

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная статья

УДК 911.6:631.67

doi: 10.17072/2079-7877-2022-1-23-39

**МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ
ИНДЕКСА ИРРИГАЦИОННОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ МУНИЦИПАЛЬНЫХ РАЙОНОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)****Инна Владимировна Орлова**

Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, г.Барнаул, Россия

inna_orlova11@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7644-8763>, Scopus Author ID: 57022193900, ResearcherID: K-1656-2018, Author ID: 401118

Аннотация. В связи с возрастанием роли орошения земель в условиях обострения глобальных проблем продовольственной безопасности и изменения климата усилилась геосистемная направленность в изучении сложных процессов и взаимосвязей на орошаемых территориях, обострилась проблема интегральной количественной оценки факторов и параметров, определяющих геопространственное функционирование ирригационного землепользования, необходимая для поддержки управленческих решений и определения приоритетов дальнейшего устойчивого развития. Цель данного исследования состоит в разработке методики построения и оценки индекса ирригационного землепользования, который агрегирует информацию о ключевых характеристиках, взаимосвязях и факторах геопространства, определяющих территориальную специфику функционирования и дифференциации ирригационного землепользования. Алгоритм методики включает в себя следующие этапы: определение основных составляющих изучаемой системы; выбор и нормирование ключевых параметров; изучение их взаимосвязей на основе корреляционного анализа; построение формулы агрегирования показателей в интегральный индекс на основе метода главных компонент; ранжирование и группировка объектов анализа на основе типологического подхода и кластерного анализа. В результате исследования выделены четыре типа ирригационного землепользования муниципальных районов Западной Сибири, ранжированные по совокупности уровня функционирования и сочетания параметров геоирригационной обстановки. Наиболее высокие значения интегрального индекса выявлены для ирригационного землепользования лесостепных пригородных районов с картофеле-овощеводческой специализацией сельского хозяйства и степных засушливых районов с животноводческой специализацией. Результаты данного исследования могут быть использованы не только для развития междисциплинарных исследований в области ирригационного землепользования, но и поддержки стратегических управленческих решений на региональном и муниципальном районном уровнях.

Ключевые слова: ирригация, землепользование, интегральный индекс, факторы, функционирование, территориальная дифференциация

Для цитирования: 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.



INTERDISCIPLINARY RESEARCH

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2022-1-23-39

**IRRIGATED LAND USE INDEX CONSTRUCTION METHODOLOGY
(ON THE EXAMPLE OF WESTERN SIBERIA)****Inna V. Orlova**

Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia
inna_orlova11@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7644-8763>, Scopus Author ID: 57022193900, ResearcherID: K-1656-2018, Author ID: 401118

Abstract. In connection with the growing role of land irrigation following the aggravation of climate change and food security issues, there is an obvious trend toward the geosystem orientation in the study of complex processes and relationships in irrigated areas, and the problem of integral quantitative assessment of factors and parameters that determine the geospatial functioning of irrigated land use comes to the fore. Such assessment is necessary to support management decisions and determine priorities for further sustainable development. The purpose of this study is to develop a methodology for constructing and assessing the irrigated land use index which aggregates information on the key characteristics, relationships, and factors of geospace that determine the territorial specifics of the functioning and differentiation of irrigated land use. The algorithm of the methodology includes the following stages: determination of the main components of the system under study; selection and normalization of key parameters; study of their relationships based on correlation analysis; building a formula for aggregating indicators into an integral index based on the principal component method; ranking and grouping of objects of analysis based on the typological approach and cluster analysis. With the use of this methodology, four types of irrigated land use in municipal districts of Western Siberia were identified, ranked by the totality of the level of functioning and combination of the geoirrigation environment parameters. The highest values of the integral index were determined for irrigated land use in forest-steppe suburban areas specializing in growing potatoes and other vegetables and in steppe arid areas with livestock specialization. The results of this study can be used both to develop interdisciplinary research in the field of irrigated land use and to support strategic management decisions at the regional and municipal district levels.

Keywords: irrigation, land use, integral index, factors, functioning, territorial differentiation

For citation: Orlova, I.V. (2022). Irrigated land use index construction methodology (on the example of Western Siberia). *Geographical Bulletin*. No. 1(60). Pp. 23–39. doi: 10.17072/2079-7877-2022-1-23-39.

Введение

Орошение (в переводе с английского «irrigation») сельскохозяйственных земель считается одной из основных адаптаций для поддержки сельского хозяйства вследствие роста народонаселения и глобального изменения климата [28]. С этой точки зрения, процессы различных изменений в использовании земель рассматриваются и как результат, и как причина разнообразных взаимодействий между обществом и окружающей средой [37], а взгляды ученых на ирригационное землепользование сосредоточились на изучении его в качестве сложной системы (по разным определениям: геотехнической, мелиоративно-географической, ирригационно-социально-экологической), играющей важную роль в решении проблем устойчивого развития [1; 5; 32].

В обобщенном виде под ирригационным землепользованием понимается совокупность условий, форм и порядка использования орошаемых сельскохозяйственных земель в комплексе с другими природными ресурсами, включая меры по их сохранению и улучшению [20]. Таким образом, мы рассматриваем ирригационное землепользование как

*Междисциплинарные исследования
Орлова И.В.*

специфичный вид сельскохозяйственного природопользования, что, в свою очередь, требует его изучения на стыке физико-географических, экономико-географических, агромелиоративных и эколого-ландшафтных исследований и подходов.

Понимание того, что изучение отдельных аспектов функционирования сложных систем препятствует выявлению функциональных взаимосвязей между их структурными элементами, способствовало развитию в последние годы моделирования и разработки интегральных показателей, агрегирующих большой массив разнородной информации за счет использования трех функций: упрощения, количественной оценки и простого взаимодействия [27]. Интегральные показатели, позволяющие конденсировать огромную сложность изучаемой системы в управляемый объем значимой информации, являются не только предметом научного исследования в широком диапазоне дисциплин, но и важным инструментом для поддержки принятия управленческих решений [27; 31].

Отдельные характеристики ирригационного землепользования ранее уже включались в некоторые интегральные показатели. Например, показатель площади орошаемых земель составляет основу индекса интенсивности использования орошаемых земель [23]; размер и число поливаемых участков включены в индекс фрагментации земель для капельно-орошаемых полевых систем [29]; показатели доли орошаемых земель, водопользования и водопотребления учитываются в индексе водной бедности [31]; наличие дренажа рассматривается в индексе использования сельскохозяйственных земель для оценки влияния агрономических методов на качество воды [30]. Однако рассмотренные индексы разрабатывались в основном для решения проблем водопользования или сельскохозяйственного землепользования, не фокусируясь на геопространственной специфике функционирования именно ирригационного землепользования.

Между тем необходимость восстановления орошения земель в Российской Федерации (РФ), предусмотренная в государственных программах по развитию мелиорации земель сельскохозяйственного назначения [8], актуализировала потребность в разработке интегрального показателя для целей ирригационного землепользования. Особенно это актуально для Западной Сибири, которая включена в тройку приоритетных регионов по восстановлению орошаемых земель совместно с Северо-Кавказским и Поволжским регионами.

Как справедливо отмечают географы, несмотря на то, что «многие характеристики географических условий, ресурсов и ограничений для отдельных регионов уже хорошо известны, ... они не всегда эффективно учитываются и используются. В то же время ряд таких характеристик изменчив во времени, а многие существенно дифференцированы по территории» [2, с. 9], что затрудняет их анализ при принятии стратегических управленческих решений. Данная проблема обостряется тем, что такие интенсивные методы ведения сельского хозяйства, как орошение земель, часто наносят ущерб окружающей среде, что требует инструментов для поддержки политики по регулированию этой деятельности [35].

