

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.67:332.3

doi: 10.31774/2712-9357-2025-15-4-126-143

Оценка дисбаланса геоиригационной обстановки землепользования на мелиоративных системах Западной Сибири

Инна Владимировна Орлова

Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, Барнаул, Российская Федерация, inna_orlova11@mail.ru,
<http://orcid.org/0000-0002-7644-8763>

Аннотация. Цель: разработать методику оценки и осуществить расчет индекса дисбаланса геоиригационной обстановки (GISI) для диагностики, сопряженного анализа и мониторинга землепользования на мелиоративных системах. **Материалы и методы.** Исследование проводилось на основе системного подхода с применением методов геометрических интервалов, корреляционного и факторного анализа, ранжирования. База данных для расчетов сформирована на основе данных учреждений РФ, портала Всероссийского научно-исследовательского института систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», предприятий муниципальных районов Западной Сибири. **Результаты.** Осуществлена оценка индекса GISI и проведено ранжирование 64 муниципальных районов юго-востока Западной Сибири по адаптационному потенциалу землепользования на мелиоративных системах, степени дисбаланса и уязвимости ключевых элементов геоиригационной обстановки. В группу с благоприятными низкими значениями дисбаланса GISI (менее 2,36) вошли семь районов Алтайского края и по одному району Республики Алтай и Новосибирской области. В группу с неблагоприятными высокими значениями дисбаланса GISI (более 4,69) входят пять районов Кемеровской и три района Новосибирской областей. Выявлено, что наибольшая степень дисбаланса компонентов геоиригационной обстановки наблюдается для районов Барабинской равнины Новосибирской области и районов Кемеровской области. При этом сочетание неблагоприятных факторов, способствующих усилению степени дисбаланса и возникновению конфликтных ситуаций, различается. Для районов Барабинской равнины дисбаланс определяет сильная степень засоления земель, для районов Кемеровской области – отсутствие государственной поддержки восстановления оросительных систем при высокой степени их износа. **Выводы.** Внедрение индекса GISI в стратегические документы для реализации политики устойчивой интенсификации орошения земель является эффективным инструментом поддержки в целях оперативного принятия управляющего компенсационного воздействия.

Ключевые слова: мелиорация, геоиригационная обстановка, дисбаланс, уязвимость, адаптация, метод геометрических интервалов, юго-восток Западной Сибири

Источник финансирования: субсидии на выполнение Государственного задания № FUFZ-2021-0007 за счет средств федерального бюджета.

Сведения о научно-исследовательской работе, по результатам которой публикуется статья: исследование выполнено в рамках Государственного задания № FUFZ-2021-0007 «Природные и природно-хозяйственные системы Сибири в условиях современных вызовов: диагностика состояний, адаптивные возможности, потенциал экосистемных услуг».

Для цитирования: Орлова И. В. Оценка дисбаланса геоиригационной обстановки землепользования на мелиоративных системах Западной Сибири // Мелиорация

и гидротехника. 2025. Т. 15, № 4. С. 126–143. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-4-126-143>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Assessing the geoirrigation situation imbalance of land use in the reclamation systems of Western Siberia

Inna V. Orlova

Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russian Federation, inna_orlova11@mail.ru,
<http://orcid.org/0000-0002-7644-8763>

Abstract. Purpose: to develop a methodology for assessing and calculating the geoirrigation situation imbalance index (GISI) for diagnostics, coupled analysis, and monitoring of land use in reclamation systems. **Materials and methods.** The study was conducted in the basis of a system approach using the methods of geometric intervals, correlation and factor analysis, and ranking. The database for calculations was formed on the data of Russian institutions, the portal of the All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply “Raduga”, and enterprises of municipal districts of Western Siberia. **Results.** The GISI index was assessed and 64 municipal districts in the southeast of Western Siberia were ranked according to the adaptive potential of land use in reclamation systems, the degree of imbalance, and the vulnerability of key elements of the geoirrigation situation. The group with favorable low GISI imbalance values (less than 2.36) included seven districts in the Altai Territory and one district each in the Altai Republic and Novosibirsk Region. The group with unfavorable high GISI imbalance values (more than 4.69) included five districts in Kemerovo Region and three districts in Novosibirsk Region. It was found that the highest degree of imbalance of the geoirrigation situation components is observed for the Baraba Plain districts of Novosibirsk Region and the Kemerovo Region districts. At the same time, the combination of unfavorable factors contributing to an increase in the degree of imbalance and the emergence of conflict situations differs. For the Baraba Plain districts, the imbalance is determined by a high degree of soil salinization, while for the districts of Kemerovo Region, it is determined by the lack of state support for the restoration of irrigation systems due to their high degree of deterioration. **Conclusions.** The integration of the GISI index into strategic documents for the implementation of sustainable irrigation intensification policies is an effective support tool for the prompt adoption of compensatory management measures.

Keywords: land reclamation, geoirrigation situation, imbalance, vulnerability, adaptation, geometric interval method, southeastern Western Siberia

Funding source: federal budget subsidies for the implementation of State Assignment No. FUFZ-2021-0007.

Information about the research work, on results of which the article is published: the research was conducted within the framework of State Assignment No. FUFZ-2021-0007 “The Natural and Natural-Economic Systems of Siberia under Modern Challenges: Diagnostics of Conditions, Adaptive Capabilities and the Potential of Ecosystem Services”.

