

Айткалиева Айгерим Айткалиевна - Сынамаларға жүргізілетін анализдерге арналған әдістемелік-нормативтік құжаттарды дайындау, алынған нәтижелерді хаттамаға рәсімдеу, мәліметтерді статистикалық өңдеу және ғылыми интерпретация жасауға қатысу.

Аблайсанова Гульмира Мухамбеталиевна - Ғылыми-зерттеу жұмыстарына қатысу, гидрохимиялық сынамаларды іріктеу, іріктелген сынамаларды камералды жұмыстарға дайындау және хлороформ ерітіндісінің көмегімен фиксациялау, алынған нәтижелерді талдау және қорытынды жасауға қатысу.

МРНТИ 70.01.77

DOI <https://doi.org/10.37884/3-2025/54>

Ж.С.Мустафаев¹, А.Е.Алдиярова^{2}*

*¹АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан,
z-mustafa@rambler.ru*

²НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Алматы, Казахстан; ainura.aldiarova@kaznaru.edu.kz

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИРРИГАЦИОННО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ ВОДОСБОРА РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ

Аннотация

На основе материалистической теории научного познания, включающей моделирование, анализ, синтез и оценку, в работе научно обоснованы теоретико-методологические аспекты оценки ирригационно-ресурсного потенциала территории водосбора речных бассейнов. Цель исследования заключается в определении места ирригационно-ресурсного потенциала в системе природно-ресурсного потенциала территории посредством анализа его сущности и разработки методического подхода к его комплексной оценке. На основе анализа подхода, разработанного И.В.Орловой, в рамках которого ирригационно-ресурсный потенциал представлен через взаимосвязанные компоненты: водно-ирригационный, земельно-ирригационный, технико-ирригационный, экономико-ирригационный и ассимиляционный потенциал, учитываются процессы, происходящие внутри природных систем, а также геоэкологические ограничения. Для моделирования и количественной оценки использована функция желательности Харрингтона, которая позволяет производить моделирование с использованием факторов различной размерности и диапазона значений варьируемых переменных. Отсутствие единых алгоритмов анализа и прогнозирования обуславливает необходимость создания новых математических моделей. Предложенный методический подход обеспечивает более точную оценку ирригационно-ресурсного потенциала, что особенно актуально в условиях устойчивого природопользования и повышения эффективности управления водосборными территориями.

Ключевые слова: *природно-ресурсный потенциал, ирригационно-ресурсный потенциал, речной бассейн, функция желательности, оценка, методика, математическое моделирование.*

Введение

Водосборная территория речных бассейнов, выполняющая важные структура-образующие функции природной системы, на протяжении тысячелетий служила мощным стимулом для образования и развития древних цивилизаций. За несколько тысячелетий речной бассейн, выполняющий стокообразующие функции в природной системе, стал пространственным базисом народонаселения и природопользования в аспекте триады: экология (обеспечение качества среды обитания человека), экономика (повышение

покупательной способности общества) и социум (улучшение благосостояния населения). Уникальность территории водосбора речных бассейнов как природных объектов определяется тем, что они формируются в условиях высокой динамичности гидрологического и климатического режима, а также меняющихся в соответствии с законом вертикальной зональности, который является следствием фундаментального закона физической географии – закона географической зональности. Это даёт основание рассматривать их как особые природные системы, требующие оценки природно-ресурсного потенциала для нормирования и дифференциации антропогенной деятельности, а также для сохранения экологической устойчивости природы [1-4].

На основе развития и углубления известной концепции природообустройства водосбора речных бассейнов как особого вида деятельности, подготовленной всей историей взаимодействия человека и природы и обусловленной диалектикой развития философии, которая является отражением закона «отрицания отрицания», И.В. Орловой было сформировано новое направление в оценке ирригационно-ресурсного потенциала территории с учетом геоэкологических ограничений, которое состоит из четырёх взаимосвязанных блоков [5]: водно-ирригационного, земельно-ирригационного, технико-ирригационного и экономико-ирригационного потенциала.

При этом проведённый анализ исследований по проблеме понятий «природно-ресурсный потенциал» и «ирригационно-ресурсный потенциал» и теоретико-методологических подходов к описанию системообразующих их показателей показал, что отсутствуют специальные общепринятые алгоритмы оценки, анализа и прогнозирования природно-ресурсного потенциала территории, что требует необходимости развития математического инструментария на основе прогнозных моделей, отличающихся высокой точностью.

