

УДК УДК 631.95:504.5:62-912.23

Краткое сообщение



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-400-11-209-214

В.Н. Ярыгин ✉

В.Г. Приходько

И.В. Ярыгин

Институт теплофизики
им. С.С. Кутателадзе Сибирского
отделения Российской академии
наук, Новосибирск, Россия

✉ yarygin@itp.nsc.ru

Поступила в редакцию: 15.09.2025

Одобрена после рецензирования: 11.10.2025

Принята к публикации: 26.10.2025

© Ярыгин В.Н., Приходько В.Г.,
Ярыгин И.В.

Short communications



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-400-11-209-214

Vyacheslav N. Yarygin ✉

Viktor G. Prikhodko

Igor V. Yarygin

Kutateladze Institute of Thermophysics
of the Siberian Branch of the Russian
Academy of Sciences, Novosibirsk,
Russia

✉ yarygin@itp.nsc.ru

Received by the editorial office: 15.09.2025

Accepted in revised: 11.10.2025

Accepted for publication: 26.10.2025

© Yarygin V.N., Prikhodko V.G., Yarygin I.V.

Адаптация газодинамических защитных технологий для минимизации аэротехногенного загрязнения агроэкосистем

РЕЗЮМЕ

Исследование предлагает методологию снижения аэротехногенного воздействия на агроэкосистемы и рисков деградации почв через адаптацию газодинамических защитных технологий и цифрового двойника. В основе лежит киберфизическая архитектура, интегрирующая данные IoT-датчиков, дистанционного зондирования и БПЛА в геопространственную базу для калибровки моделей машинным обучением.

На гипотетическом полигоне (5000 га) проведено комплексное моделирование: CFD-анализ газодинамических экранов (ветрозащитных полос), гидрологическое моделирование в SWAT и оценка затоплений в HEC-RAS. Результаты агрегированы в интегральный индекс агрориска.

CFD-моделирование выявило нелинейную зависимость эффективности экрана от пористости. Чрезмерная плотность увеличивает турбулентность и сокращает зону защиты, тогда как умеренная пористость (35–45%) обеспечивает оптимальный баланс. Трехрядная конфигурация (~38,7%) демонстрирует максимальную эффективность. SWAT подтвердил, что переход на no-till с покровными культурами снижает сток на 64%, смыв почвы на 88% и потери биогенов на 75–77%. HEC-RAS показал значительный рост масштабов затоплений при экстремальных паводках, необходимость оптимизации землепользования.

Интегральная оценка доказала, что комбинация оптимизированных экранов с почвозащитными практиками снижает совокупный риск на 62,8%, а ожидаемые потери урожая — до 71,2%, демонстрируя синергетический эффект. Цифровой двойник служит инструментом для проектирования и адаптивного управления, перенося принципы газодинамической защиты из космической отрасли в контекст точного земледелия.

Ключевые слова: аэротехногенное загрязнение, газодинамические экраны, агроэкосистемы, космические технологии, точное земледелие

Для цитирования: Ярыгин В.Н., Приходько В.Г., Ярыгин И.В. Адаптация газодинамических защитных технологий для минимизации аэротехногенного загрязнения агроэкосистем. *Аграрная наука*. 2025; 400(11): 209–214.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-209-214>

Adaptation of gas-dynamic protective technologies to minimize aerotechnogenic pollution of agroecosystems

ABSTRACT

The study suggests a methodology for reducing the aerotechnogenic impact on agroecosystems and the risks of soil degradation through the adaptation of gas-dynamic protective technologies and a digital twin. It is based on a cyber-physical architecture that integrates data from IoT sensors, remote sensing and UAVs into a geospatial database for model calibration by machine learning.

A comprehensive simulation was carried out at a hypothetical landfill (5000 ha): CFD analysis of gas dynamic screens (wind protection strips), hydrological modeling in SWAT and flood assessment in HEC-RAS. The results are aggregated into an integrated agro risk index.