К настоящему времени для территории Западной Сибири накоплен огромный научный материал по географическому исследованию условий и факторов, определяющих использование орошаемых земель [3; 11; 12; 24] и др. Однако до сих пор не предложен инструмент, «сжимающий» большой объем важной географической информации в единый интегральный показатель ирригационного землепользования.

Цель работы: разработать методику построения и оценки интегрального показателя ирригационного землепользования, адаптированного к условиям муниципальных районов Западной Сибири, который агрегирует информацию о ключевых характеристиках, взаимосвязях и факторах геопространства, влияющих на территориальную специфику функционирования и дифференциации ирригационного землепользования на основе географического системного подхода.

Материалы и методы исследования

1. Методология и методы исследования. Теоретико-методологической основой исследования послужили теории и концепции изолированного государства [36]; поляризованного ландшафта и маргинальных территорий [7; 21]; изменений землепользования и устойчивого развития [20; 24; 37]; регионального развития и территориальной организации сельского хозяйства [2; 15; 19]; природно-хозяйственного районирования [9; 13]; геотехнической, эколого-мелиоративной и социально-экологической систем [1; 5; 32] и др.

В качестве основных методов исследования применялись общенаучные (сравнительно-географический, структурно-функциональный), математико-статистические (корреляционный анализ, метод главных компонент, кластерный анализ), картографические, социологические (анкетирование в виде интервью), системный и типологический подходы на основе сочетания количественной оценки и качественного анализа.

Разработка интегрального индекса осуществлялась в соответствии с общепринятыми методиками агрегирования нескольких показателей в один на основе опыта построения таких интегральных показателей, как индекс водной бедности [31]; индекс интенсивности управления землепользованием для сельскохозяйственных систем [26]; индекс фрагментации земель [29] и др.

Для реализации метода главных компонент использовано программное средство RStudio.

Критерии выбора показателей основаны на критериях Организации экономического сотрудничества и развития [34], а также принципах и требованиях, разработанных в предыдущих работах для построения интегральных составных индексов [22; 33]. Основными среди них являются: актуальность, доступность, измеримость, достоверность, понятность, сравнимость, взаимосвязанность, небольшая численность и др.

Кроме того, специфика ирригационного землепользования требует включения дополнительных критериев для выбора показателей:

1) применимость и представленность показателей в региональном масштабе на уровне муниципальных районов, рассматриваемого нами в качестве наиболее оптимального уровня регулирования в управлении природопользованием, обеспеченного статистической информацией;

2) возможность сравнения районов как с регулярно поливаемыми, так и неполиваемыми орошаемыми землями;

3) приоритетность отображения геопространственных составляющих и взаимосвязей ирригационного землепользования. В данном исследовании не рассматриваются агрономические, финансово-экономические, инженерно-технические аспекты возделывания поливаемых сельскохозяйственных культур или обслуживания оросительных систем, являющиеся предметом изучения других научных областей, таких как орошаемое земледелие или мелиоративное землеустройство;

4) возможность учета геоэкологических ограничений.

2. Область исследования. В область исследования включены 88 муниципальных районов с наличием орошаемых земель, которые, в свою очередь, входят в состав восьми регионов, полностью расположенных на территории Западной Сибири, ограниченной государственной границей РФ: Алтайского края, Республики Алтай, Кемеровской, Курганской, Новосибирской, Омской, Томской и Тюменской областей.

3. Источники данных. 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 (Мелиоводхозов), Федеральной службы

государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестра), Федерального агентства водных ресурсов (Росводресурсы), Федерального агентства по недропользованию (Роснедра), Российского федерального геологического фонда (Росгеолфонд), Федеральной службы государственной статистики (Росстата), региональных министерств природных ресурсов и экологии, сельского хозяйства и продовольствия (Минсельхозов), администраций регионов, муниципальных районов и сельскохозяйственных предприятий Западной Сибири, а также опубликованных литературных, фондовых и картографических данных.

Результаты и их обсуждение

В результате данного исследования разработана методика построения и оценки индекса ирригационного землепользования – ILUI (Irrigated Land Use Index), которая включает в себя следующие этапы:

1. Определение основных составляющих изучаемой системы. В своем выборе мы основывались на уже имеющемся наборе тем, которые изучены в предыдущих исследованиях, при этом сократили их число согласно тому, что «минимальное количество показателей концентрирует работу на важнейших из них и облегчает интерпретацию результатов» [22, с. 20].

В качестве основных тем для изучения ирригационного землепользования мы определили: процессы использования орошаемых земель, основные движущие силы, определяющие геоирригационную обстановку и влияющие на функционирование ирригационного землепользования, наличие пригодных, доступных и/или оборудованных для орошения земель и водоисточников, с учетом потребностей других водопользователей и некоторых геоэкологических ограничений. Под геоирригационной обстановкой в данном контексте мы понимаем пространственно-временную совокупность отношений между процессами, явлениями, условиями и факторами геопространства, в котором пребывает ирригационное землепользование.

2. Выбор показателей для агрегирования в интегральный индекс. В ходе настоящего исследования выбрано шесть (простых и составных) ключевых параметров, которые в наибольшей степени характеризуют специфику функционирования ирригационного землепользования в условиях Западной Сибири и отражают взаимосвязи между его основными компонентами (табл. 1).

Таблица 1

Структура индекса ирригационного землепользования (ILUI) и используемых данных
The structure of the irrigated land use index (ILUI) and the data used

<i>Исходный фактический показатель</i>	<i>Функция и характеристика параметра ILUI</i>	<i>Источники данных</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Параметр наличия орошаемых земель (P_1)		
Площадь орошаемых земель (без земель в неудовлетворительном мелиоративном состоянии), тыс. га	Наличие сельскохозяйственных площадей, пригодных по своим качественным характеристикам и мелиоративному состоянию, а также технически подготовленных и/или оборудованных для ирригационного использования. Как правило, такие земли обеспечены водоисточниками для орошения в составе действующих либо требующих реконструкции оросительных систем. Рассчитывается как разность между фактическим показателем общей площади орошаемых земель и площади в неудовлетворительном мелиоративном состоянии	Региональные управления Росреестра, Минсельхозов, Мелиоводхозов, Департамент мелиорации РФ, администрации муниципальных районов

Междисциплинарные исследования

Орлова И.В.