For citation: Orlova I. V. Assessing the geoirrigation situation imbalance of land use in the reclamation systems of Western Siberia. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2025;15(4):126–143. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-4-126-143>.

Введение. Устойчивое развитие орошения земель является важной стратегией для увеличения производства продовольствия и удовлетворения будущего спроса на продукты питания без дальнейшего расширения пахотных земель и связанного с этим вторжения в природные экосистемы, а также эффективным решением по адаптации к климату для смягчения теплового и водного стресса у сельскохозяйственных культур, снижения влияния изменчивости погоды и экстремальных явлений [1, 2].

Существующее в научных кругах понимание устойчивости и уязвимости в сложных мелиоративных системах имеет тенденцию учитывать взгляды, ориентированные на глобальные вызовы для общества, и зависит от создания и поддержания адаптивного потенциала, необходимого для преодоления возникающих конфликтных ситуаций и долгосрочных структурных преобразований [3, 4].

При этом адаптация рассматривается как преднамеренный процесс изменений, который происходит в ответ на многочисленные давления извне, а адаптированные стратегии варьируются в зависимости от влияния многих факторов и обстоятельств, включая укрепление и улучшение различных методов управления с использованием инструментов поддержки принятия решений [5].

В связи с этим в научных исследованиях все большее внимание уделяется вопросам интеграции адаптации в процессы устойчивого развития на основе трех основных подходов к изучению: 1 – уязвимости, направленные на решение основных проблем; 2 – устойчивости, направленные на повышение устойчивости систем; 3 – конкретные риски изменений [6].

Установлено, что адаптации в мелиоративных системах землепользования варьируются в зависимости от влияния таких вызовов, как глобальное изменение климата, включая засухи и другие экстремальные явления, различных типов и местоположений фермерских хозяйств, включая обеспеченность водными и земельными ресурсами, деградации окружающей среды и

мелиоративного состояния почв, других природно-экологических, техногенных, экономических, политических и институциональных обстоятельств (также называемых прямыми и косвенными движущими силами изменений в землепользовании), при которых принимаются управленческие решения для упреждающей адаптации системы [7, 8].

Знания о площади, фактическом использовании, количестве гидротехнических сооружений, степени их износа и других характеристиках мелиоративных систем являются основой для эффективного управления ими и планирования мероприятий, повышающих устойчивость использования орошаемых земель, водных ресурсов и ирригационной инфраструктуры и, напротив, пробелы в наличии информации в целом по мелиоративной системе ухудшают ее управляемость и эффективность функционирования [9].

Поэтому учет природно-экологических, технико-социально-экономических и институциональных барьеров, препятствующих устойчивому развитию, имеет решающее значение для разработки жизнеспособной политики и стратегий адаптации мелиоративных систем к различным изменениям в целях избегания недооценки потенциальных рисков и уязвимостей [1].

Это, в свою очередь, диктует необходимость разработки инструментов поддержки управленческих решений, среди которых высокую эффективность продемонстрировали различные интегральные показатели для оценки устойчивого развития орошаемых территорий [10]. Однако до сих пор существуют пробелы в разработке интегральных показателей, позволяющих диагностировать адаптационный потенциал землепользования на мелиоративных системах на региональном уровне и отображать степень дисбаланса и уязвимости элементов геоирригационной обстановки в результате отрицательного влияния ключевых факторов на устойчивую интенсификацию орошаемых земель.

При этом под геоирригационной обстановкой понимается пространственно-временная совокупность отношений между процессами, явления-

ми и факторами геопространства [10], в котором пребывает землепользование орошаемых земель, а оптимальной территориальной единицей для разработки стратегий и концепций использования земель сельскохозяйственного назначения (в том числе, орошаемых), признается территория муниципального образования [11].

Цель данного исследования – разработка методики оценки и осуществление расчета интегрального показателя для диагностики и мониторинга степени дисбаланса геоирригационной обстановки на территориях с различным уровнем использования орошаемых земель в целях оперативного принятия управляющего компенсационного воздействия и предотвращения возникновения конфликтных ситуаций.

Материалы и методы. Исследование проводилось на основе системного подхода с применением методов геометрических интервалов, корреляционного и факторного анализа, структурно-функционального, сравнительно-географического, картографирования, ранжирования, способов построения оценочных шкал, анкетирования в виде интервью и др.

В область исследования включены 64 муниципальных района, входящих в состав четырех регионов, расположенных на юго-востоке Западной Сибири: Алтайского края, Республики Алтай, Кемеровской и Новосибирской областей, в которых имеются орошаемые земли на учете в земельном кадастре Российской Федерации (РФ).

База данных для расчетов сформирована на основе базы данных ИВЭП СО РАН, официальных данных Департамента мелиорации Министерства сельского хозяйства РФ, материалов региональных управлений мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения РФ, Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии РФ, Федеральной службы государственной статистики РФ, региональных министерств природных ресурсов и экологии, сельского хозяйства и продовольствия, комитетов по земельным ресурсам региональных админи-

страций, информационных порталов ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», федеральной розничной энергосбытовой компании «Энергомарт», Автодиспетчер.ру, администраций регионов, муниципальных районов и сельскохозяйственных предприятий Западной Сибири, а также опубликованных литературных, фондовых и картографических данных.

