финансовых индикаторов И.Д. Аникиной, Е.П. Кучеровой и Е.С. Карева и вовсе нацелена на расчет количественной оценки через формулу, учитывающий вес определенной группы финансовых индикаторов в зависимости от ее значимости в контексте ведения сельскохозяйственной деятельности.

В-третьих, важно заметить, что итоговый вывод о финансовой безопасности вне зависимости от использованной для оценки системы индикаторов одинаков, что можно наглядно увидеть из табл. 6.

Таблица 6. Подведение итогов оценки уровня финансовой безопасности

Table 6. Summary of financial security assessment

Авторы системы индикаторов	№ приложения	Итог оценки
ПАО «УК Кузбассразрезуголь»		
Нуретдинова Ю.В., Васильева Е.В., Горловская Е.А., Калакова К.М., Клепикова М.В.	2	39% индикаторов в красной зоне
Запорожцева Л.А., Шкварук М.А.	3	40% индикаторов в красной зоне
Подтихова Н.Н., Ферова И.С.	4	44% индикаторов в красной зоне
ПАО «Русагро»		
Нуретдинова Ю.В., Васильева Е.В., Горловская Е.А., Калакова К.М., Клепикова М.В.	2	67% индикаторов в красной зоне
Запорожцева Л.А., Шкварук М.А.	3	60% индикаторов в красной зоне
Аникина И.Д., Кучерова Е.П., Карева Е.С.	5	2,9 (порог для компании АПК 2,46)

Источник: составлено авторами.

Заключение

Таким образом, существует множество систем оценки уровня финансовой безопасности на основе индикативного подхода. Большинство систем основаны на стандартном перечне коэффициентов финансового анализа. Возможно, именно данная особенность приводит к высокой корреляции итоговых выводов об уровне финансовой безопасности обеих рассмотренных компаний.

В настоящий момент ключевыми недостатками большинства систем индикаторов, применяемых для оценки финансовой безопасности, являются: наличие качественных показателей, расчет которых субъективен, а также наличие количественных показателей, расчет которых недоступен для внешних пользователей отчетности компании.

Самым весомым недостатком является игнорирование отраслевой специфики. Значимость такого

¹ В таблицах ПАО «УК Кузбассразрезуголь» обозначено как «уголь», а ПАО «Русагро» обозначено как «с/х».

фактора, как отраслевая принадлежность, видна из пороговых значений интегрированного показателя уровня финансовой безопасности, представленных в табл. 5. В общем случае пороговое значение устанавливается на уровне 4,23, а после корректировок с учетом специфики сельскохозяйственных компаний пороговое значение принимает значение 2,46. Использование того или иного порогового значения может существенно повлиять на вывод о финансовой безопасности компании, а следовательно, на принимаемые решения.

Таким образом, именно адаптация существующих систем индикаторов для всех отраслей экономики, а не только ведущих, должна быть в приоритете при дальнейшей разработке систем оценки финансовой безопасности через индикативный подход.

Литература [References]