Окончание табл. 1

1	2	3
Параметр фактически поливаемых земель (P_2)		
Площадь фактически поливаемых земель, тыс. га	Фактическое использование и уровень интенсификации орошаемых земель, востребованность и экономическая целесообразность оросительных мелиораций; необходимость и заинтересованность сельхозпроизводителей в орошении, жизнеспособность оросительных систем, степень ирригационной нагрузки на окружающую среду	Региональные управления Минсельхозов, Мелиоводхозов, Департамент мелиорации РФ, администрации муниципальных районов и сельхозпредприятий
Параметр разрешенного объема годового водозабора на орошение (P_3)		
Разрешенный (проектный) объем годового водозабора на орошение, тыс. м ³	Верхний предел проектной обеспеченности пригодными для орошения водоисточниками, в составе действующих либо требующих реконструкции оросительных систем, с учетом водопотребности других водопользователей и норм стока. Рассчитывается как сумма нормированных показателей разрешенного объема годового водозабора на орошение из поверхностных и/или подземных водоисточников	Росводресурсы, Роснедра, Росгеолфонд, региональные управления Мелиоводхозов, региональные министерства природных ресурсов и экологии
Параметр значения животноводства (P_4)		
Поголовье скота, тыс. условных голов	Степень необходимости и потребности в устойчивом обеспечении поливными кормовыми культурами животноводческих отраслей сельского хозяйства, приобретающая критически важное значение в наиболее засушливые годы. Рассчитывается как сумма показателей поголовья крупного рогатого скота, лошадей, овец и свиней, пересчитанных в условные головы. В данный параметр не включен показатель поголовья птицы, так как основу их питательного рациона составляют концентрированные корма и зерновые культуры, которые в Западной Сибири практически не поливают	Росстат РФ
Параметр значения численности населения (P_5)		
Численность населения, тыс. чел.	Более высокая численность населения районов, примыкающих к крупнейшим городам, городским агломерациям и региональным центрам, служит функцией пригородного местоположения, которое определяет близость к крупным рынкам сбыта, более низкие транспортные издержки, более высокую потребность в поливных овощных культурах, более высокий уровень интенсификации отраслей сельского хозяйства по сравнению с другими, особенно периферийными районами	Росстат РФ
Параметр дефицита увлажнения в период вегетации (P_6)		
Среднегодовалая гидромелиоративная норма при оптимальном увлажнении почвы за период вегетации (май-август), мм	Недостаток влаги в критические периоды роста сельскохозяйственных культур, степень необходимости их дополнительного увлажнения и влияние засушливости природно-климатических условий на продуктивность земель	База данных ИВЭП СО РАН, литературные и картографические данные [11; 12]

Выбранные нами показатели, представленные в структуре ИЛУИ, по отдельности или в различных конфигурациях ранее изучались в качестве ключевых факторов и параметров использования орошаемых земель как в условиях Западной Сибири [3; 4; 11; 12], так и других областей земного шара [8; 23; 29; 31]. Однако в агрегированном виде данная структура для ирригационного землепользования предложена впервые, при этом предполагается, что каждый параметр отражает не одну, а несколько функций системы, а данные структуры ИЛУИ играют не менее важную роль для анализа, чем итоговый интегральный индекс (табл. 1).

В процессе исследования мы также изучили возможность включения в ИЛУИ финансово-экономических показателей, которые позволяют отразить экономическую

эффективность производства орошаемых сельскохозяйственных культур. Были рассмотрены такие показатели, как урожайность культур, уровень рентабельности, себестоимость и др. В результате нами был выявлен ряд существенных методических ограничений, препятствующих включению таких показателей в интегральный индекс, ориентированный на масштаб муниципальных районов.

Главная методическая проблема заключается в том, что невозможно сравнивать между собой районы, в которых орошаемые земли регулярно поливаются (а это всего 40% общего числа), и районы, в которых они не поливаются (60%), поскольку для таких районов актуальных финансово-экономических показателей не существует. Второе важное методическое ограничение связано с тем, что даже для районов, в которых орошаемые земли поливаются, финансово-экономическая информация может быть рассчитана только на уровне отдельного сельхозпредприятия или по отдельным орошаемым сельскохозяйственным культурам. Такая информация является конфиденциальной и не предоставляется государственными учреждениями. На проблему с доступом к таким финансово-экономическим показателям неоднократно указывали многие ученые [32; 35]; на сегодняшний день повсеместно она пока не решена. Так, на официальные запросы ИВЭП СО РАН финансово-экономическую информацию предоставили менее 7% опрошенных сельхозпредприятий Западной Сибири. Чаще всего руководители предприятий либо отвечают отказом в предоставлении необходимой информации, либо ведут финансово-экономический учет в целом по всем отраслям деятельности предприятия, не рассчитывая отдельно показатели только по производству орошаемых сельскохозяйственных культур.

Третья методическая проблема связана с высокой пространственно-временной вариацией финансово-экономических показателей как по разным орошаемым культурам, так и по разным предприятиям даже в одном и том же муниципальном районе, что обуславливает потерю информативности таких показателей в случае их усреднения до уровня района в целом. Не случайно практически во всех исследованиях финансово-экономические оценки эффективности орошения земель проводятся преимущественно в локальном масштабе (на уровне поля, фермы, сельхозпредприятия, оросительной системы) или на уровне отдельных сельскохозяйственных культур [14; 35].

Поэтому, исходя из этих соображений, мы не включаем финансово-экономические показатели в индекс *ILUI*, считая, что уровень рентабельности производства орошаемых культур или востребованность в орошении у сельхозпроизводителей конкретного района можно опосредованно отображать с помощью показателя площади фактически поливаемых земель, поскольку между ними существуют прямые взаимосвязи. Как уже было доказано, именно в районах с лучшими экономическими предпосылками для развития орошения земель складывается положительная динамика поливаемых площадей [13]. Таким образом, мы придерживаемся в данном вопросе позиции В.Л. Мартынова, согласно которой «по аналогии с “природа знает лучше” – “люди знают лучше”, развивать надо главным образом то, что развивается само» [10, с. 122]. Показатели, отражающие финансово-экономические аспекты функционирования ирригационного землепользования, целесообразнее рассчитывать на уровне сельхозпредприятия или отдельных поливаемых сельхозкультур и использовать в качестве самостоятельного инструмента сравнительного анализа.

2. Стандартизация (нормирование) выбранных показателей. Процедура нормировки используется с целью возможности сопоставления разнородных показателей [22]. Нормированные значения каждого из оцениваемых показателей P для i -го района рассчитываются по формуле (1)

$$P_i = \frac{X_i}{X_{cp}}, \quad (1)$$

где X_i – значение признака для i -го района; X_{cp} – среднее арифметическое значение признака для всех районов.

Анализ структуры ILUI позволяет выявлять значение каждого из параметров оценки: чем выше значение нормированного показателя, тем больше степень его влияния.

3. Изучение взаимосвязей между выбранными показателями на основе корреляционного анализа. Эта процедура применяется для выяснения формы и степени взаимосвязи между признаками изучаемого объекта [29].

В результате корреляционного анализа (по индексу Пирсона) установлена значимая положительная корреляция показателей площадей как орошаемых, так и фактически поливаемых земель с показателями поголовья скота (0,711 и 0,642, соответственно), а также с численностью населения (0,514 и 0,393) во всех пригородных районах. Эти же показатели отрицательно коррелировали с показателями численности населения в непригородных районах (-0,006 и -0,110), что подтверждает выводы других авторов о влиянии пригородного местоположения на интенсивность развития сельского хозяйства, включая орошение земель [6; 15]. Факт повышенной концентрации населения в пригородных районах рядом с крупнейшими городами является научно доказанным и подтвержденным многочисленными исследованиями [15]. Таким образом, показатель численности населения хорошо отражает влияние фактора пригородного местоположения и зависимость производства поливных сельхозкультур от близости крупных рынков сбыта.

Также в среднем по районам установлена положительная корреляция между фактически поливаемыми землями и поголовьем скота (0,421), что согласуется с результатами других исследований о взаимосвязях между развитием животноводства, потребностями в кормах и площадями поливаемых земель [8].

4. Построение формулы агрегирования показателей в индекс ирригационного землепользования (ILUI) на основе метода главных компонент. В нашем исследовании использование метода главных компонент [26] для уменьшения количества показателей и их объединения позволило выявить один ключевой фактор, который объясняет почти 50% (46,43%) дисперсии. Вклад каждой переменной в этом факторе мы считаем весовыми коэффициентами, а значение этого фактора интегральным показателем.