Результаты и обсуждение. В результате исследования разработана методика оценки и осуществлен расчет интегрального индекса дисбаланса геоирригационной обстановки (GISI) для 64 юго-восточных районов Западной Сибири по следующему алгоритму.

На первом этапе в результате анализа предыдущих исследований и анкетирования руководителей сельхозпредприятий Западной Сибири для расчета индекса GISI было выбрано 13 параметров, в наибольшей степени отображающих степень уязвимости, дисбаланса и неблагоприятного влияния факторов на устойчивую интенсификацию орошаемых земель в условиях Западной Сибири.

За основу предельно неблагоприятных пороговых значений факторов, негативно влияющих на потенциал адаптации и устойчивую интенсификацию орошаемых земель, взяты научно обоснованные различными учеными параметры¹, например: значения показателя ГТК более 1,3, ограничивающие области целесообразного распространения орошаемых зон [12], радиус расстояния до крупнейших региональных центров более 50 км, определяющего зоны их влияния на развитие полива земель; доля несубсидируемых государством затрат сельхозпредприятий на мелиорацию земель более 50 %, повышающих экономически нецелесообразную степень собственных издержек сельхозпроизводителей [13], степень распространенности засо-

¹Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель / М-во сел. хоз-ва РФ, Департамент мелиорации, Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. Новочеркасск, 2015. 141 с.

ленных почв более 50 % земельной площади, ограничивающая возможность выращивания сельскохозяйственных культур на поливе² и др. [14] (таблица 1).

Таблица 1 – Предельные пороговые значения показателей дисбаланса геоирригационной обстановки

Table 1 – Threshold limit value of imbalance indicators of the geoirrigation situation

Природно-мелиоративный показатель	Предельное значение	Социально-техно-экономический показатель	Предельное значение
1	2	3	4
Среднегодовое значение гидро-термический коэффициент увлажнения по Г. Т. Селянинову, отражающий степень влагообеспеченности сельхозкультур (F1)	$\geq 1,3$	Доля не используемых для полива орошаемых земель (%), отображающая экономическую нецелесообразность и незаинтересованность сельхозпроизводителей в поливе земель, низкую эффективность мер государственной поддержки орошения земель (F2)	$\geq 80,0$
Площадь орошаемых земель в неудовлетворительном мелиоративном состоянии (по уровню грунтовых вод и засолению (% от площади) (F3)	$\geq 50,0$	Фактический физический износ оросительных систем (%) (F4)	$\geq 90,0$
Отношение валового сбора многолетних трав на сено к поголовью КРС (ц/гол.), отражающее степень обеспечения скота основной составляющей его кормового рациона (F5)	$> 20,0$	Расстояние по трассе до регионального центра от ближайшего населенного пункта к сельхозпредприятию с наличием орошаемых земель либо от районного центра (км), влияющее на степень транспортных издержек, интенсификацию, близость либо удаленность от крупных рынков сбыта с.-х. продукции (F6)	$> 50,0$
Площадь засоленных почв (% от площади), ограничивающих возможность выращивания сельхозкультур на поливе (F9)	$\geq 50,0$	Одноставочный тариф на услугу по передаче электроэнергии (руб./кВт·ч) (F7)	$> 2,0$

²Паспорт климатической безопасности Алтайского края. Барнаул: Алтайский ГТУ им. И. И. Ползунова, 2022. 405 с.

Продолжение таблицы 1

Table continued 1

1	2	3	4
		Доля не субсидируемых государством затрат сельхозпредприятий на мелиорацию земель сельхозназначения (%), влияющая на степень собственных издержек сельхозпроизводителей (F8)	> 50,0
Примечание – таблица составлена автором по данным [12–14].			

С этих позиций анализ выбранных показателей осуществлялся по принципу: чем больше значение показателя, тем выше степень его приближенности к научно установленным неблагоприятным пороговым значениям и тем более негативно его влияние на адаптивный потенциал мелиоративных систем и устойчивую интенсификацию землепользования на орошаемых землях.

На втором этапе осуществлены корреляционный и факторный анализ выбранных 13 показателей с помощью метода главных компонент, который показал, что для ряда выбранных показателей наблюдается довольно низкая корреляция. В результате из расчетов были исключены такие показатели, как: стоимость дизельного топлива, отношение площади сенокосов на голову крупного рогатого скота (КРС), сбытовая надбавка гарантирующего поставщика электроэнергии, показатель экологической нестабильности структуры земельных угодий. В итоге структура индекса GISI сформирована только из девяти, а не из 13 ключевых показателей (таблица 1).

На третьем этапе для нормирования выбранных девяти ключевых показателей применен метод линейного нормирования по формуле (1):

$$N = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (1)$$

где N – нормированное значение показателя;

x_i – значение параметра для конкретного временного отрезка;

$x_{\min}$ – минимальное значение параметра внутри всего набора данных;

$x_{\max}$ – максимальное значение параметра внутри всего набора данных.

