

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.67:551.583

doi: 10.31774/2712-9357-2026-16-1-61-79

Стратегические направления адаптаций геоирригационных систем Западной Сибири к климатическим изменениям

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:** выявить тенденции, смоделировать сценарии и разработать стратегические предложения по адаптации геоирригационных систем Западной Сибири к климатическим изменениям. **Материалы и методы.** Исследование основано на методологии сценарного планирования и системного подхода с использованием методов интуитивной логики, форсайта, статистического и контент-анализа, главных компонент, геометрических интервалов, корреляционного анализа, анкетирования, картографирования. База данных для расчетов сформирована на основе данных научных учреждений РФ, Росстата, Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды РФ, Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии РФ, Департамента мелиорации Минсельхоза России, анкетирования руководителей сельхозпредприятий. **Результаты.** Моделирование в рамках базового и альтернативного климатических прогнозов показало значительный рост адаптационного потенциала геоирригационных систем для всех районов, расположенных в засушливых природно-климатических условиях Западной Сибири (на 0,028–0,055 условной единицы); для более увлажненных природно-климатических зон существенных изменений не ожидается (0,009 условной единицы и менее). Выявлено четыре типа наиболее вероятных сценариев адаптации к наблюдаемым и прогнозируемым климатическим изменениям: прогрессивный, стагнирующий, регрессивно-стагнирующий и регрессивный. Для каждого типа разработаны стратегические предложения и меры по устойчивой интенсификации орошения земель. Среди изученных 88 муниципальных районов только в 27 существует высокая вероятность развития геоирригационных систем в рамках прогрессивного сценария. **Выводы.** Результаты исследования могут быть полезны региональным министерствам сельского хозяйства и управлениям мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения РФ при разработке стратегий долгосрочного планирования подготовки отраслей агропромышленного комплекса к глобальному изменению климата.

Ключевые слова: климатические изменения, адаптация, геоирригационные системы, стратегия, устойчивое развитие, Западная Сибирь

Источник финансирования: субсидии на выполнение государственного задания Институтом водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (ИВЭП СО РАН) № FUFZ-2026-0003 за счет средств федерального бюджета.

Сведения о научно-исследовательской работе, по результатам которой публикуется статья: исследование выполнено в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН № FUFZ-2026-0003 «Пространственно-временная организация природных и природно-хозяйственных систем Сибири: ретроспективный анализ, современные вызовы и сценарное прогнозирование в интересах устойчивого развития».

Для цитирования: Орлова И. В. Стратегические направления адаптаций геоирригационных систем Западной Сибири к климатическим изменениям // Мелиорация и гидротехника. 2026. Т. 16, № 1. С. 61–79. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-1-61-79>.



LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Strategic directions for adapting geoirrigation systems to climate change in 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 identify trends, simulate scenarios and develop strategic proposals for adapting geoirrigation systems in Western Siberia to climate change. **Materials and methods.** The study is based on scenario planning and a system approach using intuitive logic, foresight, statistical and content analysis, principal components, geometric intervals, correlation analysis, questionnaires, and mapping. The calculation database is based on data from scientific institutions of the Russian Federation, the Federal State Statistics Service, the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of the Russian Federation, the Federal Service for State Registration, Cadastre, and Cartography of the Russian Federation, the Department of Land Reclamation of the Ministry of Agriculture of Russia, and a survey of agricultural enterprise managers. **Results.** Modeling within the framework of the baseline and alternative climate forecasts showed a significant increase in the adaptive potential of geoirrigation systems for all districts located in the arid natural and climatic conditions of Western Siberia (by 0.028–0.055 conventional units); significant changes are not expected for more humid natural and climatic zones (0.009 conventional units or less). Four types of the most probable scenarios for adaptation to observed and projected climate changes were identified: progressive, stagnant, regressive-stagnation, and regressive. For each type, strategic proposals and measures for sustainable intensification of land irrigation were developed. Among the 88 municipal districts studied, only 27 have a high probability of developing geoirrigation systems within the framework of the progressive scenario. **Conclusions.** The study's results may be useful to regional ministries of agriculture and departments of land reclamation and agricultural water supply in the Russian Federation when developing long-term planning strategies to prepare agricultural sectors for global climate change.

Keywords: climate change, adaptation, geoirrigation systems, strategy, sustainable development, Western Siberia

Funding: subsidies for the implementation of the State Assignment by the Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IWEP SB RAS) No. FUFZ-2026-0003 from the federal budget.

Information about the research work that led to the publication of this article: the study was conducted within the framework of the state assignment No. FUFZ-2026-0003 of IWEP SB RAS “Spatio-temporal organization of natural and natural-economic systems of Siberia: retrospective analysis, current challenges, and scenario forecasting for sustainable development”.

For citation: Orlova I. V. Strategic directions for adapting geoirrigation systems to climate change in Western Siberia. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2026;16(1): 61–79. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-1-61-79>.

Введение. В настоящее время глобальное изменение климата считается самым значительным по вероятности наступления и ожидаемому размеру убытков риском для мирового агропродовольственного сектора [1, 2].

По оценкам экспертов, к 2050 г. численность населения Земли увеличится ориентировочно до 9,6–10,5 млрд человек, а спрос на сельскохозяйственную продукцию вырастет на 70 % [3]. В то же время рост температуры воздуха на 1–3 °С и изменение режима осадков могут привести к падению урожайности основных сельхозкультур планеты на 10–25 % [4].