Тогда как первая главная компонента имеет максимальную выборочную дисперсию, остальные главные компоненты показывают значимое поведение только одного-двух показателей либо имеют собственные значения менее 1, что согласно [38] позволяет не использовать их при построении индекса. Например, вторая компонента обеспечивает ортогональность показателей дефицита увлажнения за вегетационный период (0,871) и численности населения (-0,677), а третья – поголовья скота (0,755) и разрешенного объема годового водозабора на орошение (-0,407). Поэтому мы используем значения только первой главной компоненты в качестве итогового индекса, поскольку она учитывает максимальное количество отклонений и позволяет уловить большую часть вариации исходных данных, как было показано в подходе Armengot et al., 2011 [26].

Таким образом, с учетом взвешивания компонентов на основе доли дисперсии разработана следующая формула расчета *ILUI* (2):

$$ILUI = 0,920P_1 + 0,890P_2 + 0,690P_3 + 0,601P_4 + 0,510P_5 + 0,165P_6, \quad (2)$$

где P_1 – P_6 – нормированные показатели (параметры), в том числе: P_1 – площадь орошаемых земель (без земель в неудовлетворительном мелиоративном состоянии); P_2 – площадь фактически поливаемых земель; P_3 – разрешенный (проектный) объем годового водозабора на орошение; P_4 – поголовье скота; P_5 – численность населения; P_6 – дефицит увлажнения за вегетационный период.

5. Ранжирование и группировка объектов анализа по рассчитываемому показателю с помощью типологического подхода и кластерного анализа.

Кластерный анализ, позволяющий выделять однородные в оценочном отношении группы территорий, выполнен методом *k*-средних, в котором для разбиения районов

Междисциплинарные исследования

Орлова И.В.

на N кластеров минимизируются их евклидовы расстояния до центров кластеров таким образом, что каждый объект подобен другим в кластере в соответствии с определенным критерием выбора [25].

Шкала итоговых значений ILUI разбита нами на четыре градации: 1) высокий (более 5,600 условных единиц); 2) выше среднего (2,610–5,600); 3) ниже среднего (1,610–2,600); 4) низкий (менее 1,600). В результате автоматического группирования муниципальных районов по выбранным переменным вычленено четыре группы муниципальных районов, различающихся по значениям составляющих параметров индекса ILUI: как по уровню использования орошаемых земель, так и по степени благоприятности сочетания параметров геоиригационной обстановки (рис., табл. 2).

Таблица 2

Распределение муниципальных районов Западной Сибири по группам
на основе индекса иригационного землепользования (ILUI)

Distribution of municipal districts of Western Siberia by groups based on the irrigated land use index (ILUI)

<i>Высокий (более 5,600)</i>	<i>ILUI</i>	<i>Выше среднего (2,610–5,600)</i>	<i>ILUI</i>	<i>Ниже среднего (1,610–2,600)</i>	<i>ILUI</i>	<i>Низкий (менее 1,600)</i>	<i>ILUI</i>
Омский	58,900	Славгородский (ныне ГО Славгород)	5,514	Куйбышевский	2,547	Купинский	1,540
Рубцовский	17,373	Таврический	5,367	Усть-Коксинский	2,527	Куртамышский	1,431
Немецкий национальный	16,095	Промышленновский	4,829	Михайловский	2,473	Топкинский	1,402
Новосибирский	12,133	Черлакский	4,548	Большереченский	2,463	Гурьевский	1,398
Венгеровский	10,784	Кемеровский	4,395	Калачинский	2,447	Барабинский	1,379
Кош-Агачский	10,772	Нововаршавский	4,199	Бурлинский	2,393	Притобольный	1,365
Ключевский	8,079	Кетовский	4,099	Усть-Таркский	2,359	Ленинск- Кузнецкий	1,356
Родинский	7,337	Карасукский	4,045	Колыванский	2,349	Саргатский	1,323
Первомайский	7,279	Благовещенский	3,999	Крапивинский	2,337	Маслянинский	1,268
Ордынский	7,253	Павловский	3,683	Прокопьевский	2,303	Ребрихинский	1,265
Томский	6,730	Новокузнецкий	3,616	Тогучинский	2,273	Табунский	1,254
Упоровский	5,617	Усть-Канский	3,538	Каргапольский	2,243	Баганский	1,236
–	–	Хабарский	3,352	Сузунский	2,196	Мариинский	1,232
–	–	Нижнеомский	3,182	Черепановский	2,174	Муромцевский	1,184
–	–	Тюменский	3,167	Третьяковский	2,101	Чановский	1,170
–	–	Беловский	3,062	Локтевский	2,097	Здвинский	1,126
–	–	Искитимский	2,983	Кочневский	2,073	Тюкалинский	1,093
–	–	Угловский	2,859	Горьковский	1,994	Усть- Калманский	1,072
–	–	Любинский	2,662	Азовский- Немецкий	1,983	Советский	1,051
–	–	Каменский	2,657	Татарский	1,955	Ялutorовский	1,034
–	–	–	–	Шипуновский	1,917	Юргинский	1,017
–	–	–	–	Мошковский	1,783	Косихинский	1,015
–	–	–	–	Бийский	1,768	Романовский	0,998
–	–	–	–	Кулундинский	1,759	Крутихинский	0,967
–	–	–	–	Поспелихинский	1,649	Яшкинский	0,956
–	–	–	–	–	–	Шатровский	0,946
–	–	–	–	–	–	Далматовский	0,941
–	–	–	–	–	–	Егорьевский	0,862
–	–	–	–	–	–	Белозерский	0,811
–	–	–	–	–	–	Яйский	0,759
–	–	–	–	–	–	Чемальский	0,640

В первую группу с высокими значениями ΠUI , отражающими высокий уровень использования орошаемых земель и благоприятное сочетание параметров геоирригационной обстановки, вошли пригородные районы крупнейших региональных центров Западной Сибири (Омский, Новосибирский, Первомайский и др.) с развитым поливным картофелеводством, овощеводством, а также районы с развитым животноводством (Кош-Агачский, Венгеровский, Немецкий национальный и др.), где полив кормовых культур является жизненно важной необходимостью на фоне высокого дефицита увлажнения в вегетационный период (табл. 2). Во всех районах первой группы орошаемые земли регулярно поливают и площади полива весьма значительны, также здесь в последние годы активно происходит реконструкция оросительных систем (Омский, Рубцовский районы). Предпосылки для функционирования ирригационного землепользования в целом настолько благоприятны, что даже в годы повсеместного широкомасштабного списания орошаемых земель после распада СССР здесь сохранились довольно значительные их площади.