Распределение значений нормированных показателей от 0 до 1 отражает степень отклонения параметра от самого неблагоприятного значения (равного 1): чем меньше значение показателя, тем более благоприятно его влияние на сбалансированность геоиригационной обстановки (таблица 2).

**Таблица 2 – Значения нормированных показателей GISI
для репрезентативных районов**

В условных единицах

**Table 2 – Values of standardized GISI indicators for representative areas
In equivalent units**

Показатель	Муниципальный район				
	Кош-Агачский	Павловский	Рубцовский	Татарский	Маринский
Среднегодовое гидротермическое увлажнение по Г. Т. Селянинову	0	0,47	0,27	0,36	0,61
Доля неиспользуемых для полива орошаемых земель	0,30	0,89	0,70	1,00	1,00
Площадь орошаемых земель в неудовлетворительном мелиоративном состоянии	0,04	0,01	1,00	0,39	0
Фактический физический износ оросительных систем	0,37	0	0,83	1,00	1,00
Отношение валового сбора многолетних трав на сено к поголовью КРС	0	0,18	0,23	0,16	0,81
Расстояние по трассе до регионального центра	0,60	0,09	0,37	0,61	0,19
Одноставочный тариф на услугу по передаче электроэнергии	0	0	0	0,53	1,00
Доля не субсидируемых государством затрат сельхозпредприятий на мелиорацию земель	0	0,07	0,07	0,33	1,00
Площадь засоленных почв	0,14	0,02	0,24	0,76	0
Итоговое значение GISI	1,44	1,73	3,71	5,14	5,60

На четвертом этапе на основе девяти выбранных нормированных показателей в программе ArcGIS 10.2. осуществлена схема классификации методом геометрических интервалов, основанная на интервалах, имеющих геометрическую последовательность, путем минимизации суммы квадратов числа элементов в каждом классе. Данный метод сочетает в себе до-

стоинства методов равного интервала, естественных границ и квантиля и позволяет корректно разделить средние значения и выбивающиеся из ряда крайние значения.

На заключительном этапе с помощью классификации интервалов геометрической последовательности выделено пять групп районов, различающихся по степени дисбаланса геоиригационной обстановки и уровню отрицательного влияния ключевых факторов (природно-мелиоративных, социально-техничко-экономических) на устойчивую интенсификацию использования орошаемых земель и риски возникновения конфликтных ситуаций (рисунок 1, таблица 3).