Однако, несмотря на большое количество работ по вопросу природно-ресурсного потенциала территории, особенно проблема оценки «ирригационно-ресурсного потенциала» территории водосбора речных бассейнов до сих пор остаётся дискуссионной и актуальной для углублённого изучения, а методологическое обоснование на основе построения его математической модели является недостаточным.

Цель работы состоит в исследовании ирригационно-ресурсного потенциала территории водосбора речных бассейнов путём построения математической модели на основе среднегеометрического уравнения, позволяющей агрегировать множество факторов в единый показатель с использованием качественных и количественных методов, основанных на диверсификации факторов по характеру влияния, с учетом гипотезы о том, что чем больше показателей ресурсов потенциала, тем выше оценивается состояние природно-ресурсного потенциала.

Методы и материалы

Материалы исследования базируются на концепции ирригационно-ресурсного потенциала, состоящей из четырёх взаимосвязанных компонентов: водно-ирригационного, земельно-ирригационного, технико-ирригационного и экономико-ирригационного потенциала, сформированной И.В. Орловой и дополненной ассимиляционным потенциалом на основе современного эколого-экономического механизма природопользования в водосборе речных бассейнов.

Методологической основой исследований является материалистическая теория научного познания, базирующаяся на моделировании, анализе, синтезе и оценке ирригационно-ресурсного потенциала территории водосбора речных бассейнов с применением обобщённой функции желательности (ОФЖ) Харрингтона как математического инструментария перевода реальных значений параметров в единую безразмерную числовую шкалу с фиксированными границами от 0 до 1 и последующего отображения частных количественных шкал в обобщённые шкалы критериев качества [6].

Результаты и обсуждение

Ирригационно-ресурсный потенциал территории водосбора речных бассейнов, как частный случай природно-ресурсного потенциала, является важной предпосылкой и условием территориальной организации и развития сельскохозяйственного производства.

Основными природными компонентами ирригационно-ресурсного потенциала (IRP_i) территории водосбора речных бассейнов являются:

- водно-ирригационный потенциал (WIP_i), включающий: располагаемые поверхностные ($ASWR_i$) и подземные (AGR_i) водные ресурсы, водные ресурсы, климатические ресурсы (CR_i), водообеспеченность территории (WST_i), и населения (WSP_i);
- земельно-ирригационный потенциал (LIP_i), включающий: располагаемую площадь сельскохозяйственных угодий (AAL_i), в том числе орошаемых земель (AIL_i), пастбищ (PA_i) и сенокосов (HA_i), дефицит водопотребления (оросительная норма) сельскохозяйственных угодий (AWS_i), дефицит водопотребления (оросительная норма) сельскохозяйственных культур ($DWCAC_i$), площадь орошаемых земель по уровню засоления (незасоленные, слабозасоленные, средnezасоленные, сильнозасоленные и солончаки) ($AILSL_i$), глубину залегания грунтовых вод ($AILDG_i$) и минерализацию грунтовых вод ($AILGM_i$), оросительную мощность водосбора речных бассейнов ($ICRBC_i$);
- технико-ирригационный потенциал (TIP_i), включающий: степень замкнутости технологических процессов на орошаемых землях ($CTPIL_i$) оросительных систем ($CTPIS_i$), способы и технику полива ($CTPIE_i$), безотходность технологических процессов на орошаемых землях ($WFTPIL_i$) оросительных систем ($WFTPIS_i$), способы и технику полива ($WFTPIS_i$), экологичность на орошаемых землях ($EFTPIS_i$) оросительных систем ($EFTPIS_i$), способы и техники полива ($EFTPIS_i$), отходоёмкость коллекторно-дренажной системы ($WCCDS_i$);
- экономико-ирригационный потенциал (EIP_i), включающий: агроэнергетическую эффективность (AEE_i), экономическую эффективность (EEE_i) и экологическую эффективность (EE_i);
- ассимиляционный потенциал (AP_i), включающий: качество поверхностных ($GSWR_i$) и подземных ($GUWR_i$) вод, объема изъятия поверхностных ($VWSWR_i$) и подземных ($VWUWR_i$) водных ресурсов, объем сброса сточных вод (VWD_i), качество сточных вод (GWW_i), экологические стоки (EW_i), обеспечивающие сохранение водных экосистем; плотность численности населения (PD_i), плотность промышленного производства (IPD_i), плотность сельскохозяйственных земель (AID_i) и плотность животноводства (ID_i).