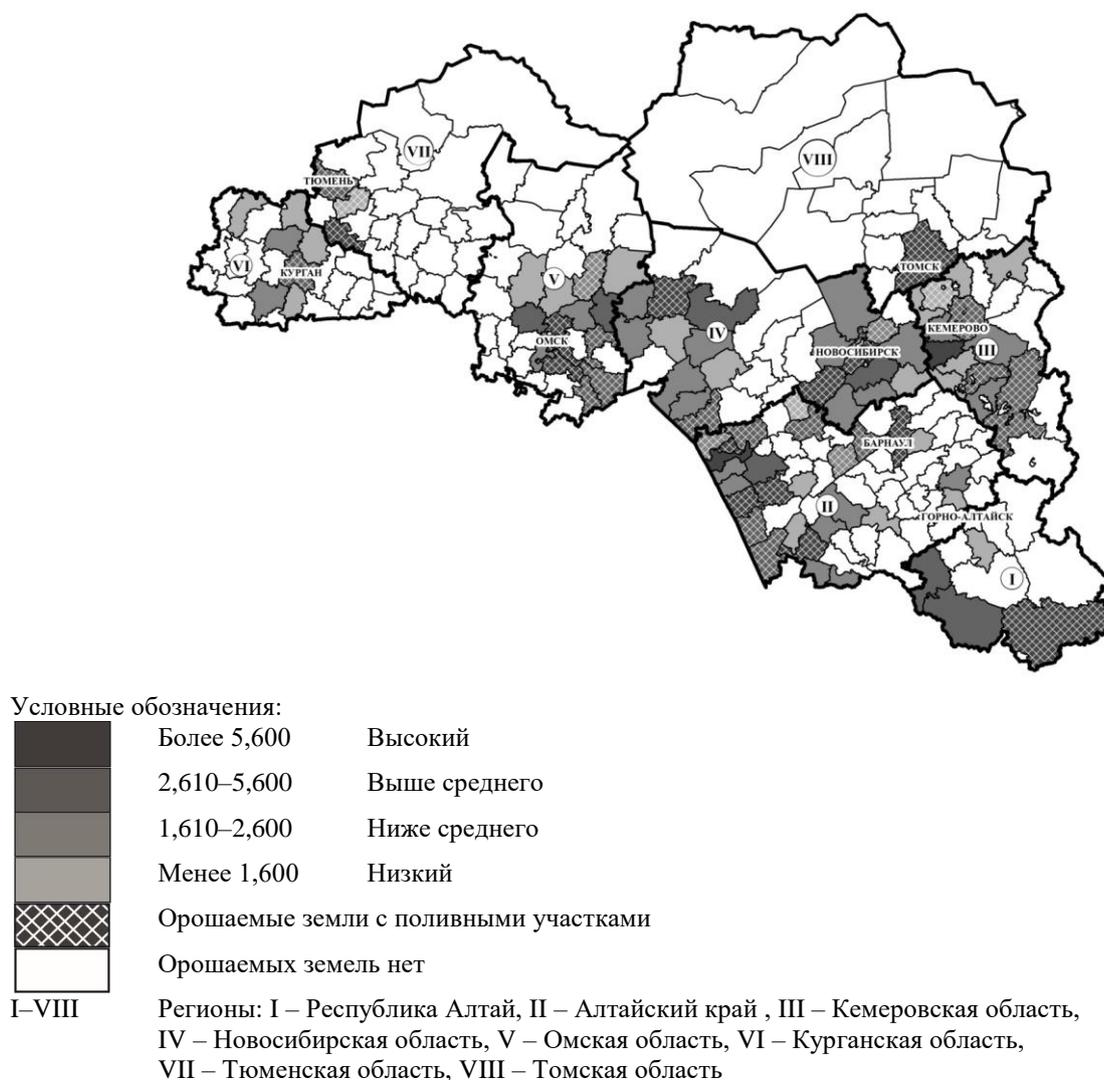


Рис. Индекс ирригационного землепользования муниципальных районов Западной Сибири

Fig. Irrigated land use index for municipal districts of Western Siberia

Во второй группе с ΠUI выше среднего наблюдается схожая территориальная дифференциация ирригационного землепользования на пригородный тип (Кемеровский,

Тюменский, Павловский и др. районы) и животноводческий в районах с высоким дефицитом увлажнения (Карасукский, Хабарский и др.). Но в отличие от первой группы орошаемые земли регулярно поливаются не повсеместно, а только в 67% районов. В остальных 33% районов полив земель в последние годы не осуществляется либо по причине необходимости реконструкции оросительных систем (Любинский, Промышленновский), либо по экономическим причинам из-за недостатка средств у сельхозпроизводителей (Усть-Канский, Благовещенский). Однако по совокупности многих параметров в районах второй группы наблюдается довольно благоприятная геоиригационная обстановка для восстановления и дальнейшего развития орошения земель, которая требует, прежде всего, программ развития животноводства и финансовой поддержки государства для сельхозпроизводителей [8].

В районах третьей и четвертой групп со значениями ILUI ниже среднего и низкими современная геоиригационная обстановка в целом неблагоприятна для развития иригационного землепользования. Наиболее ярко это отражается в распределении показателя фактически поливаемых земель, который наблюдается только в 20% районов каждой из групп, при этом в большинстве площадь полива составляет менее 100 га. Кроме экономических причин здесь чаще наблюдаются низкие показатели численности населения и поголовья скота, отражающие удаленное положение от региональных центров и упадок в животноводческих отраслях, наряду с этим в ряде районов отмечается недостаточно высокий для полива кормовых культур дефицит увлажнения в вегетационный период. Во многих районах четвертой группы (Чановский, Барабинский, Купинский, Советский, Юргинский, Тюкалинский, Яйский, Мариинский, Белозерский, Чемальский и др.) фактически нет поливаемых земель, а оставшиеся площади орошаемых не превышают и 100 га. Более того, по официальной информации администраций этих районов, в ближайшие годы восстановление орошения земель здесь даже не планируется. Разница между районами третьей и четвертой групп заключается, прежде всего, в том, что в ряде районов третьей группы еще с советских времен сохранились большие площади орошаемых земель, а также наблюдается несколько более благоприятное сочетание отдельных параметров геоиригационной обстановки.

Так, например, иригационное землепользование Михайловского района, расположенного в самой засушливой зоне Алтайского края с высоким значением дефицита увлажнения, характеризуется высокими показателями наличия орошаемых площадей и водных ресурсов из подземных водоисточников, но при этом низкими значениями численности населения, поголовья скота и практически отсутствием фактически поливаемых земель (табл. 3). Между тем в советский период при высоком уровне развития животноводческих отраслей в этом районе (36,051 тыс. усл. гол. в 1990 г. по сравнению с 14,468 тыс. усл. гол. в настоящее время) площади поливаемых земель достигали 7,022 тыс. га (по данным ФГБУ Управление «Алтаймелиоводхоз»). На сегодняшний день животноводческая отрасль района находится в упадке, что является ключевым фактором отсутствия здесь развитого регулярного орошения земель.

ILUI любого района способен отразить аналогичную динамику землепользования и спрогнозировать уровень его функционирования в будущем при изменении каких-либо параметров, например, при росте численности скота в случае развития животноводческих отраслей и, соответственно, поливных площадей.

В целом данные ILUI отражают довольно большие различия между иригационным землепользованием первой и четвертой группами районов Западной Сибири. Особенно наглядно это показывает сравнение структуры наибольшего ILUI (59,900) для Омского района (Омская область), который отличается наиболее высоким уровнем использования орошаемых земель и благоприятным сочетанием параметров геоиригационной обстановки и наименьшего ILUI (0,640) для Чемальского района (Республика Алтай),

Междисциплинарные исследования

Орлова И.В.

в котором сохранившиеся орошаемые площади в размере 75 га совсем не поливаются, а ключевые параметры геоирригационной обстановки (дефицит увлажнения в вегетационный период, численность населения и поголовья скота) – одни из самых низких в Западной Сибири (табл. 3).