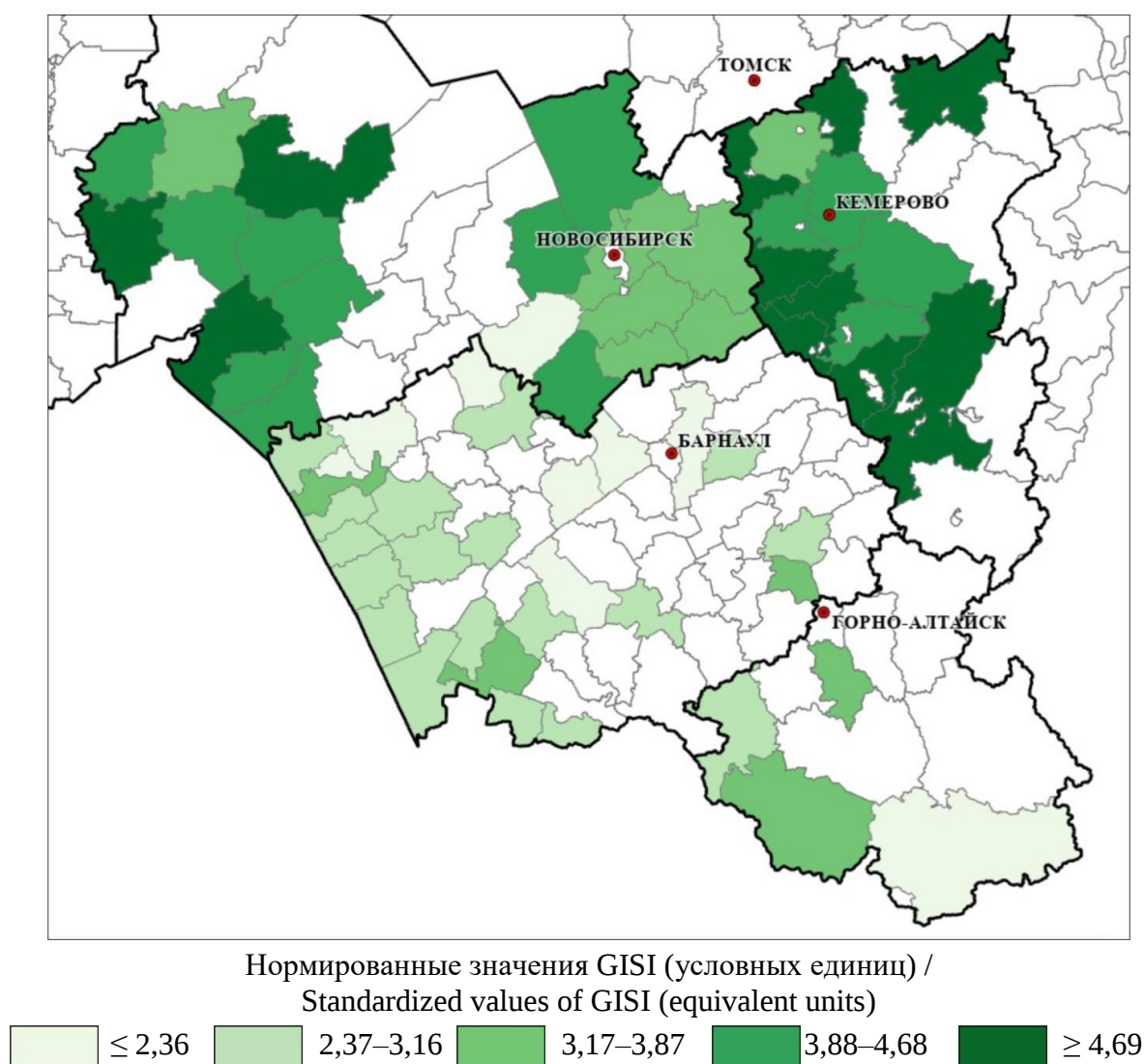


Рисунок 1 – Индекс GISI юго-восточных районов Западной Сибири
Figure 1 – GISI index of the south-eastern regions of Western Siberia

В результате выявлено, что наибольшая степень дисбаланса и уязвимости ключевых компонентов геоиригационной обстановки (более 4,69 усл. ед.) наблюдается для пяти муниципальных районов Кемеровской области и трех районов Новосибирской области, расположенных в основном в пределах Барабинской равнины. Аналогичная картина складывается для группы с показателями GISI выше средних значений (3,88–4,68). В этой группе также сосредоточено большинство муниципальных районов Новосибирской и Кемеровской областей (рисунок 1, таблица 3).

Таблица 3 – Группировка юго-восточных районов Западной Сибири по индексу GISI

Table 3 – Grouping of south-eastern regions of Western Siberia according to the GISI index

Нормированное значение индекса GISI				
≤ 2,36	2,37–3,16	3,17–3,87	3,88–4,68	≥ 4,69
Низкий	Ниже среднего	Средний	Выше среднего	Высокий
Кош-Агачский	Каменский	Советский	Коченевский	Куйбышевский
Павловский	Ключевский	Венгеровский	Колыванский	Ленинск-Кузнецкий
Крутихинский	Родинский	Мошковский	Сузунский	Гурьевский
Первомайский	Усть-Канский	Чемальский	Карасукский	Промышленновский
Ребрихинский	Локтевский	Усть-Коксинский	Барабинский	Купинский
Хабарский	Косихинский	Искитимский	Баганский	Новокузнецкий
Немецкий национальный	Бурлинский	ГО Славгород	Здвинский	Юргинский
Ордынский	Егорьевский	Маслянинский	Беловский	Татарский
Шипуновский	Третьяковский	Яшкинский	Кемеровский	
	Усть-Калманский	Новосибирский	Усть-Таркский	
	Табунский	Черепановский	Топкинский	
	Михайловский	Рубцовский	Чановский	
	Романовский	Тогучинский	Крапивинский	
	Поспелихинский			
	Кулундинский			
	Бийский			
	Благовещенский			
	Угловский			

При этом сочетание неблагоприятных факторов, способствующих усилению степени дисбаланса и возникновению конфликтных ситуаций, различается. Для районов Барабинской равнины дисбаланс определяет, в первую очередь, сильная степень засоления земель. Для районов Кемеровской области – отсутствие программ государственной поддержки восстановления оросительных систем, обуславливающее высокие затраты на полив орошаемых земель для сельхозпроизводителей, самые высокие тарифы на электроэнергию и высокую степень износа оросительных систем (либо их аварийное состояние). Без устранения этих барьеров устойчивая интенсификация орошения земель в районах с высокими значениями GSI в настоящее время невозможна, а их адаптивный потенциал очень низок.

В группу с самими низкими значениями дисбаланса геоирригационной обстановки (менее 2,36) вошли семь районов Алтайского края и по одному району Республики Алтай (Кош-Агачский) и Новосибирской области (Ордынский).

Для геоирригационной обстановки этих районов характерна наиболее благоприятная конфигурация пространственно-временных ирригационных структур и факторов, способствующая более высокому адаптивному потенциалу: низкие значения ГТК либо близость орошаемых земель к крупным региональным центрам, относительно высокий для условий Западной Сибири уровень федеральной и региональной поддержки мелиоративного комплекса, развитое животноводство на фоне низкой обеспеченности скота зелеными кормами (по причине их низкой продуктивности), низкая степень засоленности земель и их хорошее мелиоративное состояние.

Во второй группе с довольно благоприятным сочетанием показателей GSI ниже средних значений (2,37–3,16) и относительно высоким адаптивным потенциалом сосредоточены 17 районов Алтайского края и Усть-Канский район Республики Алтай. Для этих районов весьма перспективно внедрение таких адаптивных стратегий, как развитие циклических,

мозаичных и дефицитных видов орошения, но, безусловно, также остро необходимы более эффективные программы государственной поддержки, особенно направленных на стимулирование полива кормовых культур и развитие животноводческих отраслей.