1. Указ Президента РФ от 13 мая 2017 г. № 208 «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года» [Decree of the President of the Russian Federation of May 13, 2017 No. 208 "On the Strategy for the Economic Security of the Russian Federation for the period up to 2030", (In Russ.)]
2. Аникина И.Д., Кучерова Е.П., Карева Е.С. Совершенствование методики оценки уровня финансовой безопасности сельскохозяйственных организаций // Учет. Анализ. Аудит. 2020. № 7(2). С. 40—47, <https://doi.org/10.26794/2408-9303-2020-7-2-40-47> [Anikina I.D., Kucherova E.P., Kareva E.S. Improving the methodology for assessing the level of financial security of agricultural companies // Accounting. Analysis. Auditing. 2020;(7(2)):40-47, (In Russ.), <https://doi.org/10.26794/2408-9303-2020-7-2-40-47>]
3. Васильева Н.К., Мороз Н.Ю., Корниаш В.С., Ордынская А.С. Собственные оборотные средства как источник формирования активов предприятия // Вестник Академии знаний. 2021. № 2 (43). С. 77—84, <https://doi.org/10.24412/2309-6139-2021-11041> [Vasileva N.K., Moroz N.Yu., Korniyash V.S., Ordynskaya A.S. Own working capital as a source of formation of assets of the enterprise // Bulletin of the Academy of Knowledge. 2021;(2(43)):77-84, (In Russ.), <https://doi.org/10.24412/2309-6139-2021-11041>]
4. Власенкова Т.А., Панченко Т.М., Цыпин А.П. Индикаторный метод как инструмент обеспечения финансовой безопасности хозяйствующего субъекта // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право. 2020. Т. 20. № 3. С. 271—283, <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2020-20-3-271-283> [Vlasenkova T.A., Panchenko T.M., Tsypin A.P. Indicator Method as an Instrument to Ensure Financial Security of an Economic Entity // Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Economics. Management. Law. 2020;20(3):271-283 (in Russ.), <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2020-20-3-271-283>]
5. Гоман И.В., Ахмедова Л.Б. Финансовые результаты в системе индикаторов и факторов экономической безопасности бизнеса // Аллея науки. 2020. Т. 2. № 12(51). С. 371—379 [Goman I.V., Akhmedova L.B. Financial results in the system of indicators and factors of business economic security // Alley-science. 2020;2(12(51)):371-379, (In Russ.)]
6. Запорожцева Л.А., Шкварук М.А. К вопросу об оценке финансовой безопасности коммерческой организации // Финансовый вестник. 2019. № 1(44). С. 21—31 [Zaporozhtseva L.A., Shkvaruk M.A. To the question about the financial security of the commercial organization // Financial Bulletin. 2019;(1(44)):21-31, (In Russ.)]
7. Кондаурова Л.А. Применение индикативного подхода в оценке финансовой безопасности предприятия // Вектор экономики. 2020. № 3(45). С. 35 [Kondaurova L.A. Application of indicative approach in the assessment of financial security of the enterprise // Vector Economy. 2020;(3(45)):35, (In Russ.)]
8. Куликова Л.А., Ушаков В.В. Особенности финансовой составляющей экономической безопасности предприятия // Экономика и бизнес: теория и практика. 2020. № 8. С. 86—89, <https://doi.org/10.24411/2411-0450-2020-10653> [Kulikova L.A., Ushakov V.V. Features of the financial component of economic security of the enterprise // Economics and Business. 2020;(8):86-89, (In Russ.), <https://doi.org/10.24411/2411-0450-2020-10653>]
9. Линник Д.С., Ешугова Ф.Р. Система экономической безопасности организации по индикаторам финансовой устойчивости // Сборник трудов конференции «Экономическая безопасность в условиях цифровой экономики: трансформация векторов и подходов». 2021. С. 50—54 [Linnik D.S., Eshugova F.R. The system of economic security of the organization according to indicators of financial stability // Proceedings of the conference "Economic security in the digital economy:

- the transformation of vectors and approaches.” 2021. P. 50—54, (In Russ.)]
10. Нуретдинова Ю.В., Васильева Е.В., Горловская Е.А., Калакова К.М., Клепикова М.В. Индикаторный метод оценки уровня финансовой безопасности предприятия // Столыпинский вестник. 2020. Т. 2. № 4. С. 1, <https://doi.org/10.24411/2713-1424-2020-10015> [Nuretdinova Yu.V., Vasilyeva E.V., Gorlovskaya E.A., Kalakova K.M., Klepikova M.V. Indicator method for assessing the level of financial security of an enterprise // Stolypin Annals. 2020;2(4):1, (In Russ.), <https://doi.org/10.24411/2713-1424-2020-10015>]
 11. Подтихова Н.Н., Ферова И.С. Оценка финансовой безопасности угледобывающего предприятия // Бизнес. Образование. Право. 2021. № 3(56). С. 25—31, <https://doi.org/10.25683/VOLBI.2021.56.328> [Podtikhova N.N., Feroва I.S. Financial security assessment of a coal mining enterprise // Business. Education. Law. 2021;(3(56)):25-31., (In Russ.), <https://doi.org/10.25683/VOLBI.2021.56.328>]
 12. Показатели для оценки состояния экономической безопасности России — URL: <https://rosstat.gov.ru/econSafety> (07.11.2022) [Indicators for assessing the state of Russia's economic security — URL: <https://rosstat.gov.ru/econSafety> (07.11.2022), (In Russ.)]