CFD modeling revealed a nonlinear dependence of screen efficiency on porosity. Excessive density increases turbulence and reduces the protection zone, while moderate porosity (35–45%) ensures optimal balance. The three-row configuration (~38.7%) demonstrates maximum efficiency. SWAT confirmed that switching to no-till with cover crops reduces runoff by 64%, soil washout by 88% and nutrient loss by 75–77%. HEC-RAS has shown a significant increase in the scale of flooding during extreme floods, and the need to optimize land use.

The integrated assessment proved that the combination of optimized screens with soil protection practices reduces the total risk by 62.8%, and expected crop losses by up to 71.2%, demonstrating a synergistic effect. The digital twin serves as a tool for design and adaptive management, transferring the principles of gas dynamic protection from the space industry to the context of precision agriculture.

Key words: aerotechnogenic pollution, gas-dynamic screens, agroecosystems, space technologies, precision agriculture

For citation: Yarygin V.N., Prikhodko V.G., Yarygin I.V. Adaptation of gas-dynamic protective technologies to minimize aerotechnogenic pollution of agroecosystems. *Agrarian science*. 2025; 400(11): 209–214 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-209-214>

Введение/Introduction

Проблема деградации сельскохозяйственных земель достигла критического масштаба, представляя прямую угрозу глобальной продовольственной безопасности и устойчивости экосистем [1–5]. Согласно последним оценкам, от умеренной до сильной деградации подвержены около 52% всех сельскохозяйственных земель в мире, что подрывает благосостояние более 3,2 млрд человек. Ежегодно площадь поврежденных земель увеличивается примерно на 1 млн кв. км, а общая их площадь уже превышает 15 млн кв. км, что сопоставимо с площадью Антарктиды [6]. Наиболее остро проблема стоит в засушливых регионах, на которые приходится до 43% возделываемых земель [7].

Прогнозы вызывают еще большую тревогу: при сохранении текущих тенденций к 2050 году до 95% почвенного покрова планеты может оказаться деградированным, что сделает его непригодным для ведения сельского хозяйства. Эта тенденция свидетельствует о системном кризисе в управлении земельными ресурсами, требующем немедленного перехода к новым, более эффективным парадигмам защиты [8–13].

Цели исследования — разработать и апробировать на основе комплексного численного моделирования (CFD, SWAT, HEC-RAS) методику адаптации газодинамических защитных технологий (ветрозащитных лесополос) и почвозащитных агроприемов для минимизации аэротехногенного воздействия на агроэкосистемы с использованием платформы цифрового двойника.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Концептуальная основа настоящего исследования базируется на создании комплексного цифрового двойника агроэкосистемы — киберфизической системы, представляющей собой не просто статичную 3D-модель, а динамическую, двунаправленно связанную виртуальную копию реальной сельскохозяйственной территории [12]. В отличие от традиционного моделирования, цифровой двойник обеспечивает непрерывный обмен данными между физическим объектом и его виртуальным представлением, что позволяет модели не только отражать текущее состояние системы, но и влиять на него через управляющие воздействия.

Архитектура предлагаемого цифрового двойника является многоуровневой и включает физический, коммуникационный и кибернетический слои. Физический слой отвечает за сбор данных и состоит из сети гетерогенных источников информации. К ним относятся наземные IoT-датчики (влажности и температуры почвы, метеопараметры), платформы дистанционного зондирования Земли (спутниковые снимки для оценки вегетационных индексов и влагообеспеченности) и

беспилотные летательные аппараты (БПЛА), оснащенные мультиспектральными и лидарными камерами для получения сверхвысокодетальных цифровых моделей рельефа и состояния посевов. Коммуникационный слой обеспечивает передачу данных в режиме, близком к реальному времени, на кибернетический уровень. Здесь происходят слияние (data fusion) и обработка данных с использованием алгоритмов машинного обучения для выявления скрытых закономерностей и калибровки симуляционных моделей, формируя единую геопространственную базу данных.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализ исходных показателей (табл. 1) демонстрирует неоднородность процесса профессиональной адаптации молодых педагогов сельских школ, что подтверждается значительными стандартными отклонениями по всем измеряемым параметрам.