В целом, полученные в данном исследовании схемы классификации подтверждают, что результаты оценки GISI в значительной степени согласуются с результатами ранее осуществленной автором оценки интегрального индекса ирригационного землепользования (ILUI) [10], но при этом позволяют более эффективно отобразить именно степень дисбаланса гео-ирригационной обстановки с точки зрения адаптивного потенциала и устойчивой интенсификации землепользования на орошаемых землях.

Также следует уточнить, что для других регионов России набор показателей, используемых для построения структуры индекса GISI, может быть иным, в зависимости от специфики землепользования на мелиоративных системах.

В заключение необходимо отметить, что разработка адаптивных стратегий устойчивого развития орошаемых земель на основе использования регионально адаптированных интегральных показателей приобретает в современных условиях особую важность.

Многие специалисты отмечают прогрессирующие тенденции влияния неблагоприятных факторов на сокращение мелиоративного комплекса нашей страны, что грозит негативными последствиями, в первую очередь для продовольственной безопасности РФ в условиях глобального изменения климата [15].

Среди них продолжающиеся процессы опустынивания и засоления орошаемых земель, низкая эффективность инструментов государственной поддержки сельхозпроизводителей, снижение доли кормов, получаемых с природных кормовых угодий (с 35–42 до 25–28 %) и их продуктивности, увеличение количества ГТС, которые не эксплуатируются, требуют списа-

ния и капитального ремонта, ежегодное снижение количества ГТС с минимальным износом и т. д. [15, 16].

Так, в частности, износ основных фондов оросительных систем в целом по РФ к 2016 г. составлял 69 %, при этом его максимальные значения были отмечены именно в Западно-Сибирском федеральном округе (77,6 %), а в исправном состоянии находится не более 50 % широкозахватной дождевальнoй техники [17].

Анализ реализации федеральных целевых программ «Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012–2020 годах» и «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы» показал, что к 2021 г. существенных улучшений в техническом состоянии оросительных систем и увеличении фактических площадей полива во многих засушливых регионах так и не произошло, напротив, использование орошаемых земель в ряде регионов сократилось [18].

Изучение адаптационного потенциала мелиоративных систем на основе оценки дисбаланса геоирригационной обстановки будет способствовать пониманию того, какие типы и формы адаптации возможны, осуществимы и вероятны в будущих стратегических сценариях; кто будет участвовать в их реализации и что требуется для облегчения или поощрения их развития на региональном уровне.

Выводы. Разработана структура и методика оценки индекса дисбаланса геоирригационной обстановки, включающая девять показателей, отображающих отрицательное влияние ключевых факторов на устойчивую интенсификацию землепользования на мелиоративных системах в региональном масштабе, а также позволяющих диагностировать его адаптационный потенциал и степень уязвимости элементов геоирригационной обстановки.

Осуществлена оценка землепользования на мелиоративных системах юго-востока Западной Сибири (в масштабе муниципальных районов) по

степени дисбаланса и уязвимости элементов геоирригационной обстановки. Выделено пять групп районов, различающихся по уровню дисбаланса и отрицательного влияния ключевых факторов на устойчивую интенсификацию использования орошаемых земель и риски возникновения конфликтных ситуаций. Установлено, что наибольшая степень дисбаланса и уязвимости ключевых компонентов геоирригационной обстановки наблюдается для мелиоративных систем муниципальных районов Кемеровской области и Барабинской равнины Новосибирской области.

Перспективой дальнейших исследований является разработка стратегий адаптаций для землепользования на мелиоративных системах Западной Сибири на основе предлагаемых индикаторов, при этом для других регионов набор показателей, включаемых в интегральный индекс GSI, может быть другим, в зависимости от специфики мелиоративных систем.

Список источников

1. Rosa L. Adapting agriculture to climate change via sustainable irrigation: biophysical potentials and feedbacks // *Environmental Research Letters*. 2022. Vol. 17, no. 6. Article number: 063008. DOI: 10.1088/1748-9326/ac7408. EDN: YTQRAE.
2. Шевченко В. А., Кирейчева Л. В. Научное обоснование мелиорации для устойчивого развития сельского хозяйства России // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2024. № 4. С. 43–46. EDN: EGMLWW.
3. Spangenberg J. H. Sustainability science: a review, an analysis and some empirical lessons // *Environmental Conservation*. 2011. Vol. 38(3). P. 275–287. DOI: 10.1017/S0376892911000270.
4. Irrigated Agriculture as an Adaptation Strategy Against Climate Change: A Review / F. Rosales-Martínez, L. Casanova-Pérez, C. Flota-Bañuelos, S. Fraire-Cordero, V. Rosales-Martínez // *Journal of Agricultural Science*. 2023. Vol. 15, no. 6. DOI: 10.5539/jas.v15n6p56. EDN: DUWIUA.
5. Comprehensive Analysis of Agricultural Practices in Adapting Soil, Water and Pest Management to Climate Change in Sub-Saharan Africa / B. G. Douan, O. Toundou, E. K. Ronoh, B. N. Mutalemwa, N. N. Aida // *Journal of Agricultural Science*. 2024. Vol. 16, no. 10. DOI: 10.5539/jas.v16n10p113. EDN: UAMGKE.
6. A typology of adaptation actions: a global look at climate adaptations financed through the Global Environment Facility / B. Biagini, R. Bierbaum, M. Stults, S. Dobardzic, S. M. McNeeley // *Global Environmental Change*. 2014. Vol. 25(1). P. 97–108. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2014.01.003.
7. Harmanny K. S., Malek Ž. Adaptations in irrigated agriculture in the Mediterranean region: an overview and spatial analysis of implemented strategies // *Regional Environmental Change*. 2019. Vol. 19(5). P. 1401–1416. DOI: 10.1007/s10113-019-01494-8.
8. Бабичев А. Н., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Особенности изменения мелио-

ративного состояния и почвенного плодородия при регулярном орошении и в постмелиоративный период земель юга России // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 2. С. 168–185. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-168-185. EDN: OPAVOD.