В Российской Федерации (РФ) при сохранении текущих темпов потепления (0,4–0,6 °С за 10 лет) до 2050 г. суммарные потери урожайности сельхозкультур оцениваются учеными на уровне 9–28 %, при этом Западная Сибирь считается одним из наиболее уязвимых регионов, где без принятия адаптационных мер снижение урожайности может достичь 35 % [5].

Начиная с 1950-х гг. во всех природных зонах Западной Сибири температура воздуха повышается со средней скоростью 0,33 °С за 10 лет, соответственно, изменяется соотношение тепло- и влагообеспеченности подстилающей поверхности в сторону сокращения ее увлажненности и увеличиваются риски засухи для сельского хозяйства [6]. Так, в 2023 г. по итогам одного из самых жарких летних сезонов в истории наблюдений страховые компании оценили сумму ущерба сибирских аграриев от засухи в 100 млн руб. Наибольший объем (50 млн руб.) пришелся на Омскую область, где погибли посевы на площади 50 тыс. га, и Новосибирскую область, где пострадало 240 тыс. га посевных площадей [5].

В этих условиях поиск оптимальных путей адаптации сельского хозяйства к климатическим изменениям на основе устойчивой интенсификации орошения земель, внедрения инновационных технологий и компенсирующих мероприятий, разработки инструментов долгосрочного стратегического планирования является актуальной исследовательской задачей.

На предыдущих этапах исследований автором были впервые разработаны два интегральных показателя: индекс ирригационного землепользования (ILUI) и индекс дисбаланса геоирригационной обстановки (GISI) [7, 8],

что позволило заложить научные основы для последующего изучения потенциала, механизмов и практик адаптации геоирригационных систем к климатическим изменениям с учетом сопутствующих факторов.

При этом под геоирригационной системой понимается гидромелиоративная система, предназначенная для орошения сельскохозяйственных земель, функционирующая в пространственно-временной взаимосвязи с географическими процессами, явлениями и факторами окружающей среды.

Цель исследования – выявить тенденции, смоделировать сценарии и разработать стратегические предложения по адаптации геоирригационных систем Западной Сибири к климатическим изменениям.

Материалы и методы. Данное исследование основано на методологии сценарного планирования и системного подхода с использованием методов интуитивной логики, форсайта, статистического и контент-анализа, главных компонент, корреляционного анализа, анкетирования.

Моделирование для геоирригационных систем 88 западносибирских муниципальных районов (с наличием орошаемых земель на учете в земельном кадастре РФ) основано на двух сценариях прогнозов изменения климата, представленных в исследованиях специалистов Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды РФ (Росгидромета)¹ и других ученых, в привязке к территории Западной Сибири [4, 5, 9–11]:

1) базовый сценарий, основанный на фактически наблюдаемых тенденциях (трендах) изменения климата в исторический период;

2) альтернативный (вероятностно-модифицированный) сценарий, основанный на оценке значений отклонения будущего развития от базового сценария в положительную или отрицательную сторону.

¹Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Е. М. Акентьева, О. А. Анисимов, М. Ю. Бардин, С. А. Журавлев, В. М. Катцов, А. А. Киселев, М. В. Ключева, П. И. Константинов, В. Н. Коротков, А. Г. Костяной, О. Н. Липка, С. В. Макаров, В. П. Мелешко, В. Н. Павлова, Т. В. Павлова, А. А. Постнов, Е. Н. Разова, Б. А. Ревич, С. В. Рязанцев, Е. И. Хлебникова, И. М. Школьник, В. В. Ясюкевич. СПб.: Научное издательство «Лань», 2022. 676 с. EDN: COSHAP.

Оба сценария закладываются в модель расчета индекса ILUI, отображающего уровни функционирования и потенциала адаптации геоирригационных систем [7], при этом подразумевается, что все факторы, за исключением климата, зафиксированы на уровне базового сценария.

База данных для расчетов сформирована на основе базы данных ИВЭП СО РАН, Росгидромета, Росстата, Департамента мелиорации Министерства сельского хозяйства РФ, материалов региональных управлений мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения, Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии РФ, анкетирования руководителей сельхозпредприятий Западной Сибири.

Результаты и обсуждение. На первом этапе исследования выявлены ключевые тенденции развития геоирригационных систем Западной Сибири: прогрессирующее снижение использования поливаемых земель в районах с дефицитом увлажнения в вегетационный период менее 400 мм; отказ сельхозпроизводителей от полива в районах с высокой обеспеченностью крупного рогатого скота естественными кормами; использование орошаемых земель в качестве богарных в районах с высокой степенью их засоления (более 50 % общей площади); практически полное сворачивание всех ирригационных проектов в районах с уровнем государственной поддержки менее 50 % собственных затрат сельхозпроизводителей на ирригацию.

На втором этапе исследования в результате моделирования индекса ILUI выполнены сценарные расчеты по базовому и альтернативному климатическим прогнозным сценариям. Так, для базового сценария выявлено наибольшее повышение индекса ILUI для следующих групп районов:

- Ключевский, Немецкий национальный, Михайловский, Родинский, ГО Славгород (на 0,028 условной единицы (у. е.));
- Первомайский, Бурлинский, Рубцовский, Хабарский, Новосибирский, Омский, Черлакский, Нововаршавский, Кош-Агачский, Павловский,

Локтевский, Третьяковский, Благовещенский, Карасукский, Баганский, Купинский, Ребрихинский, Усть-Калманский (на 0,013–0,014 у. е.);

- Бийский, Таврический, Кулундинский, Пospelихинский, Коченевский, Искитимский, Табунский, Ордынский (на 0,009–0,012 у. е.).