Сведения об авторах

Королева Людмила Павловна: кандидат экономических наук, доцент, доцент департамента экономической безопасности и управления рисками Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, г. Москва
Количество публикаций: 156

Область научных интересов: финансовая безопасность

ResearcherID: N-8494-2017

ORCID: 0000-0002-8375-8524

SPIN-код: 5336-2711

AuthorID: 619889

Контактная информация:

Адрес: 125167, г. Москва, Ленинградский пр-т, д. 49/2

lpkoroleva@fa.ru

Панкрухина Анастасия Михайловна: бакалавр факультета экономики и бизнеса Финансового университета при Правительстве РФ, г. Москва

Количество публикаций: 7

Область научных интересов: управление рисками устойчивого развития, оценка ESG-рисков

Контактная информация:

Адрес: 125167, г. Москва, Ленинградский пр-т, д. 49/2

pankruhinaa10@yandex.ru

Статья поступила в редакцию: 09.04.2023

Одобрена после рецензирования: 03.05.2023

Принята к публикации: 16.05.2023

Дата публикации: 30.06.2023

The article was submitted: 09.04.2023

Approved after reviewing: 03.05.2023

Accepted for publication: 16.05.2023

Date of publication: 30.06.2023

Инструкция для авторов

1. Общие требования к представлению статьи

Журнал «Проблемы анализа риска» публикует междисциплинарные научные и прикладные материалы, посвященные анализу рисков различного происхождения и характера: техногенного, природного, социально-экономического, финансового, экологического и др.

Представляемая в редакцию статья должна соответствовать тематике журнала, быть написана на русском языке (титульный лист представляется на русском и английском языках), быть оригинальной, ранее не опубликованной и не представленной к публикации в другом издании.

Авторы несут ответственность за достоверность приведенных сведений, отсутствие данных, не подлежащих открытой публикации, и точность информации по цитируемой литературе.

В первую очередь рассматриваются и принимаются к публикации материалы, содержащие ссылки на ранее опубликованные в журнале ПАР статьи по схожей тематике.

Все представленные в редакцию журнала рукописи авторам не возвращаются.

2. Порядок представления рукописи

Представление статьи в редакцию журнала осуществляется в электронном виде на e-mail journal@dex.ru.

В наименовании электронного файла статьи должны быть указаны: первый автор статьи, сокращенное название статьи, дата представления (например, «Иванов_Стандарты финансового РМ_12_01_18»).

Внимание! Статьи представленные не в соответствии с инструкцией для авторов, могут быть не приняты к рассмотрению.

Статья будет направлена на рецензирование одному или двум экспертам. Возможно, потребуются доработка или переработка статьи по результатам рецензирования до принятия решения о ее опубликовании.

Редакция оставляет за собой право дальнейшей редакционной и корректорской правки статьи. Корректур автору в обязательном порядке не высылаются, с ней можно ознакомиться в редакции.

Если статья не принимается к печати, автору высылается отказ по электронной почте.

3. Общие требования к рукописи

Электронный файл рукописи должен быть сформирован с использованием стандартных пакетов редакторских программ (например, MS Word, WordPad).

Формат страниц: А4, рекомендуемые отступы от краев листа: сверху и снизу — 3 см, слева и справа — 2 см, рекомендуемый шрифт Times New Roman, 12 пт, межстрочный интервал — одинарный или полуторный. Страницы должны быть пронумерованы.

Файл со статьей должен содержать:

- 1) титульный лист (на русском и английском языках),
- 2) текст статьи (введение, структурированные разделы статьи, заключение),

3) литературу (последовательный перечень цитируемой литературы или по алфавиту при использовании международного стандарта),

4) сведения об авторах.

4. Титульный лист

Представляется на русском и английском языках и должен включать:

- УДК,
- Шифр специальности ВАК,
- краткое информативно-смысловое название,
- инициалы, фамилию,
- краткое (по возможности) наименование организации (при указании организации не допускается приводить только аббревиатуру), располагается после фамилии автора,
- город,
- аннотацию объемом не более 250, но не менее 150 слов.

Аннотация должна в сжатой форме содержать:

- цель работы
- методы исследования (если необходимо, то указать их преимущества по сравнению с ранее применявшимися), основные положения.
- основные результаты исследования.
- основные выводы.

Все аббревиатуры в аннотации необходимо раскрывать (несмотря на то, что они будут раскрыты в основном тексте статьи).

Ключевые слова: (5–8) помещают под аннотацией.

Ключевые слова должны использовать термины из текста статьи, определяющие предметную область и способствующие индексированию статьи в поисковых системах и не повторять название статьи.

5. Текст статьи

Основной текст статьи должен содержать:

- введение,
- структурированные, пронумерованные разделы статьи,
- заключение,
- литература.