9. Воеводина Л. А., Мячин М. А. Учет мелиорированных земель в Российской Федерации // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 2. С. 236–259. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-236-259. EDN: XJACLY.

10. Орлова И. В. Методика построения индекса ирригационного землепользования (на примере муниципальных районов Западной Сибири) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2022. № 1(60). С. 23–39. DOI: 10.17072/2079-7877-2022-1-23-39. EDN: QVINKV.

11. Балакай Г. Т., Полуэктов Е. В. Сохранение и воспроизводство плодородия черноземов обыкновенных на адаптивно-ландшафтной основе // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 4. С. 98–118. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-98-118. EDN: QHNPLZ.

12. Изменчивость увлажненности территории лесостепной и степной зон Алтайского края за 1982–2013 гг. / Н. Ф., Харламова, А. А. Бондарович, Д. С. Козлова, А. В. Плехов // География и природопользование Сибири. 2014. № 18. С. 206–215. EDN: RHCJN.

13. Устойчивое развитие сельских территорий Алтайского края: социально-экономические и пространственные аспекты: коллектив. моногр. / науч. ред. А. Я. Троцкий. Новосибирск; Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2013. 330 с. ISBN: 978-5-7904-1291-2. EDN: RUSTAF.

14. Орлова И. В. Учет геоэкологических ограничений при территориальном планировании оросительных мелиораций // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. № 1(13). С. 147–157. EDN: RXQUWL.

15. Воеводина Л. А. Тенденции в динамике количественного распределения мелиоративных гидротехнических сооружений федеральной собственности // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 1. С. 246–260. DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-1-246-260. EDN: FZFVIV.

16. Костицын Р. Д., Хонина О. В. Создание и рациональное использование разнотравяных травостоев в зоне неустойчивого увлажнения // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 9. С. 24–30. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_9_24. EDN: EXUJOF.

17. Щедрин В. Н., Балакай Г. Т., Васильев С. М. Концептуальное обоснование разработки стратегии научно-технического обеспечения развития мелиорации земель в России // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 4(24). С. 1–21. EDN: WZWFEV.

18. Шевченко В. А., Исаева С. Д., Дедова Э. Б. Новый этап развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса Российской Федерации // Вестник Российской Академии наук. 2023. Т. 93, № 4. С. 355–361. DOI: 10.31857/S0869587323040114. EDN: SDJBQR.

References

1. Rosa L., 2022. Adapting agriculture to climate change via sustainable irrigation: biophysical potentials and feedbacks. *Environmental Research Letters*, vol. 17, no. 6, article number: 063008, DOI: 10.1088/1748-9326/ac7408, EDN: YTQRAE.

2. Shevchenko V.A., Kireycheva L.V., 2024. *Nauchnoe obosnovanie melioratsii dlya ustoychivogo razvitiya sel'skogo khozyaystva Rossii* [Scientific justification of land reclamation for the sustainable development of Russian agriculture]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 4, pp. 43–46, EDN: EGMLWW, (In Russian).

3. Spangenberg J.H., 2011. Sustainability science: a review, an analysis, and some empirical lessons. *Environmental Conservation*, vol. 38(3), pp. 275-287, DOI: 10.1017/S0376892911000270.

4. Rosales-Martínez F., Casanova-Pérez L., Flota-Bañuelos C., Fraire-Cordero S., Rosales-Martínez V., 2023. Irrigated Agriculture as an Adaptation Strategy Against Climate Change: A Review. *Journal of Agricultural Science*, vol. 15, no. 6, DOI: 10.5539/jas.v15n6p56, EDN: DUWIUA.

5. Douan B.G., Toundou O., Ronoh E.K., Mutalemwa B.N., Aida N.N., 2024. Comprehensive Analysis of Agricultural Practices in Adapting Soil, Water and Pest Management to Climate Change in Sub-Saharan Africa. *Journal of Agricultural Science*, vol. 16, no. 10, DOI: 10.5539/jas.v16n10p113, EDN: UAMGKE.

6. Biagini B., Bierbaum R., Stults M., Dobardzic S., McNeeley S.M., 2014. A typology of ad-aptation actions: a global look at climate adaptations financed through the Global Environment Facility. *Global Environmental Change*, vol. 25(1), pp. 97-108, DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2014.01.003.

7. Harmanny K.S., Malek Z., 2019. Adaptations in irrigated agriculture in the Mediterranean region: an overview and spatial analysis of implemented strategies. *Regional Environmental Change*, vol. 19(5), pp. 1401-1416, DOI: 10.1007/s10113-019-01494-8.