Для остальных районов, большинство из которых расположено в более увлажненных природных зонах, изменений PLUI не происходит.

Полученные результаты объясняются трендами исторически наблюдаемых изменений климата на территории Западной Сибири [5, 6, 9, 12]. Так, по мнению Н. Ф. Харламовой [9], изменения термического режима будут наиболее значительны в пределах районов Кулундинской равнины и межгорных котловин Алтайского региона, где ожидается повышение теплообеспеченности сельхозкультур с одновременным ростом аридизации и неблагоприятных климатических явлений, особенно после 2038 г.

Для районов лесостепной зоны учеными выявлен статистически достоверный положительный тренд в распределении приземной температуры воздуха: 2,86 °С за 167 лет или 1,8 °С за 100 лет при увеличении средней температуры теплого периода на 2,4 °С за 167 лет или 1,4 °С за 100 лет [9].

За период 1961–1990 гг. во всех лесостепных и степных районах юга Западной Сибири наблюдается постепенное нарастание процессов иссушения и увеличение площади со среднегодовой температурой воздуха выше плюс 2 °С на 453 тыс. км²; за 2011–2020 гг. отмечается превышение климатической нормы для температуры на 0,9 °С в степной и 1,1 °С в сухо-степной зонах [12, 13]. С 1950 по 2023 г. наибольший рост майской среднегодовой температуры воздуха выявлен в Новосибирской (плюс 12,6 %), Томской (плюс 14,7 %) и Омской областях (плюс 29,9 %). В среднем это 1–1,3 °С за 53 года [5].

Для альтернативного сценария смоделирована ситуация, которая предполагает, что под влиянием изменившегося климата равнинные природно-сельскохозяйственные зоны Западной Сибири смещаются на север и

северо-восток на 30 % своей площади [10]. В результате наибольшее изменение индекса ILUI [7] в сторону повышения адаптационного потенциала наблюдается для геоиригационных систем следующих групп районов:

- Ключевский, Михайловский, Немецкий, Родинский, Угловский, Черлакский, Табунский, Усть-Калманский (на 0,055 у. е.);

- Первомайский, Бурлинский, Егорьевский, Рубцовский, Бийский, Хабаровский, Татарский, Усть-Таркский, Чановский, Барабинский, Здвинский, Купинский, Любинский, Омский, Азовский немецкий, Томский, Кемеровский, Прокопьевский, Новокузнецкий, Беловский, Топкинский, Кош-Агачский, Павловский, Каменский, Крутихинский, Локтевский, Третьяковский, Благовещенский, Карасукский, Искитимский, Нижнеомский, Усть-Канский, Гурьевский, Промышленновский (на 0,028–0,033 у. е.).

Наименьшие либо незначительные изменения индекса ILUI (менее 0,011 у. е.) характерны для таких районов, как Мошковский, Ордынский, Сузунский, Колыванский, Куйбышевский, Ленинск-Кузнецкий, Юргинский, Яйский, Мариинский, Чемальский.

Очевидно, что альтернативный сценарий показывает более обширную структурную перестройку геоиригационных систем Западной Сибири, обусловленную ожидаемым усилением потепления и засушливости климата не только в сухо- и засушливостепных природных зонах, но и в более увлажненных лесостепных и подтаежных. Согласно модельным климатическим прогнозам, развитие по альтернативному сценарию приведет к более быстрым климатическим изменениям и продвижение границ природных зон на север и северо-восток произойдет на расстояние, в два раза большее (100–150 км), чем при базовом сценарии (50–70 км); в итоге прогнозируется изменение зон за период 2016–2045 гг. в размере 64 % доли территории Западной Сибири, за 2031–2060 гг. – в размере 74 % [4, 14].

В результате к середине XXI в. климатические условия не будут соот-

ветствовать господствующему типу растительности для большинства природных зон: на юге Новосибирской области засушливая степная зона может продвинуться на север до 65–75 км; в Омской – на 30–60 км; в Томской – южная граница зоны избыточного увлажнения сместится к северу до 100–150 км; в южных районах Кемеровской – за счет переувлажненных площадей с $ГТК > 2$ увеличится зона избыточного увлажнения; на юго-западе Алтайского края расширится степная зона за счет уменьшения лесостепной, на остальной территории края лесостепь останется преобладающим типом ландшафта (немного увеличившись на северо-востоке); в Республике Алтай границы зон увлажнения могут сместиться в северо-восточном, северном и северо-западном направлении на несколько десятков километров, а на юго-востоке сухая степь уступит свое место зоне полупустынь с $ГТК < 0,4$ [5].