Введение должно содержать четкое обозначение целей и задач работы. Авторы должны показать знакомство с публикациями журнала по тематике статьи с обязательными ссылками на ранее опубликованные в журнале работы. Также в нем могут даваться ссылки на ключевые работы в области исследования, но введение не должно быть литературным или историческим обзором.

Структурированные разделы статьи должны содержать четкое и последовательное изложение материала работы. Заголовки разделов основной части должны иметь нумерацию (1, 2, 3 и т. д.), эта же нумерация должна быть отражена в содержании (разделы введение, заключение, литература, сведения об авторах не нумеруются). Допускается в каждом разделе создавать подзаголовки разделов.

Заключение должно включать основные результаты и выводы, обсуждение спорных моментов, значимость

теоретических положений, их ограничения; место и роль в разрезе предыдущих исследований, возможностей практических приложений.

6. Требования к таблицам, рисункам и формулам

Таблицы и рисунки

Таблицы и рисунки рекомендуется располагать внутри текста после первого указания на них. Размер таблиц и рисунков не должен выходить за рамки формата текста. Все таблицы и рисунки должны быть последовательно пронумерованы и иметь краткое название (название таблиц дается над таблицей, рисунков — под ними).

Название рисунков (вместе с пояснениями) должно быть переведено на английский язык и располагаться под русскоязычным названием.

Таблицы и рисунки должны быть понятными безотносительно к объяснению в тексте. Пояснения к таблицам и рисункам должны быть краткими. Пояснения к таблицам должны располагаться внизу таблицы и иметь указатели с использованием надстрочной буквенной или цифровой индексации (меньшего размера относительно текста). Пояснения к рисункам должны располагаться под названием рисунков с использованием шрифта меньшего размера относительно текста названия рисунков.

Таблицы представляются в стандартном редакторе MS Office, например MS Word или MS Excel.

Рисунки должны быть высокого качества. Графики должны предоставляться преимущественно в формате MS Excel. Схемы и карты предоставляются в векторных форматах eps, cdr. Фотографии и другие иллюстративные материалы, предоставляемые в виде растровых изображений, должны иметь разрешение 300 dpi (при размере на формат издания) и быть в форматах TIFF или JPEG (без сжатия). На растровых рисунках должны хорошо прочитываться текст и все значимые элементы.

Формулы

Отдельно стоящие формулы должны быть набраны с использованием стандартных средств MathType или Equation.

Переменные величины и элементы формул, располагаемые внутри текста, набираются по возможности с использованием текстовых выделений (нижний, верхний регистры, курсив, греческие буквы и т. д.)

Формулы и буквенные обозначения должны быть тщательно выверены автором, который несет за них полную ответственность.

7. Литература

Библиографические ссылки в статье рекомендуются осуществлять как затекстовые ссылки и обозначать номерами в порядке цитирования в квадратных скобках, например [1] или [2—5], при необходимости с указанием страниц. Ссылки на неопубликованные работы недопустимы. Список литературы должен размещаться в конце статьи и составляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка».

Порядок составления списка следующий:

— для книг: фамилия и инициалы автора (авторов), полное название, место и год издания, издательство, общее количество страниц;

— для глав в книгах и статей в сборниках: фамилия и инициалы автора (авторов), полное название статьи, полное название книги, фамилия и инициалы редактора (редакторов), место и год издания, издательство, номера первой и последней страниц;

— для журнальных статей: фамилия и инициалы автора (авторов), полное название статьи, название журнала, том издания, номер, номера первой и последней страниц. Если число авторов больше трех, вначале пишется название статьи, затем все авторы и далее название журнала, том издания, номер, номера первой и последней страниц;

— для диссертаций: фамилия и инициалы автора, докторская или кандидатская, полное название работы, год и место издания.

Ссылки на литературу в статьях (в том числе представленных для публикации зарубежными авторами) могут производиться с использованием международного стандарта, например, 1–2 автора: (Иванов, Сидоров, 2018), три и более авторов: (Maks et al, 1999). Список литературы составляется в этом случае в алфавитном порядке (сначала статьи на русском, затем иностранных языках).

Внимание!

— Если в списке литературы есть источники с индексом DOI, то он должен быть указан.

— Все цитируемые русскоязычные источники в списке литературы должны быть переведены на английский язык. Перевод располагается в квадратных скобках после цитирования на русском языке. Перевод названия должен точно совпадать с первоисточником и в конце в скобках указывается (Russia).

Авторы самостоятельно несут ответственность за точность информации по цитируемой литературе.