Для апробации разработанной методологии было проведено комплексное моделирование для гипотетической сельскохозяйственной территории площадью 5000 га. Территория характеризуется неоднородным рельефом с перепадом высот до 150 м, наличием нескольких типов почв (от супесчаных до тяжелосуглинистых) и различными видами землепользования, включая пашню, пастбища и многолетние насаждения.

Ландшафт подвержен воздействию преобладающих западных ветров и примыкает к речной системе с риском весенних паводков. Эффективность защитных мероприятий оценивали по набору ключевых показателей, напрямую отражающих уровень агроэкологической безопасности: эффективность снижения скорости ветра, объем смыва почвы и потерь биогенных элементов, а также площадь затопления при экстремальных гидрологических событиях. Эти индикаторы были выбраны как прямые количественные метрики для оценки угроз эоловой и водной эрозии, деградации почвенного плодородия и риска потери урожая от наводнений.

Первым этапом исследования стала оптимизация конструкций ветрозащитных лесополос с использованием CFD-моделирования. Были проанализированы различные сценарии конфигурации лесополос, отличающиеся количеством рядов, высотой и, что наиболее важно, оптической пористостью, которая является ключевым параметром, определяющим аэродинамику обтекания.

Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 1, где для каждого варианта рассчитаны показатели ветрозащитной эффективности. В качестве базового сценария рассматривалась существующая однорядная изреженная лесополоса с высокой пористостью.

Таблица 1. Сравнительный анализ эффективности ветрозащитных лесополос различной структуры по результатам CFD-моделирования

Table 1. Comparative analysis of the effectiveness of windbreak forest belts of different structures based on the results of CFD modeling

ID варианта	Количество рядов	Высота, м	Оптическая пористость, %	Максимальное снижение скорости ветра, %	Протяженность зоны защиты (> 20% снижения скорости), Н	Индекс турбулентности в заветренной зоне
CFD-01 (базовый)	1	12,5	63,8	31,7	11,4	0,18
CFD-02	1	12,5	41,2	68,5	24,7	0,29
CFD-03	1	12,5	22,5	85,3	14,1	0,45
CFD-04	2	15,0	44,6	74,1	28,3	0,25
CFD-05	2	15,0	25,9	89,6	18,5	0,41
CFD-06	3	15,0	38,7	81,2	32,6	0,22

Таблица 2. Оценка влияния агротехнических мероприятий на показатели поверхностного стока и смыва почвы (на основе моделирования SWAT)

Table 2. Assessment of the impact of agrotechnical measures on surface runoff and soil erosion indicators (based on SWAT modeling)

ID сценария	Метод обработки почвы	Тип севооборота	Среднегодовой поверхностный сток, мм	Смыв почвы, т/га/год	Потери азота, кг/га/год	Потери фосфора, кг/га/год
SWAT-01 (базовый)	Отвальная вспашка	Монокультура	88,4	12,73	25,81	1,94
SWAT-02	Минимальная обработка	3-польный	61,2	6,18	15,47	1,15
SWAT-03	Нулевая обработка (No-Till)	3-польный	45,7	3,85	10,92	0,81
SWAT-04	No-Till + покровные культуры	4-польный	31,9	1,52	6,33	0,45

Анализ данных (табл. 1) выявляет сложную нелинейную зависимость между структурой лесополосы и ее защитными функциями. Сравнение вариантов CFD-01, CFD-02 и CFD-03 для однорядной полосы показывает, что уменьшение оптической пористости с 63,8 до 22,5% приводит к почти трехкратному росту максимального снижения скорости ветра (с 31,7 до 85,3%). Однако этот эффект достигается ценой значительного сокращения протяженности защищенной зоны и резкого роста турбулентности.