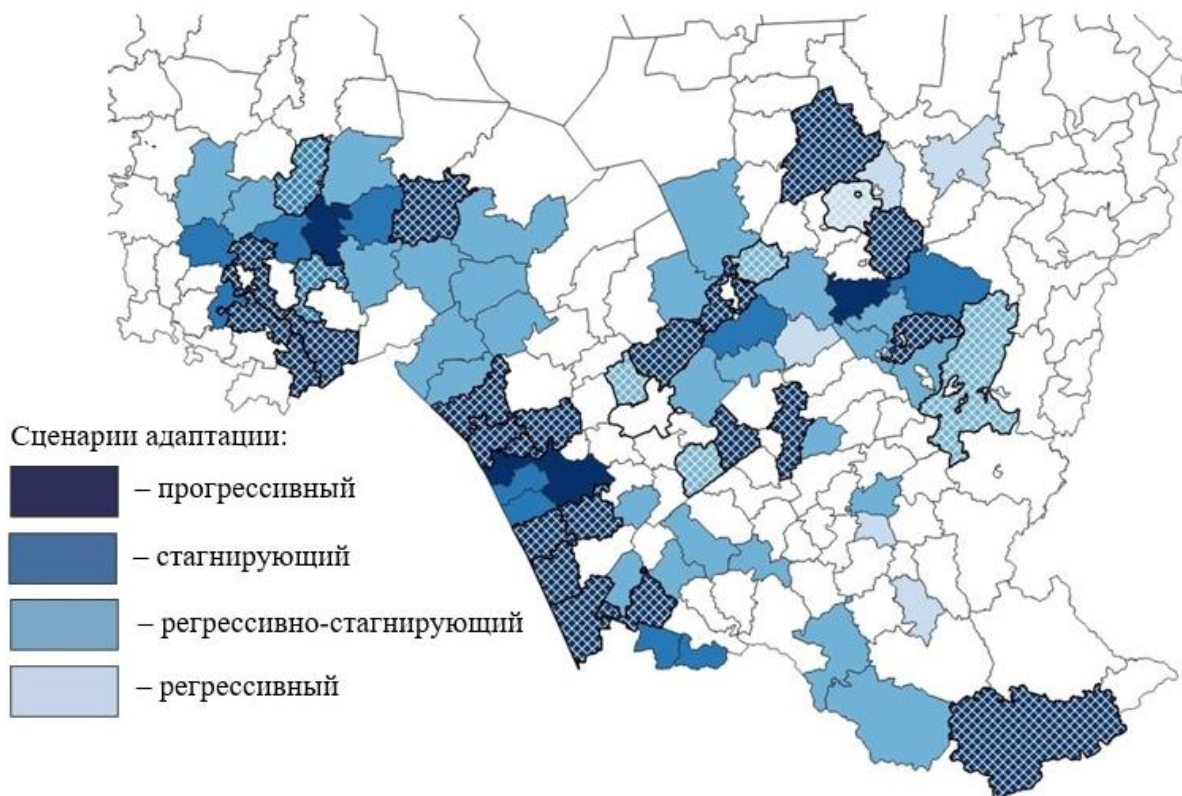
На заключительном этапе исследования для геоиригационных систем Западной Сибири выявлено четыре типа наиболее вероятных сценариев адаптации к прогнозируемым изменениям климата: прогрессивный, стагнирующий, регрессивно-стагнирующий и регрессивный.

Для каждого типа сценариев осуществлена разработка стратегических предложений как на базе совокупного анализа наблюдаемых тенденций влияния различных факторов на адаптацию геоиригационных систем, так и на основе прогнозной динамики климата в будущем с учетом моделирования ILUI. Также учитывался опыт международных и отечественных научно-практических разработок в данной области [2, 15–18].

1 Прогрессивный сценарий адаптации наиболее вероятен для геоиригационных систем Западной Сибири с высокими значениями индекса ILUI, а также с благоприятными низкими и очень низкими значениями индекса дисбаланса GISI.

В данную группу входят, с одной стороны, лесостепные пригородные районы крупнейших городов с картофеле-овощеводческой специализацией

(Омский, Новосибирский, Первомайский, Павловский, Томский, Кемеровский), с другой – районы с развитыми животноводческими отраслями, расположенные в наиболее засушливых природно-климатических условиях (Кош-Агачский, Рубцовский, Немецкий национальный, Ключевский) (рисунок 1).



Заштрихованная область – наличие фактически поливаемых участков земель.

The shaded area indicates the presence of actual irrigated land.

Рисунок 1 – Прогнозируемые вероятные сценарии адаптации для геоирригационных систем Западной Сибири
Figure 1 – Projected probable adaptation scenarios for georrigation systems in Western Siberia

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, развитое животноводство на фоне низкой обеспеченности скота естественными кормами (по причине их низкой продуктивности), низкая степень засоленности земель и их хорошее мелиоративное

состояние. При этом повсеместно имеются достаточные площади орошаемых земель и оросительные водоисточники для дальнейшего развития орошения в условиях прогнозируемой аридизации климата.

Для геоирригационных систем в рамках прогрессивного сценария целесообразны стратегические меры и направления адаптации, представленные в таблице 1. Кроме того, необходимы законодательное приравнение районов в наиболее засушливых зонах к районам с экстремальными природно-климатическими условиями и разработка программ эффективной государственной поддержки сельхозпроизводителей, выращивающих в этих условиях кормовые культуры для обеспечения животноводства.

2 Стагнирующий сценарий адаптации наиболее вероятен для геоирригационных систем Западной Сибири со значениями индекса ILUI выше средних значений, а также с низкими и средними значениями индекса GISI (Кулундинский, Табунский, Локтевский, Третьяковский, Любинский, Благовещенский, Усть-Тарский, Искитимский районы).