8. Сведения об авторах

Сведения об авторах должны включать:

- фамилию, имя и отчество (полностью),
- степень, звание и занимаемую должность, полное и краткое наименование организации,
- число публикаций, в том числе монографий, учебных изданий,
- область научных интересов,
- контактную информацию: почтовый адрес (рабочий), телефон, e-mail, моб. телефон (для связи с редакцией).

9. Заключение лицензионного договора

Если принято решение об опубликовании статьи, в соответствии с требованиями Гражданского кодекса РФ между авторами и журналом заключается лицензионный договор с приложением к нему акта приема-передачи произведения. Эти документы редакция направляет авторам статьи для подписи по эл. почте или по факсу с последующей отправкой оригиналов документов по почте.

Instructions for Authors

I. Recommendations to the author before submission of article

Submission of article in the «Issues of Risk Analysis» magazine means that: article was not published in other magazine earlier; article is not under consideration in other magazine; article does not contain the data which are not subject to the open publication; all coauthors agree with the publication of the current version of article.

Before sending article for consideration be convinced that the file (files) contains all necessary information in the Russian and English languages, sources of information placed in drawings and tables are specified, all quotes are issued correctly.

On the title page of article take place (in the Russian and English languages):

1. Article UDC.

2. Name of the author (authors).

3. Information on the author (authors).

Are listed in this section: surname, name and middle name (completely), degree, rank and post, full and short name of the organization, number of publications, including monographs, educational editions, area of scientific interests, contact information: the postal address (working), phone, e-mail, mob. phone of the responsible author for connection with edition.

4. Affiliation of the author (authors).

The affiliation includes the following data: the full official name of the organization, the full postal address (including the index, the city and the country). Authors need to specify all places of work concerning carrying out a research. If authors from different institutions took part in preparation of article, it is necessary to specify belonging of each author to concrete establishment by means of the nadstrochny index. The official English-language name of establishment is necessary for information block in English.

5. Name of article.

The name of article in Russian has to correspond to contents of article. The English-language name has to be competent in terms of English, at the same time on sense completely correspond to the Russian-language name.

6. Summary.

The recommended volume of the structured summary: 200—250 words. The summary contains the following sections: Purpose, Methods, Results, Conclusion.

7. Keywords.

5—7 words on article subject. It is desirable that keywords supplemented the summary and the name of article.

8. Conflict of interest.

The author is obliged to notify the editor on the real or potential conflict of interests, having included information on the conflict of interests in appropriate section of article. If there is no conflict of interests, the author has to report about it also. Example of a formulation: "The author declares no conflict of interests".

9. Text of article.

In the magazine the IMRAD format is accepted (Introduction, Methods, Results, Discussion).

The main text of article has to contain:

- introduction;
- the structured, numbered sections of article;
- conclusion;
- literature.

10. Drawings.

Drawings have to be high quality, suitable for the press. All drawings have to have caption signatures. The caption signature has to be translated into English. Drawings are numbered by the Arab figures on a sequence in the text. If the drawing in the text one, then it is not numbered. The translation of the caption signature it is necessary to have after the caption signature in Russian.

11. Tables.

Tables have to be high quality, suitable for the press. The tables suitable for editing but which are not scanned or in the form of drawings are preferable. All tables have to have headings. The name of the table has to be translated into English. Tables are numbered by the Arab figures on a sequence in the text. If the table in the text one, then it is not numbered. The heading of the table includes serial number of the table and its name. The translation of heading of the table it is necessary to have after table heading in Russian.

12. Screenshots and photos.

Photos, screenshots and other not drawn illustrations need to be loaded separately in the special section of a form for submission of article in the form of files of the format *.jpeg, *.bmp, *.gif (*.doc and *.docx — in case additional marks are applied on the image). Permission of the image has to be > 300 dpi. Files of images need to appropriate the name corresponding to number of the drawing in the text. It is necessary to provide in the description of the file separately the caption signature which has to correspond to the name of the photo placed in the text.

13. Footnotes.

Footnotes are numbered by the Arab figures, are placed page by page. In footnotes can be placed: the reference to anonymous sources in the Internet, references to textbooks, manuals, state standard specifications, statistical reports, articles in political newspapers and magazines, abstracts, theses (if there is no opportunity to quote articles published by results of a dissertation research), comments of the author.

14. List of references.

In the magazine the Vancouver format of citing which means sending on a source in square brackets and the subsequent mention of sources in the list of references as a mention is used. The page is specified in brackets, through a comma and a gap after number of a source: [6, page 8].