Таблица 3

Значение индекса ирригационного землепользования (ILUI) и параметры его структуры на примере репрезентативных муниципальных районов Западной Сибири
The irrigated land use index (ILUI) and the parameters of its structure on the example of representative municipal districts of Western Siberia

Муниципальный район	Регион	Исходный показатель / Нормированный параметр (P ₁ -P ₆)						ILUI
		Площадь орошаемых земель*, тыс. га/P ₁	Площадь фактически поливаемых земель**, тыс. га/P ₂	Разрешенный объем годового водозабора на орошение, тыс. м ³ /P ₃	Поголовье скота, тыс. условных голов**/P ₄	Численность населения***, тыс. чел./P ₅	Дефицит увлажнения в вегетационный период, мм/P ₆	
Высокий								
Омский	Омская область	32,908/ 13,531	29,680/ 40,108	29769/ 8,877	88,083/ 4,021	100,648/ 3,230	-300/ 1,010	58,900
Кош-Агачский	Республика Алтай	4,674/ 1,922	3,400/ 4,595	8800/ 2,624	87,724/ 4,004	19,188/ 0,616	-600/ 2,021	10,772
Первомайский	Алтайский край	4,736/ 1,947	2,409/ 3,255	6020/ 1,795	9,509/ 0,434	54,256/ 1,741	-300/ 1,010	7,279
Выше среднего								
Кемеровский	Кемеровская область	2,830/ 1,164	1,246/ 1,684	2700/ 0,805	13,377/ 0,611	46,521/ 1,493	-220/ 0,741	4,395
Кетовский	Курганская область	1,272/ 0,523	1,272/ 1,719	2786/ 0,831	10,977/ 0,501	61,829/ 1,984	-330/ 1,111	4,099
Карасукский	Новосибирская область	3,813/ 1,568	0,514/ 0,695	1121/ 0,334	30,063/ 1,372	43,230/ 1,387	-375/ 1,263	4,045
Ниже среднего								
Михайловский	Алтайский край	2,194/ 0,902	0,056/ 0,076	3070/ 0,915	14,468/ 0,660	19,574/ 0,628	-400/ 1,347	2,473
Крапивинский	Кемеровская область	2,789/ 1,147	0/ 0	1800/ 0,537	15,133/ 0,691	23,229/ 0,746	-200/ 0,674	2,337
Каргопольский	Курганская область	1,703/ 0,700	0/ 0	3750/ 1,118	5,976/ 0,273	30,161/ 0,968	-300/ 1,010	2,243
Низкий								
Тюкалинский	Омская область	0,248/ 0,102	0/ 0	0/ 0	16,928/ 0,773	23,284/ 0,747	-275/ 0,926	1,093
Ялуторовский	Тюменская область	0,259/ 0,106	0,060/ 0,081	280/ 0,083	15,148/ 0,691	14,417/ 0,463	-275/ 0,926	1,034
Чемальский	Республика Алтай	0,075/ 0,031	0/ 0	272/ 0,081	9,968/ 0,455	10,395/ 0,334	-200/ 0,674	0,640

Примечание: * – в среднем за 2016–2018 гг. (без земель в неудовлетворительном мелиоративном состоянии); ** – в среднем за 2016–2018 гг.; *** – по состоянию на 01.01.2019 г.

Note: * - on average for the period 2016-2018 (excluding lands in unsatisfactory reclamation state); ** - on average for 2016-2018; *** - as of 1 January 2019.

Однако между показателями ILUI третьей и четвертой групп, в которых сосредоточено значительное большинство (63,6%) всех изучаемых муниципальных районов Западной Сибири, больших различий нет, так как орошение земель здесь находится практически повсеместно в упадке. Значения ILUI выше среднего наблюдаются в 20 районах (22,7%), а высокие – только в 12 районах (13,6%) Западной Сибири.

По сравнению с предварительно разработанным алгоритмом оценки ILUI, в котором

еще не применялось взвешивание выбранных показателей с помощью метода главных компонент и не использовался показатель разрешенного объема годового водозабора на орошение [16], представленная здесь усовершенствованная и дополненная методика позволяет более точно ранжировать и сравнивать районы Западной Сибири как по уровню развития ирригационного землепользования, так и по степени благоприятности геоиригационной обстановки для его функционирования.

Выводы

В настоящем исследовании впервые предложена методика построения и оценки индекса ирригационного землепользования (ILUI), который представляет собой показатель, интегрирующий информацию как об уровне использования орошаемых земель, так и об основных параметрах и взаимосвязях, отражающих благоприятность геоиригационной обстановки для функционирования ирригационного землепользования.

В результате проведенной оценки выделены четыре группы муниципальных районов Западной Сибири: с высокими, выше среднего, ниже среднего и низкими значениями ILUI, которые ориентируют на выявление как наиболее перспективных районов – своеобразных «точек роста» – для дальнейшего развития орошения земель, так и районов, где для такого развития пока нет благоприятных условий. При этом, если итоговое значение ILUI в большей степени помогает в ранжировании, группировке и сравнении муниципальных районов, то анализ его структуры позволяет выявлять взаимосвязи между параметрами геоиригационной обстановки и территориальной спецификой уровня использования орошаемых земель. Это позволяет избежать неправильной интерпретации интегрального показателя, что является довольно распространенной проблемой сильно агрегированных индексов [33]. Кроме того, каждый параметр, включенный в структуру ILUI, также может служить самостоятельным инструментом анализа и мониторинга, как это было продемонстрировано в других наборах индикаторов [33; 35].

Поскольку ILUI отражает уровень использования орошаемых земель, он может служить в качестве инструмента для выявления территорий, для которых требуется разработка геоэкологических ограничений использования ирригационно-ресурсного потенциала территории [17; 18]. Поэтому необходимы дальнейшие исследования геоэкологических ограничений использования орошаемых земель и включения таких параметров в структуру ILUI. С этой же целью требуется разработка более эффективных стратегий устойчивого развития для каждого типа ирригационного землепользования. Так, например, если в условиях ирригационного землепользования районов первой и второй групп можно рекомендовать внедрение более дорогостоящих, но при этом ресурсосберегающих «точных» оросительных систем, то в условиях землепользования районов третьей и четвертой групп, где пока нецелесообразно регулярное широкомасштабное орошение земель и недостаточно экономических предпосылок для его развития, более необходимым представляется освоение таких альтернативных видов орошения, как дефицитное, мелко мозаичное и циклическое. Такой подход позволит не только более эффективно развивать ирригационное землепользование, но и ограничивать его неоправданное расширение, негативно воздействующее на окружающую среду.

Список источников

1. Аношко В.С. Мелиоративно-географическое направление – объективная необходимость развития географической науки Белоруссии в XX столетии // Вестник Белорусского государственного ун-та. Сер. 2. 2013. № 2. С. 86–90.
2. Артоболевский С.С., Бабурин В.Л., Бакланов П.Я., Касимов Н.С., Колосов В.А., Котляков В.М., Люри Д.И., Тишков А.А. Стратегии пространственного развития в Российской Федерации: географические ресурсы и ограничения // Известия РАН. Серия географическая. 2009. № 3. С. 8–17.