В районах данной группы наблюдается относительно благоприятная геоирригационная обстановка для устойчивой интенсификации орошения земель в условиях климатических изменений, однако по ряду причин (разрушение оросительных систем, недостаток финансовых средств у сельхозпроизводителей, несовершенство государственных мер поддержки и др.) большинство состоящих на учете в земельном кадастре РФ орошаемых земель фактически не поливается либо поливается периодически и фрагментарно. К основным мерам и видам адаптации относится в первую очередь внедрение мелиоративной инфраструктуры, ориентированной на развитие циклических и мозаичных видов орошения на основе экологоприемлемых мелиоративных технологий с минимальным вмешательством в экосистемные процессы, а также государственная поддержка развития животноводческих отраслей с приоритетом производства экологически чистой говядины, баранины и конины (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Стратегические направления адаптации геоирригационных систем к изменению климата
Table 1 – Strategic directions for adapting geoirrigation systems to climate change

Сценарий адаптации	Репрезентативный район	Стратегическая мера и направление адаптации
1	2	3
Прогрессивный	Омский, Новосибирский, Первомайский, Павловский, Томский, Кош-Агачский, Рубцовский, Немецкий национальный, Ключевский, Ордынский	<ul style="list-style-type: none"> - реконструкция и строительство мелиоративных систем на основе инновационных технологий; внедрение элементов прецизионного орошения, переход на водосберегающие режимы полива (капельное, дождевание), повышение КПД оросительных систем; обновление парка дождевальных машин; внедрение экологических ограничений против чрезмерной интенсификации орошения; предотвращение вымывания удобрений и питательных веществ из почв; профилактика эвтрофикации водоемов; реабилитация деградированных и загрязненных почв; использование геоспутниковых данных для отслеживания состояния земель в режиме реального времени; - для пригородных районов: модернизация овощного подкомплекса АПК на основе робототехники; стимулирование «сити-фермерства» и органического овощеводства; объединение усилий агрохолдингов, научных учреждений, производителей удобрений и средств защиты растений для разработки «пакетных» решений, включающих технологии точного земледелия, семенной материал, цифровизацию; - для районов засушливых зон: агролесомелиорация в комплексе с био- и фитомелиоративными мероприятиями для предотвращения эрозии, дефляции почв; мульчирование почвы; регулирование солевого и солонцового процессов, вторичного засоления орошаемых земель; усиление дренажа; безотвальная обработка почвы; влагонакопление; применение гидросорбентов; - расширение посевов озимых культур; внедрение в структуру посевов многолетних трав, бобовых, засухо- и солеустойчивых культур; полная компенсация затрат сельхозпроизводителей на полив кормовых культур с учетом экологических ограничений
Стагнирующий	Кулундинский, Табунский, Локтевский, Третьяковский, Любинский, Благовещенский, Усть-Тарский, Искитимский	<ul style="list-style-type: none"> - развитие цикличных и мозаичных видов орошения на основе экологоприемлемых технологий с минимальным вмешательством в экосистемные процессы; предотвращение засоления и деградации почв; - государственная поддержка животноводческих отраслей с приоритетом производства экологически чистой говядины, баранины и конины; поддержка процессов самовосстановления степных пастбищных фитоценозов; развитие систем агрострахования с учетом климатических рисков; - поддержка малых форм хозяйствования; предоставление субсидий и кредитование сельхозпроизводителей, производящих модернизацию оросительных систем, внедряющих технологии, способствующие влагонакоплению и рациональному использованию природных ресурсов; внедрение генетически модифицированных сортов и гибридов, устойчивых к засухе, болезням и вредителям; фитомелиорация

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3
Регрессивно-стагнирующий	Усть-Калманский, Косихинский, Егорьевский, Романовский, Усть-Канский, Усть-Коксинский, Татарский, Чановский, Здвинский, Тогучинский, Черепановский, Гурьевский, Прокопьевский	<ul style="list-style-type: none"> - экономическое стимулирование внедрения дефицитных и мелкозональных видов орошения, адаптированных к менее засушливым климатическим условиям и позволяющих снизить расходы на орошение; модернизация и апробация оросительных систем на основе типовых схем режимов малообъемного орошения; внедрение методов точного орошения с учетом фактического уровня увлажнения почв и соответствия его нормативным требованиям с минимизацией расхода воды; - цифровая трансформация АПК, внедрение систем интеллектуального управления агротехнологиями; диверсификация структуры посевных площадей; освоение биологизированных севооборотов; развитие органического сельского хозяйства; - разработка систем фильтрации и предварительной подготовки воды в ирригационных системах, позволяющих эффективно предотвращать засоление почв; приоритетное выращивание на солонцовых землях зеленых, сочных и грубых кормов, масличных и сои, а также частично фуражного зерна; - внедрение инновационных технологий управления пастбищами: изменение сроков и интенсивности выпаса в зависимости от погодных условий; ротационный выпас для предотвращения чрезмерного вытаптывания почв; улучшение пастбищ за счет посева многолетних трав и бобовых культур
Регрессивный	Чемальский, Советский, Юргинский, Яйский, Маслянинский	<ul style="list-style-type: none"> - внедрение природоохранных режимов адаптивно-ландшафтного земледелия; организация экологически устойчивых и максимально адаптированных к местным природно-экономическим условиям систем земледелия на почвозащитной основе; - подключение к цифровым системам с информацией о почвах, климатических условиях и технологиях точного земледелия; развитие систем агрострахования с учетом климатических рисков; - развитие тепличного хозяйства, садоводства
Примечание – Таблица 1 составлена автором по данным собственных исследований и на основе научных источников [2, 4, 15–20].		

3 Регрессивно-стагнирующий сценарий адаптации наиболее вероятен для геоирригационных систем Западной Сибири с низкими и ниже средних значениями индекса ILUI, а также со средними, высокими и очень высокими значениями индекса дисбаланса GISI (Усть-Калманский, Косихинский, Егорьевский, Романовский, Усть-Канский, Усть-Коксинский, Татарский, Чановский, Здвинский, Сузунский, Тогучинский, Черепановский, Гурьевский, Ленинск-Кузнецкий, Прокопьевский районы).