Исходя из данного методологического подхода, математическая модель «ирригационно-ресурсного потенциала» территории водосбора речных бассейнов, полученная на основе агрегирования множества его компонентов, может быть представлена в виде многофакторной функции:

$$IRP_i = f(WIP_i, LIP_i, TIP_i, EIP_i, AP_i) \quad (1)$$

Одной из проблем при оценке ирригационно-ресурсного потенциала (IRP_i) территории водосбора речных бассейнов является **вопрос построения функций принадлежности** для компонентов: водно-ирригационного потенциала (WIP_i), земельно-ирригационного потенциала (LIP_i), технико-ирригационного потенциала (TIP_i), экономико-ирригационного потенциала (EIP_i) и ассимиляционного потенциала (AP_i), имеющих многомерные количественные и качественные показатели, отличающиеся по своей природе и размерности.

В свою очередь, **водно-ирригационный** (WIP_i), **земельно-ирригационный** (LIP_i), **технико-ирригационный** (TIP_i), **экономико-ирригационный** (EIP_i) потенциалы **являясь компонентами ирригационно-ресурсного потенциала** (IRP_i), могут быть выражены в виде функции:

$$\begin{aligned} WIP_i &= f(ASWR_i, AGR_i, CR_i, WST_i, WSP_i); \\ LIP_i &= f(LIP_i, AWS_i, DWCAC_i, AILSL_i, AILDG_i, AILGM_i, ICRBC_i); \\ TIP_i &= f(CTPIL_i, CTPIS_i, CTPIE_i, WFTPIL_i, WFTPIS_i, WFTPIS_i, WCCDS_i); \\ EIP_i &= f(AEE_i, EEE_i, EE_i). \end{aligned} \quad (2)$$

При этом, ассимиляционный потенциал (AP_i), делится на две категории:

- ассимиляционный потенциал прямого воздействия ($APDA_i$), включающий: объём изъятия поверхностных ($VWSWR_i$) и подземных ($VWUWR_i$) водных ресурсов, качество поверхностных ($GSWR_i$) и подземных ($GUWR_i$) вод, объём сброса сточных вод (VWD_i), качество сточных вод (GW_i), экологические стоки (EW_i), обеспечивающие сохранение водных экосистем, **представляется в виде функций:**

$$APDA_i = f(VWSWR_i, VWUWR_i, GSWR_i, GUWR_i, VWD_i, GW_i) \quad (3)$$

- ассимиляционный потенциал косвенного воздействия ($APII_i$), **включающий:** плотность численности населения (PD_i), плотность промышленного производства (IPD_i), плотность сельскохозяйственных земель (AID_i) и плотность животноводства (ID_i), описывается характеристической функцией:

$$APII_i = f(PD_i, IPD_i, AID_i, ID_i) \quad (4)$$

При этом каждый частный количественный и качественный показатель анализа и оценки компонентов ирригационно-ресурсного потенциала (IRP_i) территории водосбора речных бассейнов имеет свой физический смысл и свою размерность, что обуславливает необходимость введения для каждого из них некоторой безразмерной шкалы, являющейся единой для всех параметров.

Адекватным способом объединения разнородных показателей в композитные индексы является использование обобщённой функции желательности Харрингтона, в основе которой лежит преобразование натуральных значений частных показателей в безразмерную шкалу желательности (предпочтительности) (Harrington J., 1965) [2]. Это позволяет осуществлять моделирование с использованием факторов различной размерности и диапазонов значений варьируемых переменных.

Значения каждого отдельного показателя компонентов «ирригационно-ресурсного потенциала» территории водосбора речных бассейнов, переведённые в безразмерную шкалу желательности (ID_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$), определяются с помощью уравнения логистической функции Е.К. Харрингтона так называемой S-образной «кривой желательности» [6-8]:

$$ID_i = \exp[-\exp(-SPI_i)] \quad (5)$$

где SPI_i – кодированное значение частного показателя компонентов «ирригационно-ресурсного потенциала» территории водосбора речного бассейна: $SPI_i = (GVI_i - GVI_{\min}) / (GVI_{\max} - GVI_{\min})$, здесь GVI_i – количественное значение i -ого показателя; GVI_{\max} – максимальное значение i -ого показателя; GVI_{\min} – минимальное значение i -ого показателя.

Одним из комплексных показателей «ирригационно-ресурсного потенциала» территории водосбора речных бассейнов является обобщённая функция желательности, предложенная Харрингтоном, которая представляет собой среднее геометрическое частных функций желательности, имеющих следующий вид:

$$GIIRP_i = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n PGIIRP_i^{wc}} \quad (6)$$

где $AIAI_i$ – обобщенный показатель «ирригационно-ресурсного потенциала» территории водосбора речных бассейнов; AAC_i – частный обобщенный показатель компонентов «ирригационно-ресурсного потенциала» территории водосбора речных бассейнов; wc – значимость или весовой коэффициент видов косвенных антропогенных нагрузок; n – количество компонентов «ирригационно-ресурсного потенциала» территории водосбора речных бассейнов.