3. Батаев А.А., Устинов М.Т. Мелиорация в Новосибирской области // Мелиоративные и водохозяйственные проблемы Сибири. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1989. С. 117–129.
4. Березин Л.В., Семенов А.М., Троценко И.А. Актуальные проблемы использования мелиорируемых земель в Западной Сибири // Мелиорация и водное хозяйство. 2008. № 1. С. 14–17.
5. Дьяконов К.Н. Становление концепции геотехнической системы // Вопросы географии. 1978. № 108. С. 45–63.
6. Жилдикбаева А.Н., Глушань Л.А. Особенности землепользования в пригородной зоне Алматинской области Республики Казахстан // Проблемы агрорынка. 2020. № 2. С. 147–153.
7. Зырянов А.И. Маргинальные территории // Географический вестник. 2008. № 2(8). С. 9–20.
8. Колганов А.В., Сухой Н.А., Шкура В.Н., Щедрин В.Н. Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 220 с.
9. Красноярова Б.А., Платонова С.Г., Шарабарина С.Н., Скрипко В.В., Архипова И.В. Природно-хозяйственное районирование Западной Сибири // Географический вестник. 2018. № 1(44). С. 64–72.
10. Мартынов В.Л. Российская социально-экономическая география: современное состояние, основные проблемы и перспективы развития // Балтийский регион. 2015. № 2(24). С. 109–126.
11. Мезенцев В.С. Гидролого-климатические основы проектирования гидромелиораций. Омск: ОмСХИ, 1993. 128 с.
12. Мезенцева О.В. Географические закономерности зоны оптимальных гидролого-климатических условий для аграрного природопользования (на примере Западной Сибири): автореф. дисс. ... д-ра геогр. наук: 25.00.36. Томск, 2010. 45 с.
13. Наумов А.С. Районная парадигма в географии мирового сельского хозяйства: история и современность // Региональные исследования. 2015. № 2(48). С. 15–25.
14. Несмысленов А.П., Шеленок А.В., Новикова С.М. Оценка финансовой устойчивости функционирования орошаемого земледелия // Аграрный научный журнал. 2018. № 11. С. 96–100.
15. Нефедова Т.Г. Основные тенденции изменения социально-экономического пространства сельской России // Известия РАН. Серия географическая. 2012. № 3. С. 5–21.
16. Орлова И.В. Индекс ирригационного землепользования как инструмент управления устойчивым развитием орошаемого земледелия // Никоновские чтения. 2018. № 23. С. 220–222.
17. Орлова И.В. Методические подходы к оценке пригодности территории Обь-Иртышского бассейна для развития орошаемого земледелия // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 1(25). С. 14–31.
18. Орлова И.В. Опустынивание в степной зоне Алтайского края: проблемы и пути их решения // Мелиорация и водное хозяйство. 2005. № 1. С. 13–15.
19. Ракитников А.Н. География сельского хозяйства (проблемы и методы исследования). М.: Мысль, 1970. 342 с.
20. Реймерс Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
21. Родоман Б.Б. Поляризация ландшафта как средство сохранения биосферы и рекреационных ресурсов // Ресурсы, среда, расселение. М.: Наука, 1974. С. 150–162.
22. Тикунов В.С., Черешня О.Ю. Индекс социального развития регионов Российской Федерации // Известия РАН. Серия географическая. 2016. № 1. С. 19–24.
23. Федорко В.Н. Географические подходы к оценке и анализу интенсивности сельскохозяйственного землепользования в Низовьях Амударьи // Проблемы и пути социально-экономического развития: город, регион, страна, мир: III межд. науч.-практ. конф., 28 декабря 2012 г.: сб. ст. / под общ. ред. проф. В.Н. Скворцова; отв. ред. Н.М. Космачева. СПб.: Изд-во Ленинград. гос. ун-та им. А.С. Пушкина, 2013. С. 75–83.
24. Шапорина Н.А., Сайб Е.А., Соловьев С.В., Филимонова Д.А., Безбородова А.Н., Миллер Г.Ф. Анализ изученности эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель юга Западной Сибири // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 4(40). С. 161–181.
25. Шитиков В.К., Мاستицкий С.Э. Классификация, регрессия и другие алгоритмы Data

Mining с использованием R. Тольятти, Лондон: Creative Commons, 2017. 351 с. [Электронная книга], URL: <https://github.com/ranalytics/data-mining> (дата обращения: 21.08.2021).

26. *Armengot L., José-María L., Blanco-Moreno J.M., Bassa M., Chamorro L., Xavier Sans F.* A novel index of land use intensity for organic and conventional farming of Mediterranean cereal fields // *Agronomy for sustainable development*. 2011. No. 31(4). P. 699–707.

27. *Cruz J.F., Mena Y., Rodríguez-Estévez V.* Methodologies for Assessing Sustainability in Farming Systems // *Sustainability Assessment and Reporting / Gokten S. and Gokten P.O. (ed.)*. London: IntechOpen Limited, United Kingdom, 2018. No. 3. P. 33–58.

28. *Hanjra M., Qureshi M.E.* Global water crisis and future food security in an era of climate change // *Food Policy*. 2010. Vol. 35. P. 365–377.

29. *Heider K., Lopez R., Aviles G., Balbo A.* Land fragmentation index for drip-irrigated field systems in the Mediterranean: A case study from Ricote (Murcia, SE Spain) // *Agricultural systems*. 2018. Vol. 166. P. 48–56.

30. *Jackson E.N. et al.* (Mentor: D.S. Henshel). State Sustainability Index // *Indiana University School of Public and Environmental Affairs Combined Capstone Report (December 16, 2016)*. Indiana: Indiana University, USA, 2016. 496 p.

31. *Lawrence P., Meigh J., Sullivan C.* The Water Poverty Index: International Comparisons. Keele: Keele University, United Kingdom, 2002. 24 p.

32. *McGinnis M.D., Ostrom E.* Social-ecological system framework: Initial changes and continuing challenges // *Ecology and Society*. 2014. No. 19(2). P. 30.

33. *Meul M., Van Passel S., Nevens F., Dessein J., Rogge E., Mulier A., Van Hauwermeiren A.* MOTIFS: A monitoring tool for integrated farm sustainability // *Agronomy for Sustainable Development*. 2008. Vol. 28. P. 321–332.

34. OECD (1999), Environmental indicators for agriculture. Concepts and Framework. Organization for Economic Co-operation and Development. Vol. 1. Paris: OECD Publications, France, 1999. 46 p.

35. *Parra L., Botella-Campos M., Puerto H., Roig-Merino B., Lloret J.* Evaluating Irrigation Efficiency with Performance Indicators: A Case Study of Citrus in the East of Spain // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. No. 9. P. 1359.

36. *Thünen J.H. von.* Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie. Jena: Waenting-Ausgabe, 1921. S. 403.

37. *Verburg P.H., Van Berkel D.B., van Doorn A.M., van Eupen M., van den Heiligenberg H.A.R.M.* Trajectories of land use change in Europe: a model-based exploration of rural futures // *Landscape Ecology*. 2010. Vol. 25. P. 217–232.

38. *Zhang W., Li H.* Characterizing and Assessing the Agricultural Land Use Intensity of the Beijing Mountainous Region // *Sustainability*. 2016. Vol. 8. No. 11. P. 1180. Available at: <https://doi.org/10.3390/su8111180> (accessed 21.08.2021).

References

1. Anoshko, V.S. (2013), Reclamation-geographical direction – an objective necessity for the development of the geographical science of Belarus in the XX century, *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta*, seriya 2, no. 2, pp. 86–90.

2. Artobolevskii, S.S., Baburin, V.L., Baklanov, P.Ya., Kasimov, N.S., Kolosov, V.A., Kotlyakov, V.M., Lyuri, D.I., Tishkov, A.A. (2009), Strategy of spatial development in the Russian Federation: Geographical resources and limitations, *Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaja*, no. 3, pp. 8–17.

3. Bataev, A.A., Ustinov, M.T. (1989), Reclamation in the Novosibirsk region, *Meliorativnye i vodokhozyaistvennye problemy Sibiri* [Reclamation and water management problems of Siberia], Nauka, Sibirskoe otdelenie, Novosibirsk, USSR, pp. 117–129.

4. Berezin, L.V., Semenenko, A.M., Trotsenko, I.A. (2008), Problems of reclaimed solonetz using at West Siberia, *Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo*, no. 1, pp. 14–17.