В большинстве районов данной группы геоирригационная обстановка в целом неблагоприятна для устойчивой интенсификации орошения земель в условиях климатических изменений. Наиболее ярко это отражается в распределении показателя фактически поливаемых земель, который наблюдается только в 20 % районов данной группы, при этом в большинстве площадь полива составляет менее 100 га [7]. Среди основных факторов дисбаланса геоирригационной обстановки следует отметить экономическую неэффективность полива сельхозкультур, низкие показатели численности населения и (или) поголовья скота, высокую обеспеченность скота естественными кормами, удаленное расположение относительно региональных центров и (или) упадок в животноводческих отраслях. Наряду с этим в большинстве районов отмечается и прогнозируется относительно низкий дефицит увлажнения в вегетационный период [7].

Для геоирригационных систем этой группы наиболее целесообразны экономическое стимулирование внедрения дефицитных и мелкомозаичных видов орошения, модернизация и апробация оросительных систем на основе типовых схем режимов малообъемного орошения, позволяющих снизить затраты на орошение, а также характеризующихся более щадящим ирригационным воздействием на природные системы и адаптированных к менее засушливым климатическим условиям и др. (см. таблицу 1).

4 Регрессивный сценарий адаптации, предполагающий практиче-

ски полный отказ сельхозпроизводителей от полива земель, наиболее вероятен для геоирригационных систем районов Западной Сибири с самыми низкими значениями индекса ILUI, а также с высокими и очень высокими неблагоприятными значениями индекса дисбаланса GISI (Чемальский, Советский, Юргинский, Яйский, Маслянинский районы).

Как правило, все эти районы расположены в наименее засушливых природно-климатических условиях с высокой обеспеченностью скота естественными кормами; уже несколько десятилетий здесь не практикуется фактический полив земель. Также, по официальной информации администраций этих районов, в среднесрочном будущем восстановление орошения земель не планируется даже в условиях будущего потепления климата.

В целом среди изученных 88 муниципальных районов Западной Сибири только в 27 районах существует высокая вероятность будущего развития геоирригационных систем в рамках прогрессивного сценария адаптации. При сохранении текущих мер и стратегий государственной поддержки в подавляющем большинстве других районов наиболее вероятен переход сельхозпроизводителей к регрессивному сценарию адаптации.

Выводы. Выявлены ключевые тенденции развития геоирригационных систем Западной Сибири: прогрессирующее снижение использования поливаемых земель в районах с дефицитом увлажнения в вегетационный период менее 400 мм; отказ сельхозпроизводителей от полива в районах с высокой обеспеченностью крупного рогатого скота естественными кормами; использование орошаемых земель в качестве богарных в районах с высокой степенью их засоления (более 50 % общей площади); практически полное сворачивание всех ирригационных проектов в районах с уровнем государственной поддержки менее 50 % собственных затрат сельхозпроизводителей на ирригацию.

В результате моделирования индекса ILUI в рамках базового и альтернативного климатических прогнозов установлено значительное возрастание

адаптационного потенциала для районов, расположенных в засушливых природно-климатических условиях Западной Сибири; для более увлажненных зон существенных изменений не ожидается.

Выявлено четыре типа наиболее вероятных сценариев адаптации: прогрессивный, стагнирующий, регрессивно-стагнирующий и регрессивный; для каждого типа разработаны стратегические предложения и меры в целях устойчивой интенсификации орошения земель.

Результаты исследования могут быть полезны региональным министерствам сельского хозяйства и управлениям мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения РФ при разработке стратегий долгосрочного планирования подготовки отраслей АПК к изменению климата.

Список источников

1. Opportunities and prospects for the development of complex biocompatible plant protection products based on some natural nitrogen compounds for solving agricultural problems / Z. Khaptsev, A. Bogdanov, M. Kadomtseva, P. Smutnev, L. Isaicheva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. № 723. DOI: 10.1088/1755-1315/723/3/032069. EDN: AYOGDW.
2. 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, № 6. DOI: 10.5539/jas.v15n6p56. EDN: DUWIUA.
3. Land Use Statistics and Indicators Statistics. Global, Regional and Country Trends 1990–2019. FAOSTAT Analytical Brief Series № 28 / F. N. Tubiello, G. Conchedda, G. de Santis, N. Wanner; FAO. Rome, 2021. 14 p.
4. Красюкова Н. Л., Фарманов Т. Х. Анализ влияния изменения климата на сельское хозяйство с помощью больших данных // Аграрная наука. 2024. № 6. С. 30–32. EDN: XAPULJ.
5. Долгосрочный прогноз развития сельских территорий Сибири в условиях изменения климата / М. С. Петухова, С. В. Рюмкин, Н. Н. Воропай, М. В. Кондратьев; Новосибир. гос. аграр. ун-т, Ин-т мониторинга климат. и экол. систем СО РАН. Новосибирск: Золотой колос, 2025. 259 с. EDN: NOTCPP.
6. Литвинова О. С. Влияние макроциркуляционных условий на атмосферное увлажнение юга и юго-востока Западной Сибири // Географический вестник. 2020. № 2(53). С. 100–110. DOI: 10.17072/2079-7877-2020-2-100-110. EDN: FXISYJ.
7. Орлова И. В. Методика построения индекса ирригационного землепользования (на примере муниципальных районов Западной Сибири) // Географический вестник. 2022. № 1(60). С. 23–39. DOI: 10.17072/2079-7877-2022-1-23-39. EDN: QVINKV.
8. Орлова И. В. Оценка дисбаланса геоиригационной обстановки землепользования на мелиоративных системах Западной Сибири // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 4. С. 126–143. DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-4-126-143. EDN: OADDKL.

9. Харламова Н. Ф. Оценка и прогноз современных изменений климата Алтайского региона: монография. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2013. 156 с. EDN: SIHPVF.