The list of references joins only the reviewed sources (articles from scientific magazines and the monograph) which are mentioned in the text of article. It is

undesirable to include in the list of references abstracts, theses, textbooks, manuals, state standard specifications, information from the websites, statistical reports, articles in political newspapers, on the websites and in blogs. If it is necessary to refer to such information, it is necessary to place information on a source in the footnote. At the description of a source it is necessary to specify it by DOI if it is possible to find it (for foreign sources it is possible to make it in 95% of cases).

References to articles adopted to the publication, but not published yet have to be marked with the words "in the press"; authors have to get the written permission for the reference to such documents and confirmation that they are accepted for printing. Information from unpublished sources has to be noted by the words "unpublished data / documents", authors also have to receive written confirmation on use of such materials. From magazines year of a release of the publication, the volume and the issue of the magazine, page numbers have to be surely specified in the references to articles. All authors have to be presented in the description of each source. References have to be verified, the output data is checked on the official site of magazines and/or publishing houses. The translation of the list of references into English is necessary.

After the description of a Russian-speaking source in the end of the reference the instruction on work language is put: (In Russ.). For a transliteration of names and surnames of authors, names of magazines it is necessary to use the BSI standard.

II. How to submit article for consideration

The manuscript of article is sent to edition through online a form or in electronic form to e-mail of journal@dex.ru. The file, naprvlyayemy on e-mail, loaded into a system with article has to be presented in the Microsoft Word format (to have the expansion *.doc, *.docx, *.rtf).

III. Interaction between the magazine and author

The editorial office of the magazine corresponds with the responsible (contact) author, however if desired group of authors letters can be sent all authors for whom the e-mail address is specified.

All articles coming to the "Issues of Risk Analysis" magazine undergo preliminary testing by the responsible secretary of the magazine for compliance to formal requirements. At this stage article can be returned to the author (authors) on completion with a request to eliminate errors or to add missing data. Also at this stage article can be rejected because of discrepancy to its purposes of the magazine, lack of originality, small scientific value.

After preliminary check the editor-in-chief reports article to the reviewer with the indication of terms of reviewing. To the author the corresponding notice goes.

At the positive conclusion of the reviewer article is transferred to the editor for preparation for printing.

At making decision on completion of article of a remark and the comment of the reviewer are transferred to the author. The author is given 2 months on elimination of remarks. If during this term the author did not notify the editorial office on the planned actions, article is removed from turn of the publication.

At making decision on refusal the relevant decision of edition goes to publications of article to the author.

To the responsible (contact) author of article adopted to the publication the final version of imposition which he is obliged to check is sent. The answer is expected from authors within 2 days. In the absence of reaction from the author imposition of article is considered approved.

IV. Order of review of the decisions of the editor/reviewer

If the author does not agree with the conclusion of the reviewer and/or editor or separate remarks, he can challenge the made decision. For this purpose it is necessary for the author:

- to correct the manuscript of article according to reasonable comments of reviewers and editors;
- it is clear to state the position on a case in point.

Editors promote repeated submission of manuscripts which could be potentially accepted, however were rejected because of need of introduction of significant changes or collecting additional data, and are ready to explain in detail what is required to be corrected in the manuscript in order that it was accepted to the publication.

V. Actions of edition in case of detection of plagiarism, a fabrication or falsification of data

In case of detection of unfair behavior from the author, detection of plagiarism, a fabrication or falsification of data edition is guided by the rules COPE.

"Issues of Risk Analysis" magazine does not refer honest mistakes or honest divergences in the plan, carrying out, interpretation or assessment of research methods or results to "unfair behavior", or the unfair behavior which is not connected with scientific process.

VI. Correction of mistakes and withdrawal of article

In case of detection in the text of article of the mistakes which are influencing her perception, but not distorting the stated results of a research they can be corrected by replacement of the PDF file of article and the instruction on a mistake in the file of article and on the page of article on the magazine website. In case of detection in the text of article of the mistakes distorting results of a research or in case of plagiarism, detection of unfair behavior of the author (authors) connected with falsification and/or a fabrication of data, article can be withdrawn. Edition, the author, the organization, the individual can be the initiator of withdrawal of article.

The withdrawn article is marked with the sign "Article Is Withdrawn", on the page of article information on article reason of recall is placed. Information on withdrawal of article is sent to databases in which the magazine is indexed.

The detailed instruction on the website <https://www.risk-journal.com>