Частный обобщённый показатель компонентов «ирригационно-ресурсного потенциала» территории водосбора речных бассейнов, основанный на функции желательности, предложенной Харрингтоном, представляет собой среднее геометрическое и принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} PGIWIP_i &= \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n DFWIP_i^{wc}}, \\ PGILIP_i &= \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n DFLIP_i^{wc}}, \\ PGTIP_i &= \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n DFTIP_i^{wc}}, \end{aligned}$$

$$PGEIP_i = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n DFEIP_i^{wc}};$$

$$PGAP_i = 0.5 \cdot [\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n DFDIAP_i^{wc}} + \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n DFIEAP_i^{wc}}] \quad (7)$$

где $PGIWIPI_i$ - частный обобщенный показатель водно-ирригационного потенциала территории водосбора речных бассейнов; $PGILIP_i$ - частный обобщенный показатель земельно-ирригационного потенциала территории водосбора речных бассейнов; $PGTIP_i$ - частный обобщенный показатель технико-ирригационного потенциала территории водосбора речных бассейнов; $PGEIP_i$ - частный обобщенный показатель экономико-ирригационного потенциала территории водосбора речных бассейнов; $PGAP_i$ - частный обобщенный показатель ассимиляционного потенциала территории водосбора речных бассейнов; $DFWIPI_i$ – функция желательности для водно-ирригационного потенциала территории водосбора речных бассейнов; $DFLIP_i$ – функция желательности для земельно-ирригационного потенциала территории водосбора речных бассейнов; $DFTIP_i$ – функция желательности для технико-ирригационного потенциала территории водосбора речных бассейнов; $DFDIAP_i$ – функция желательности для прямого воздействия ассимиляционного потенциала водосбора речных бассейнов; $DFIIEAP_i$ – функция желательности для косвенного воздействия ассимиляционного потенциала водосбора речных бассейнов; WC_i - значимость или весовой коэффициент компонентов «ирригационно-ресурсного потенциала» территории водосбора речных бассейнов; n – количество компонентов «ирригационно-ресурсного потенциала» территории водосбора речных бассейнов.

Весовой коэффициент (WC_i) компонентов и показателей компонентов ирригационно-ресурсный потенциала (IRP_i) территории водосбора речных бассейнов, как количественное значение, отражает относительную значимость или важность конкретного показателя по сравнению с другими, сумма которых должна быть ограничена сверху и равняться единице: $\sum_{i=1}^n WC_i=1,0$ (Д.С. Соловьев. 2023) [9].

Для количественного представления значимости компонентов и показателей компонентов ирригационно-ресурсный потенциала (IRP_i) территории водосбора речных бассейнов может быть использована математическая теория важности критериев, являющаяся одним из направлений теории принятия решений. В качестве меры значимости применяется амплитуда размаха статистических показателей ($ARSI_i$). Амплитуда размаха вариации ($ARSI_i$) представляет собой разность между максимальным (PH_{maxi}) и минимальным (PH_{mini}) значениями компонентов и их показателей в пределах изучаемой совокупности ирригационно-ресурсного потенциала территории водосбора речных бассейнов. Формально это выражается следующим образом:

$$ARSI_i = PH_{maxi} - PH_{mini} \quad (8)$$

где $RSIPH_i$ - амплитуда размах статистических показателей здоровья населения; PH_{maxi} , PH_{mini} - соответственно максимальное и минимальное значения i -го показателя, характеризующего здоровье населения.

Для совместной оценки временного ряда всех показателей компонентов ирригационно-ресурсного потенциала (IRP_i) территории водосбора речных бассейнов целесообразно представить данные в относительных единицах в виде коэффициента относительного разброса показателей ($CRDI_i$) по следующей формуле:

$$CRDI_i = (PH_{maxi} - PH_{mini})/PH_{maxi} \quad (9)$$

На основе коэффициента относительного разброса статистических показателей ($CRDI_i$), можно определить весовой коэффициент функция желательности Харрингтона по следующему выражению:

$$WCIRP_i = CRDI_i / \sum_{i=1}^n CRDI_i \quad (10)$$

где $WCIRP_i$ - весовой коэффициент показателей компонентов и показателей компонентов ирригационно-ресурсный потенциала (IRP_i) территории водосбора речных бассейнов; n_i - число показателей компонентов ирригационно-ресурсного потенциала.