10. Светлов Н. М. Методика отбора регионов для исследования адаптации сельского хозяйства к изменению климата // Экономика региона. 2023. № 19(2). С. 480–493. DOI: 10.17059/ekon.reg.2023-2-14. EDN: NLRFUO.

11. Сиптиц С. О., Романенко И. А., Евдокимова Н. Е. Планирование сценариев развития социально-экономических систем – теоретико-методологические подходы и зарубежный опыт // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. № 5, т. 12. С. 147–154. DOI: 10.36871/ek.ur.p.r.2025.05.12.015. EDN: FKXVRE.

12. Решоткин О. В., Алябина И. О., Худяков О. И. Изменение атмосферного и почвенного климата Западной Сибири в условиях глобального потепления // Географическая среда и живые системы. 2023. № 3. С. 6–25. DOI: 10.18384/2712-7621-2023-3-6-25. EDN: SVSQOI.

13. Картографирование и мониторинг процессов аридизации на юге Западно-Сибирской равнины / Н. В. Глушкова, Д. А. Чупина, Д. В. Пчельников, И. И. Болдырев, Н. А. Селятицкая // География и природные ресурсы. 2016. № 1. С. 133–140. EDN: VOFLWB.

14. Жильцова Е. Л., Анисимов О. А. Эмпирико-статистическое моделирование растительной зональности в условиях изменения климата на территории России // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2013. Т. 25. С. 360–374. EDN: VHTFST.

15. Прогноз научно-технологического развития отрасли растениеводства, включая семеноводство и органическое земледелие России, в период до 2030 года / А. Г. Папцов, А. И. Алтухов, Н. И. Кашеваров, П. М. Першукевич, А. С. Денисов, Е. В. Рудой, М. С. Петухова, С. Ю. Капустянчик, С. Л. Добрянская, О. М. Поцелуев, Т. А. Садохина, А. Ф. Петров, С. В. Рюмки, Р. Р. Галеев, Г. А. Полуни, В. В. Таран, Ж. Е. Соколова; Новосиб. гос. аграр. ун-т, Сиб. федер. центр агробиотехнологий РАН, ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН, ФНЦ ВНИИЭСХ. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2019. 100 с. EDN: ZDSJET.

16. Юшкевич Л. В., Тимохин А. Ю. Управление ресурсами влаги в агроландшафтах Омского Прииртышья: монография. Омск: Омский аграр. науч. центр, 2024. 323 с. EDN: TTRELA.

17. 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.

18. Влияние элементов прецизионного земледелия на динамику агрохимического состава почвы в условиях орошения / А. Н. Цепляев, С. Я. Семенов, А. А. Куприянов, Е. А. Кузнецова // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 2. С. 37–53. DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-2-37-53. EDN: JMULLG.

19. Орлова И. В. Экологически уязвимые места ирригационного землепользования Западной Сибири // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11, № 4. С. 103–121. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-103-121. EDN: RYNYLL.

20. Научно-обоснованный прогноз развития точного земледелия в России / Е. В. Рудой, М. С. Петухова, С. В. Рюмки, Е. В. Труфляк, Н. Ю. Курченко. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. 138 с. EDN: BLJFAQ.

References

1. Khaptsev Z., Bogdanov A., Kadomtseva M., Smutnev P., Isaicheva L., 2021. Opportunities and prospects for the development of complex biocompatible plant protection products based on some natural nitrogen compounds for solving agricultural problems. IOP Conference

Series: Earth and Environmental Science, no. 723, DOI: 10.1088/1755-1315/723/3/032069, EDN: AYOGLDW.

2. 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.

3. Tubiello F.N., Conchedda G., de Santis G., Wanner N., 2021. Land Use Statistics and Indicators Statistics. Global, Regional and Country Trends 1990-2019. FAOSTAT Analytical Brief Series No. 28. FAO, Rome, 14 p.

4. Krasnyukova N.L., Farmanov T.Kh., 2024. *Analiz vliyaniya izmeneniya klimata na sel'skoe khozyaystvo s pomoshch'yu bol'shikh dannykh* [Analyzing the impact of climate change on agriculture using big data]. *Agrarnaya nauka* [Agrarian Science], no. 6, pp. 30-32, EDN: XAPULJ. (In Russian).

5. Petukhova M.S., Ryumkin S.V., Voropay N.N., Kondratyev M.V., 2025. *Dolgosrochny prognoz razvitiya sel'skikh territoriy Sibiri v usloviyakh izmeneniya klimata* [Long-term Forecast of Rural Development in Siberia under Climate Change]. Novosibirsk State Agrarian University, Institute of Climate and Ecological Systems Monitoring SB RAS. Novosibirsk, Zolotoy Kolos Publ., 259 p., EDN: NOTCPP. (In Russian).

6. Litvinova O.S., 2020. *Vliyanie makrotsirkulyatsionnykh usloviy na atmosfernoje uvla-zhnenie yuga i yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri* [The influence of macrocircular conditions on atmospheric humidification in the south and southeast of Western Siberia]. *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], no. 2(53), pp. 100-110, DOI: 10.17072/2079-7877-2020-2-100-110, EDN: FXISYJ. (In Russian).

7. 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 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).

8. Orlova I.V., 2025. *Otsenka disbalansa geoirrigatsionnoy obstanovki zemlepol'zovaniya na meliorativnykh sistemakh Zapadnoy Sibiri* [Assessing the geoirrigation situation imbalance of land use in the reclamation systems of Western Siberia]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 15, no. 4, pp. 126-143, DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-4-126-143, EDN: OADDKL. (In Russian).