Слишком плотная лесополоса (CFD-03) действует подобно сплошной стене, заставляя основной поток воздуха перетекать через верх, что вызывает интенсивные вихревые движения непосредственно за ней и быстрое восстановление скорости ветра. Наибольшая протяженность защитной зоны (24,7 Н) достигается при умеренной пористости 41,2% (CFD-02), что подтверждает теоретические представления об оптимальной «продуваемой» конструкции.

Многорядные конструкции (CFD-04, CFD-05, CFD-06) демонстрируют более высокие абсолютные показатели защиты. Так, трехрядная полоса оптимальной пористости (CFD-06 38,7%) обеспечивает наибольшую дальность защиты (32,6 Н) при высоком уровне снижения скорости ветра (81,2%) и умеренной турбулентности.

Математический анализ показывает, что оптимальный диапазон пористости для данной территории находится в пределах 35,0–45,0%. Выход за эти пределы приводит либо к недостаточной эффективности (при пористости > 50,0%), либо к созданию зон повышенной турбулентности и сокращению защищаемой площади (при пористости < 30,0%). Таким образом, цифровой двойник позволяет количественно обосновать выбор

проектного решения, обеспечивающего наилучший баланс между степенью и дальностью ветрозащитного действия.

На втором этапе с помощью модели SWAT была проведена оценка влияния различных агротехнических мероприятий на процессы водной эрозии и потерь биогенных элементов. В качестве базового сценария была принята традиционная для региона система земледелия, основанная на ежегодной глубокой отвальной вспашке и монокультурном выращивании пропашных культур. Ей противопоставлялись современные почвозащитные технологии.

Результаты моделирования сведены в таблицу 2.

Данные таблицы 2 наглядно демонстрируют высокую эффективность почвозащитных технологий. Переход от традиционной отвальной вспашки (SWAT-01) к минимальной обработке (SWAT-02) уже позволяет сократить смыв почвы более чем в 2 раза (с 12,73 до 6,18 т/га/год), а потери азота — на 40,1%. Это объясняется сохранением на поверхности поля части пожнивных остатков, которые защищают почву от ударного действия дождевых капель и замедляют поверхностный сток.

Внедрение нулевой обработки (No-Till) в сценарии SWAT-03 дает еще более выраженный эффект, снижая смыв почвы на 69,7% по сравнению с базовым вариантом. Максимальная же эффективность достигается при сочетании технологии No-Till с использованием покровных культур в зимний период (SWAT-04). В этом случае поверхностный сток сокращается на 63,9%, смыв почвы — на 88,1%, а потери азота и фосфора — на 75,5% и 76,8% соответственно. Такой результат обусловлен синергетическим эффектом: постоянный растительный покров и мульча из растительных

Таблица 3. Моделирование зон затопления сельскохозяйственных угодий при различных сценариях паводков (на основе модели HEC-RAS)

Table 3. Modeling of agricultural land flood zones under different flood scenarios (based on the HEC-RAS model)

Период повторяемости паводка, лет	Пиковый расход воды, м ³ /с	Площадь затопления, га	Доля затопленных с.-х. угодий, %	Средняя глубина затопления на с.-х. угодьях, м	Максимальная глубина, м
10	855,7	488,6	9,77	0,83	2,15
50	1210,3	895,2	17,90	1,46	3,88
100	1452,1	1176,9	23,54	1,92	5,04

Таблица 4. Интегральная оценка агроэкологического риска и эффективности защитных мероприятий в среде цифрового двойника

Table 4. Integrated assessment of agroecological risk and the effectiveness of protective measures in the digital twin environment

ID участка	Исходный интегральный индекс риска	Сценарий 1-й: оптимизация лесополос (индекс риска)	Сценарий 2-й: внедрение почвозащитных технологий (индекс риска)	Сценарий 3-й: комплексный подход (сценарий 1-й + 2-й) (индекс риска)	Прогнозируемое снижение потерь урожайности, %
Участок 1-й (плакор)	0,78	0,45	0,51	0,23	58,7
Участок 2-й (склон)	0,89	0,72	0,33	0,19	71,2
Участок 3-й (пойма)	0,65	0,61	0,58	0,55	16,4

остатков практически полностью предотвращают эрозию, а развитая корневая система улучшает структуру почвы и ее водопроницаемость.