5. Dyakonov, K.N. (1978), Formation of the concept of a geotechnical system, *Voprosy geografii*, no. 108, pp. 45–63.

6. Zhildikbaeva, A.N., Glushan, L.A. (2020), Features of land use in the suburban area of the Almaty region of the Republic of Kazakhstan, *Problemy agrorynka*, no. 2, pp. 147–153.
7. Zyryanov, A.I. (2008), Marginal territories, *Geograficheskij vestnik* = Geographical bulletin, no. 2(8). pp. 9–20.
8. Kolganov, A.V., Sukhoi, N.A., Shkura, V.N., Shchedrin, V.N. (2016), *Razvitie melioratsii zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya v Rossii*, [Development of land reclamation for agricultural land in Russia], FGBNU Rosinformagrotekh, Moscow, Russia.
9. Krasnoyarova, B.A., Platonova, S.G., Sharabarina, S.N., Skripko, V.V., Arkhipova, I.V. (2018), Natural-Economic zoning of West Siberia, *Geograficheskij vestnik*, no. 1(44), pp. 64–72.
10. Martynov, V.L. (2015), Russian socio-economic geography: status, challenges, perspectives, *Baltic Region*, no. 2(24), pp.109–126.
11. Mezentsev, V.S. (1993), *Gidrologo-klimaticheskie osnovy proektirovaniya gidromelioratsii* [Hydrological and climatic foundations of hydromelioration design], Omsk Agricultural Institute, Omsk, USSR.
12. Mezentseva, O.V. (2010), Geographic patterns of optimal zone of hydrological and climatic conditions for agricultural nature management (on the example of West Siberia), Abstract of D.Sc. dissertation, Geoecology (Earth sciences), Omsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia.
13. Naumov, A.S. (2015), Regional paradigm in the agricultural geography of the world: history and present, *Regionalnye issledovaniya*, no. 2(48). pp. 15–25.
14. Nesmyslenov, A.P., Shelenok, A.V., Novikova, S.M. (2018), Estimation of financial stability functioning of irrigated agriculture, *The Agrarian Scientific Journal*, no. 11, pp. 96–100.
15. Nefedova, T.G. (2012), Major trends for changes in the socioeconomic space of rural Russia, *Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaja*, no. 3, pp. 5–21.
16. Orlova, I.V. (2018), Irrigated Land Use Index as a Tool for Sustainable Development Management of Irrigated Agriculture, *Nikonovskie chteniya*, no. 23, pp. 220–222.
17. Orlova, I.V. (2017), Methodological approaches to assessment of the Ob-Irtysh basin availability for irrigated agricultural development, *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*, no. 1(25), pp. 14–31.
18. Orlova, I.V. (2005), Desertification in the steppe zone of the Altai Territory: problems and solutions, *Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo*, no. 1, pp. 13–15.
19. Rakitnikov, A.N. (1970), *Geografiya sel'skogo khozyaistva (problemy i metody issledovaniya)* [Geography of agriculture (problems and research methods)], Mysl, Moscow, USSR.
20. Reimers, N.F. (1990), *Prirodopol'zovanie: Slovar'-spravochnik* [Nature management: dictionary-reference], Mysl, Moscow, USSR.
21. Rodoman, B.B. (1974), Landscape polarization as a means of preserving the biosphere and recreational resources, *Resursy, sreda, rasselenie* [Resources, environment, resettlement], Nauka, Moscow, USSR, pp. 150–162.
22. Tikunov, V.S., Cheresnaya, O.Yu. (2016), Social development index of regions of Russian Federation, *Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaja*, no. 1, pp. 19–24.
23. Fedorko, V.N. (2013), Geographic approaches to the assessment and analysis of intensity of agricultural land use in the lower reaches of the Amudarya, *Problemy i puti sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya: gorod, region, strana, mir* [Problems and ways of socio-economic development: city, region, country, world], *III mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [III international scientific and practical conference], St. Petersburg, Russia, December 28, pp. 75–83.
24. Shaporina, N.A., Sayb, E.A., Solovyev, S.V., Filimonova, D.A., Bezborodova, A.N., Miller, G.F. (2020), State of knowledge analysis of the ecological and reclamation state of irrigated lands in the south of Western Siberia, *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*, no. 4(40), pp. 161–181.
25. Shitikov, V.K., Mastitsky, S.E. (2017), *Klassifikatsiya, regressiya i drugie algoritmy Data Mining s ispol'zovaniem R* [Classification, regression and other Data Mining algorithms using R],

Creative Commons, Tolyatti, Russia, available at: <https://github.com/ranalytics/data-mining> (Accessed 21 August 2021).

26. Armengot, L., José-María, L., Blanco-Moreno, J.M., Bassa, M., Chamorro, L., Xavier Sans, F. (2011), A novel index of land use intensity for organic and conventional farming of Mediterranean cereal fields, *Agronomy for sustainable development*, no. 31(4), pp. 699–707.

27. Cruz, J.F., Mena, Y., Rodríguez-Estévez V. (2018), Methodologies for Assessing Sustainability in Farming Systems, in Gokten S. and Gokten P.O. (ed.), *Sustainability Assessment and Reporting*, IntechOpen Limited, London, United Kingdom, no. 3, pp. 33–58.

28. Hanjra, M., Qureshi, M.E. (2010), Global water crisis and future food security in an era of climate change, *Food Policy*, vol. 35, pp. 365–377.

29. Heider, K., Lopez, R., Aviles, G., Balbo, A. (2018), Land fragmentation index for drip-irrigated field systems in the Mediterranean: A case study from Ricote (Murcia, SE Spain), *Agricultural systems*, vol. 166, pp. 48–56.

30. Jackson, E.N. et al. (Mentor: Henshel, D.S.) (2016), State Sustainability Index, *Indiana University School of Public and Environmental Affairs Combined Capstone Report (December 16, 2016)*, Indiana University, Indiana, USA.

31. Lawrence, P., Meigh, J., Sullivan, C. (2003). *The Water Poverty Index: International Comparisons*, Keele University, Keele, United Kingdom.

32. McGinnis, M.D., Ostrom, E. (2014), Social-ecological system framework: Initial changes and continuing challenges, *Ecology and Society*, vol. 19(2), p. 30.

33. Meul, M., Van Passel, S., Nevens, F., Dessen, J., Rogge, E., Mulier, A., Van Hauwermeiren, A. (2008), MOTIFS: A monitoring tool for integrated farm sustainability, *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 28, pp. 321–332.

34. OECD (1999), Environmental indicators for agriculture. Concepts and Framework, OECD Publications, Paris, France, vol. 1. p. 46.

35. Parra, L., Botella-Campos, M., Puerto, H., Roig-Merino, B., Lloret, J. (2020), Evaluating Irrigation Efficiency with Performance Indicators: A Case Study of Citrus in the East of Spain, *Agronomy*, vol. 10, no. 9, p. 1359.

36. Thünen, J.H. von (1921), *Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*, Waenting-Ausgabe, Jena, Germany.

37. Verburg, P.H., Van Berkel, D.B., van Doorn, A.M., van Eupen, M., van den Heiligenberg, H.A.R.M. (2010), Trajectories of land use change in Europe: a model-based exploration of rural futures, *Landscape Ecology*, vol. 25, pp. 217–232.

38. Zhang W., Li H. (2016), Characterizing and Assessing the Agricultural Land Use Intensity of the Beijing Mountainous Region, *Sustainability*, vol. 8, no. 11, p. 1180, available at: <https://doi.org/10.3390/su8111180> (Accessed 21.08.2021).

Статья поступила в редакцию: 23.08.21; одобрена после рецензирования: 05.12.2021; принята к опубликованию: 09.03.2022.

The article was submitted: 23 August 2021; approved after review: 5 December 2021; accepted for publication: 9 March 2022.

Информация об авторе

Инна Владимировна Орлова

к.г.н., научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки, Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской Академии наук (ИВЭП СО РАН);

656038, Россия, Барнаул, ул. Молодежная, 1

Information about the author

Inna V. Orlova

Candidate of Geographical Sciences, Researcher, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;

1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038, Russia

e-mail: inna_orlova11@mail.ru