9. Kharlamova N.F., 2013. *Otsenka i prognoz sovremennykh izmenenii klimata Altayskogo regiona: monografiya* [Evaluation and Forecast of Modern Climate Change in Altai Region: monograph]. Barnaul, Altai University Publ., 156 p., EDN: SIHPVF. (In Russian).

10. Svetlov N.M., 2023. *Metodika otbora regionov dlya issledovaniya adaptatsii sel'skogo khozyaystva k izmeneniyu klimata* [Methodology for selecting regions to study the adaptation of agriculture to climate change]. *Ekonomika regiona* [The Regional Economy], no. 19(2), pp. 480-493, DOI: 10.17059/ekon.reg.2023-2-14, EDN: NLRFUO. (In Russian).

11. Siptits S.O., Romanenko I.A., Evdokimova N.E., 2025. *Planirovanie stsensariiev razvitiya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem - teoretiko-metodologicheskie podkhody i zarubezhnyy opyt* [Planning scenarios for the development of socio-economic systems: theoretical and methodological approaches and foreign experience]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya* [Economy and Management: Problems, Solutions], no. 5, vol. 12, pp. 147-154, DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2025.05.12.015, EDN: FKXVRE. (In Russian).

12. Reshotkin O.V., Alyabina I.O., Khudyakov O.I., 2023. *Izmenenie atmosfernogo i pochvennogo klimata Zapadnoy Sibiri v usloviyakh global'nogo potepleniya* [Changes in the atmospheric and soil climate of Western Siberia under conditions of global warming]. *Geograficheskaya sreda i zhivyye sistemy* [Geographical Environment and Living Systems], no. 3, pp. 6-25, DOI: 10.18384/2712-7621-2023-3-6-25, EDN: SVSQOI. (In Russian).

13. Glushkova N.V., Chupina D.A., Pchel'nikov D.V., Boldyrev I.I., Selyatitskaya N.A., 2016. *Kartografirovaniye i monitoring protsessov aridizatsii na yuge Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Mapping and monitoring of aridization processes in the south of the West Siberian Plain]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], no. 1, pp. 133-140, EDN: VOFLWB. (In Russian).

14. Zhiltsova E.L., Anisimov O.A., 2013. *Empiriko-statisticheskoye modelirovaniye rastitel'noy zonal'nosti v usloviyakh izmeneniya klimata na territorii Rossii* [Empirico-statistical modeling of vegetation zonation under climate change in Russia]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Problems of Environmental Monitoring and Ecosystem Modeling], vol. 25, pp. 360-374, EDN: VHTFST. (In Russian).

15. Paptsov A.G., Altukhov A.I., Kashevarov N.I., Pershukevich P.M., Denisov A.S., Rudoy E.V., Petukhova M.S., Kapustyanchik S.Yu., Dobryanskaya S.L., Potseluev O.M., Sadokhina T.A., Petrov A.F., Ryumkin S.V., Galeev R.R., Polunin G.A., Taran V.V., Sokolova J.E., 2019. *Prognoz nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya otrasli rasteniyevodstva, vkluychaya semenovodstvo i organicheskoye zemledeliye Rossii, v period do 2030 goda* [Forecast of Scientific and Technological Development of the Crop Production Industry, Including Seed Production and Organic Farming in Russia, in the Period up to 2030]. Novosibirsk State Agrarian University, Siberian Federal Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Institute of Cytology and Genetics SB RAS, FNC VNIIESH. Novosibirsk, Zolotoy Kolos Publ., 100 p., EDN: ZDSJET. (In Russian).

16. Yushkevich L.V., Timokhin A.Yu., 2024. *Upravleniye resursami vlagi v agrolandshaftakh Omskogo Priirtysh'ya: monografiya* [Moisture Resource Management in Agricultural Landscapes of the Omsk Irtysh Region: monograph]. Omsk, Omsk Agrarian Research Center, 323 p., EDN: TTRELA. (In Russian).

17. Balakay G.T., Poluektov E.V., 2024. *Sokhraneniye i vosproizvodstvo plodorodiy 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).

18. Tseplyaev A.N., Semenenko S.Ya., Kupriyanov A.A., Kuznetsova E.A., 2025. *Vliyanie elementov pretsizionnogo zemledeliya na dinamiku agrokhimicheskogo sostava pochvy v usloviyakh orosheniya* [The influence of precision farming elements on the dynamics of the agro-chemical soil composition under irrigation]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 15, no. 2, pp. 37-53, DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-2-37-53, EDN: JMULLG. (In Russian).

19. Orlova I.V., 2021. *Ekologicheski uyazvimyye mesta irrigatsionnogo zemlepol'zovaniya Zapadnoy Sibiri* [Environmentally sensitive areas of irrigation land use in Western Siberia]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 11, no. 4, pp. 103-121, DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-103-121, EDN: RYNYLL. (In Russian).

20. Rudoy E.V., Petukhova M.S., Ryumkin S.V., Truflyak E.V., Kurchenko N.Yu., 2021. *Nauchno-obosnovannyy prognos razvitiya tochnogo zemledeliya v Rossii* [Scientifically Substantiated Forecast of the Development of Precision Farming in Russia]. Novosibirsk, Zolotoy Kolos Publ., 138 p., EDN: BLJFAQ. (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 St., 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 23.12.2025; одобрена после рецензирования 26.03.2026;
принята к публикации 27.03.2026.
The article was submitted 23.12.2025; approved after reviewing 26.03.2026; accepted for publication 27.03.2026.*