Третий этап моделирования был посвящен оценке рисков затопления с использованием модели HEC-RAS. Были рассчитаны зоны затопления для паводков с различным периодом повторяемости, что позволило оценить уязвимость сельскохозяйственных угодий к гидрологическим угрозам.

Результаты гидравлического моделирования показывают нелинейный рост площади и глубины затопления с увеличением периода повторяемости паводка. При паводке, случающемся в среднем раз в 10 лет, в зону затопления попадает почти 10% сельскохозяйственных земель, при этом средняя глубина воды на них составляет 0,83 м, что уже является критичным для большинства культур. При 100-летнем паводке затопляется уже почти четверть (23,54%) всех угодий, а средняя глубина превышает 1,9 м, что гарантирует полную потерю урожая и может привести к длительному вымоканию и деградации почв. Пространственный анализ карт затопления, сгенерированных в цифровом двойнике, позволяет выявить наиболее уязвимые участки, расположенные в низкой пойме реки.

Эта информация является критически важной для разработки стратегий адаптивного землепользования, например вывода наиболее ценных и чувствительных к затоплению культур из зон высокого риска и размещения там сенокосов или пастбищ, более устойчивых к временному переувлажнению.

Финальным этапом исследования стала интегральная оценка агроэкологического риска и эффективности комплексных защитных мероприятий. Для каждого участка территории был

рассчитан исходный интегральный индекс риска, учитывающий взвешенные показатели вероятности эоловой эрозии, водной эрозии и затопления. Затем были смоделированы эффекты от применения различных защитных стратегий.

Анализ интегральных показателей, представленных в таблице 4, наилучшим образом демонстрирует преимущества системного подхода, реализуемого в рамках цифрового двойника.

Для участка на плакоре (участок 1-й), где доминирует ветровая эрозия, оптимизация лесополос (сценарий 1-й) снижает индекс риска на 42,3%, тогда как почвозащитные технологии (сценарий 2-й) — лишь на 34,6%. Для участка на склоне (участок 2-й), где основной угрозой является водная эрозия, ситуация обратная: сценарий 2-й снижает риск на 62,9%, а сценарий 1-й — всего на 19,1%. Наиболее показательным, что комплексный подход (сценарий 3-й) для этих участков дает синергетический эффект: снижение риска составляет 70,5% и 78,7% соответственно, что превышает простую сумму эффектов от отдельных мероприятий. Это подчеркивает взаимосвязанность деградационных процессов и необходимость одновременного воздействия на разные факторы.

Для пойменного участка (участок 3-й), где главным риском является затопление, агротехнические и ветрозащитные меры оказывают слабое влияние на интегральный индекс, что указывает на необходимость применения иных, инженерно-гидротехнических решений, моделирование которых может быть интегрировано в цифровой двойник.

Прогнозируемое снижение потерь урожайности напрямую коррелирует со снижением индекса риска, достигая 71,2% на наиболее отзывчивых к комплексной защите участках.

Выводы/Conclusions

Проведенное исследование продемонстрировало высокий потенциал концепции цифрового двойника как инструмента для комплексного моделирования и оптимизации систем защиты сельскохозяйственных территорий. Количественный анализ показал, что целенаправленное проектирование защитных устройств и агротехнических систем на основе данных мультифизического моделирования способно кардинально снизить уровень агроэкологических рисков. В частности, было установлено, что оптимизация структуры ветрозащитных лесополос до достижения оптической пористости в диапазоне 38,0–45,0% позволяет увеличить

протяженность зоны эффективной защиты более чем в 2,5 раза по сравнению с изреженными насаждениями.