8. Babichev A.N., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., 2023. *Osobennosti izmeneniya meliorativnogo sostoyaniya i pochvennogo plodorodiya pri regul'yarnom oroshenii i v postmeliorativnyy period zemel' yuga Rossii* [Features of changes in the melioration state and soil fertility under regular irrigation and in the post-melioration period of lands in the south of Russia]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 13, no. 2, pp. 168-185, DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-168-185, EDN: OPAVOD. (In Russian).

9. Voevodina L.A., Myachin M.A., 2024. *Uchet meliorirovannykh zemel' v Rossiyskoy Federatsii* [The reclaimed lands registering in the Russian Federation]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 14, no. 2, pp. 236-259, DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-236-259, EDN: XJACLY. (In Russian).

10. Orlova I.V., 2022. *Metodika postroeniya indeksa irrigatsionnogo zemlepol'zovaniya (na primere munitsipal'nykh rayonov Zapadnoy Sibiri)* [Irrigated land use index construction methodology (on the example of municipal districts of Western Siberia)]. *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], no. 1(60), pp. 23-39, DOI: 10.17072/2079-7877-2022-1-23-39, EDN: QVIHKV. (In Russian).

11. Balakai G.T., Poluektov E.V., 2024. *Sokhranenie i vosproizvodstvo plodorodiya chernozemov obyknovennykh na adaptivno-landshaftnoy osnove* [The ordinary chernozem fertility conservation and recovery on an adaptive landscape basis]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 14, no. 4, pp. 98-118, DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-98-118, EDN: QHNPLZ. (In Russian).

12. Kharlamova N.F., Bondarovich A.A., Kozlova D.S., Plekhov A.V., 2014. *Izmenchivost' uvlazhnennosti territorii lesostepnoy i stepnoy zon Altayskogo kraya za 1982–2013 gg.* [Variability of moistening of the territory of forest steppe and steppe zones of the Altai Territory during 1982–2013]. *Geografiya i prirodopol'zovanie Sibiri* [Geography and Environmental Engineering of Siberia], no. 18, pp. 206-215, EDN: RIHCJN. (In Russian).

13. Trotskovsky A.Ya., 2013. *Ustoychivoe razvitie sel'skikh territoriy Altayskogo kraya: sotsial'no-ekonomicheskie i prostranstvennye aspekty: kollektiv. monogr.* [Sustainable Development of Rural Areas of the Altai Territory: Socio-Economic and Spatial Aspects: Collective Monograph]. Barnaul, Alt. Univ. Publ., 330 p., ISBN: 978-5-7904-1291-2, EDN: RUSTAF. (In Russian).

14. Orlova I.V., 2014. *Uchet geoekologicheskikh ogranichey pri territorial'nom pla-*

nirovanii orositel'nykh melioratsiy [Geoecological limitations for land-use planning of irrigation]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 1(13), pp. 147–157, EDN: RXQUWL. (In Russian).

15. Voevodina L.A., 2025. *Tendentsii v dinamike kolichestvennogo raspredeleniya meliorativnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy federal'noy sobstvennosti* [Trends in the dynamics of quantitative distribution of reclamation hydraulic structures of federal ownership]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 15, no. 1, pp. 246–260, DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-1-246-260, EDN: FZFFVIV. (In Russian).

16. Kostitsyn R.D., Khonina O.V., 2023. *Sozdanie i ratsional'noe ispol'zovanie raznopolospevayushchikh travostoev v zone neustoychivogo uvlazhneniya* [Creation and rational use of grass stands of different ripeness in the zone of unstable moisture]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex], vol. 37, no. 9, pp. 24–30, DOI: 10.53859/02352451_2023_37_9_24, EDN: EXUJOF. (In Russian).

17. Shchedrin V.N., Balakai G.T., Vasiliev S.M., 2016. *Kontseptual'noe obosnovanie razrabotki strategii nauchno-tekhnicheskogo obespecheniya razvitiya melioratsii zemel' v Rossii* [Conceptual substantiation of the development of a strategy for scientific and technical support for the development of land reclamation in Russia]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 4(24), pp. 1–21, EDN: WZWFEF. (In Russian).

18. Shevchenko V.A., Isaeva S.D., Dedova E.B., 2023. *Novyy etap razvitiya meliorativno-vodokhozyaystvennogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii* [A new stage in the development of the land reclamation and water management complex of the Russian Federation]. *Vestnik Rossiyskoy Akademii nauk* [Herald of the Russian Academy of Sciences], vol. 93, no. 4, pp. 355–361, DOI: 10.31857/S0869587323040114, EDN: SDJBQR. (In Russian).

Информация об авторе

И. В. Орлова – научный сотрудник, кандидат географических наук, Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (656038, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1), inna_orlova11@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7644-8763.

Information about the author

I. V. Orlova – Researcher, Candidate of Geographic Sciences, Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (656038, Altai Territory, Barnaul, Molodezhnaya Street, 1), inna_orlova11@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7644-8763.

Автор несет ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.
The author is responsible for violation of scientific publication ethics.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 07.08.2025; одобрена после рецензирования 24.10.2025; принята к публикации 13.11.2025.
The article was submitted 07.08.2025; approved after reviewing 24.10.2025; accepted for publication 13.11.2025.