Внедрение комплекса современных почвозащитных агротехнологий, включающего нулевую обработку и использование покровных культур, способно сократить смыв почвы и потери биогенных элементов на 75,0–88,0% по сравнению с традиционной отвальной вспашкой. Интегральная оценка показала, что применение комплексных, адаптированных к конкретным условиям ландшафта защитных стратегий позволяет снизить общий индекс агроэкологического риска в среднем на 62,8% и сократить прогнозируемые потери урожайности до 71,2%.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием ИТ СО РАН № 121031800218-5.

FUNDING

The research was conducted in accordance with a state assignment to the Kutateladze Institute of Thermophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences No. 121031800218-5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михайленко И.М., Якушев В.П. Дистанционное зондирование Земли в сельском хозяйстве. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2016; (6): 12–16. <https://www.elibrary.ru/wzhnon>
2. Куст Г.С., Андреева О.В., Лобковский В.А. Достижение нейтрального баланса деградации земель — путь преодоления тихого кризиса планеты. *Земля и Вселенная*. 2024; 5(359): 5–17. <https://doi.org/10.7868/S0044394824050013>
3. Гаврилова Н.Г., Мухаметзянов Р.Р. Деградация земель в макрорегионах мира и ее основные причины в Африке. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2024; (11): 102–109. <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2024-0-11-102-109>
4. Жумагалиева Н., Айтхожаева Г., Пентаев Т., Жилдикбаева А. Анализ проблем неиспользования земель сельскохозяйственного назначения с учетом их деградации. *Izdenister Natigeler*. 2024; 1(101): 220–228. <https://doi.org/10.37884/1-2024/22>
5. Гаврилова Н.Г. Состояние и перспективы продовольственной безопасности в странах Западной Африки в условиях деградации сельскохозяйственных земель. *International Agricultural Journal*. 2024; 3(67). https://doi.org/10.55186/25876740_2024_8_3_18
6. Барталев С.А., Лупян Е.А., Нейштадт И.А., Савин И.Ю. Дистанционная оценка параметров сельскохозяйственных земель по спутниковым данным спектро радиометра MODIS. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2005; 2(2): 228–236. <https://www.elibrary.ru/ndpntl>
7. Блохин Ю.И., Белов А.В., Блохина С.Ю. Комплексная система контроля влажности почвы и локальных метеословесий для интерпретации данных дистанционного зондирования. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019; 16(3): 87–95. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-87-95>
8. Якушев В.П. и др. Новые возможности автоматизации процесса обнаружения внутриполевой неоднородности по гиперспектральным снимкам и оптическим критериям. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019; 16(3): 24–32. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-24-32>
9. Артамонова Е.О., Шведов В.В. Управление земельными ресурсами: вызовы и стратегии решения. *Экономические исследования и разработки*. 2024; (3): 24–29. <https://www.elibrary.ru/wrtwdi>

REFERENCES

1. Mikhaylenko I.M., Yakushev V.P. The Earth's remote sensing in agriculture. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2016; (6): 12–16 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wzhnon>
2. Kust G.S., Andreeva O.V., Lobkovsky V.A. Achieving a neutral balance of land degradation: a way to overcome the planet's silent crisis. *Earth and Universe (Zemlya i Vselennaya)*. 2024; 5(359): 5–17 (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S0044394824050013>
3. Gavrilova N.G., Mukhametzyanov R.R. Land degradation in the world's macroregions and its main causes in Africa. *Economics of agricultural and processing enterprises*. 2024; (11): 102–109 (in Russian). <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2024-0-11-102-109>
4. Zhumagalieva N., Aitkhozaeva G., Pentaev T., Zhiidikbaeva A. Analysis of the problems of unused agricultural land, taking into account its degradation. *Research, results*. 2024; 1(101): 220–228 (in Russian). <https://doi.org/10.37884/1-2024/22>
5. Gavrilova N.G. Status and prospects of food security in West African countries in the context of agricultural land degradation. *International Agricultural Journal*. 2024; 3(67) (in Russian). https://doi.org/10.55186/25876740_2024_8_3_18
6. Bartalev S.A., Lupyan E.A., Neyshadt I.A., Savin I.Yu. Remote assessment of agricultural land parameters using satellite data of the spectroradiometer MODIS. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2005; 2(2): 228–236 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ndpntl>
7. Blokhin Yu.I., Belov A.V., Blokhina S.Yu. Integrated system for control of soil moisture and local weather conditions for remote sensing data interpretation. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2019; 16(3): 87–95 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-87-95>
8. Yakushev V.P. et al. Advanced features of automated detection of within-field variability based on hyperspectral images and optical criteria. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2019; 16(3): 24–32 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-24-32>
9. Artamonova E.O., Shvedov V.V. Land resources management: challenges and solution strategies. *Economic research and development*. 2024; (3): 24–29 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wrtwdi>

10. Papaskiri T.V., Lipski S.A., Fatkulina A.V. Problems of information support for the implementation of the state program for the involvement of unused agricultural land in economic turnover and ways to solve them. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. 2024; 1405(1): 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1405/1/012013>

11. Езиев М.И., Шекихачева Л.З., Шибзухова З.С. Экологическая безопасность аграрного землепользования в контексте системного управления. *АгроЭкоИнфо*. 2025; 2(68). <https://doi.org/10.51419/202152208>

12. Еремин С.Г. Проблемы и приоритеты совершенствования управления земельными ресурсами в России. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. 2025; (5): 183–188. <https://www.elibrary.ru/voravo>

13. Герасимов Ю.И., Ярыгин В.Н. Газодинамические защитные устройства для двигателей ориентации космических аппаратов и орбитальных станций. *Концепция, модельные и натурные эксперименты. Физико-химическая кинетика в газовой динамике*. 2016; 17(4): 473–493. <https://www.elibrary.ru/ynfulv>

10. Papaskiri T.V., Lipski S.A., Fatkulina A.V. Problems of information support for the implementation of the state program for the involvement of unused agricultural land in economic turnover and ways to solve them. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. 2024; 1405(1): 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1405/1/012013>

11. Eziev M.I., Shekihacheva L.Z., Shibzukhova Z.S. Environmental Safety of Agricultural Land Use in the Context of System Management. *AgroEcolInfo*. 2025; 2(68) (in Russian). <https://doi.org/10.51419/202152208>

12. Eremin S.G. Problems and Priorities for Improving Land Resources Management in Russia. *Forging and Stamping Production. Material Pressure Processing (Kuznechno-shtampovoye proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniyem)*. 2025; (5): 183–188 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/voravo>

13. Gerasimov Yu.I., Yarygin V.N. Gas-Dynamical Protective Devices for Orientation Thrusters of Space Vehicles and Orbital Stations. Conceptual Design, Model and On-Orbit Experiments. *Physical-Chemical Kinetics in Gas Dynamics*. 2016; 17(4): 473–493 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ynfulv>

ОБ АВТОРАХ

Вячеслав Николаевич Ярыгин

доктор технических наук,
главный научный сотрудник
yarygin@itp.nsc.ru

Виктор Григорьевич Приходько

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
prikhodko@itp.nsc.ru

Игорь Вячеславович Ярыгин

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
igor.yarygin@mail.ru

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского
отделения Российской академии наук,
пр-т Академика Лаврентьева, 1, Новосибирск, 630090,
Россия

ABOUT THE AUTHORS

Vyacheslav Nikolaevich Yarygin

Doctor of Technical Sciences,
Chief Researcher
yarygin@itp.nsc.ru

Viktor Grigoryevich Prikhodko

Candidate of Physico-Mathematical Sciences,
Senior Researcher
prikhodko@itp.nsc.ru

Igor Vyacheslavovich Yarygin

Candidate of Physico-Mathematical Sciences,
Senior Researcher
igor.yarygin@mail.ru

Kutateladze Institute of Thermophysics of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences,
1 Academician Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090,
Russia