Для выявления условий формирования ирригационно-ресурсного потенциала территории водосбора речных бассейнов, выполняющих важные средообразующие и

экологические функции, в рамках их оценки можно использовать количественный показатель, аналогичный экологическому понятию «Индекс гидроэкологического благополучия» [10].

«Индекс гидроэкологического благополучия» ($HWBI_i$) территории водосбора речных бассейнов, как интегральный показатель, характеризующий способность водосбора формировать в аспекте триады: экология (обеспечение качества среды обитания человека), экономика (повышение покупательной способности общества) и социум (улучшение благосостояния населения), объединяющий несопоставимые между собой параметры ирригационно-ресурсного потенциала, определяется как отношение частного обобщенного показателя ассимиляционного потенциала ($PGAP_i$) к среднеарифметическому значению частных обобщенных показателей водно-ирригационного ($PGIWIP_i$), земельно-ирригационного ($PGILIP_i$), технико-ирригационного ($PGTIP_i$) и экономико-ирригационного ($PGEIP_i$) потенциалов территории водосбора речных бассейнов:

$$HWBI_i = PGAP_i / (1/n) \cdot (PGIWIP_i + PGILIP_i + PGTIP_i + PGEIP_i) \quad (11)$$

Предложенный интегральный показатель «Индекс гидроэкологического благополучия» ($HWBI_i$) территории водосбора речных бассейнов, характеризующий средообразующие и экологические функции, может быть широко использован для зонирования речных водосборов разного иерархического уровня по степени их экологической нарушенности. Это позволяет не только оценить абсолютные величины показателей, но и выявить, насколько они близки к области ухудшения, с использованием шкалы желательности Харрингтона со строгими интервальными диапазонами: от 0 до 0,20 («очень плохо»); от 0,20 до 0,37 («плохо»); от 0,37 до 0,63 («удовлетворительно»); от 0,63 до 0,80 («хорошо»); от 0,80 до 1,00 («отлично»).

Выводы

На основе существующего подхода к оценке ирригационно-ресурсного потенциала территории, разработанного И.В. Орловой, сформированы функциональные характеристики его компонентов и показателей, базирующиеся на естественнонаучных представлениях о современных эколого-экономических механизмах использования водных ресурсов речных бассейнов. Рассмотрена система показателей оценки, на основании которых определяется степень прогрессивности и полезности при оценке ирригационно-ресурсного потенциала территории речных бассейнов. В качестве интегрального показателя оценки ирригационно-ресурсного потенциала территории речных бассейнов использована обобщённая функция Харрингтона, которая позволяет, во-первых, преобразовывать натуральные значения частных показателей в безразмерную шкалу желательности (предпочтительности); во-вторых, производить моделирование с использованием факторов различной размерности и диапазона значений варьируемых переменных; и в-третьих, интерпретировать компоненты «ирригационно-ресурсного потенциала» территории водосбора речных бассейнов в единую безразмерную шкалу желательности. Рассмотренные методические аспекты могут быть использованы в качестве базы для типизации показателей оценки компонентов ирригационно-ресурсного потенциала территории водосбора речных бассейнов и разработки современных методов его оценки на базе функции желательности Харрингтона.

Благодарность. Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP25794687 «Разработать научно-прикладные основы оценки ирригационно-ресурсного потенциала территории водосбора речных бассейнов (на примере реки Каратал)»).

Список литературы

1. Кайпбаев Е., Алдиярова А., Калмашова А., Тұрсыналы Д., Муханбет Е. (2024). Методологический подход к формированию исследовательской базы для оценки деятельности речных бассейнов. *Izdenister Natigeler*, (3(103), 340–348. <https://doi.org/10.37884/3-2024/38>
2. Dawit M., Olika B.D., Muluneh F.B., Leta O.T., Dinka M.O. Assessment of surface irrigation potential of the Dhidhessa River Basin, Ethiopia (2020) *Hydrology*, 7 (3), <https://doi.org/10.3390/hydrology7030068>

3. Shaki A.A., Zurqani H.A. Irrigation Water Resources in Libya: Challenges and Potentials (2025) Springer Water, Part F104, pp. 121 – 142. DOI:[10.1007/978-3-031-80920-07](https://doi.org/10.1007/978-3-031-80920-07)
4. Du L., Niu Z., Zhang R., Zhang J., Jia L., Wang L. Evaluation of water resource carrying potential and barrier factors in Gansu Province based on game theory combined weighting and improved TOPSIS model (2024) Ecological Indicators, 166. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112450>
5. Орлова И.В. Основные подходы к оценке ирригационно-ресурсного потенциала территории с учетом геоэкологических ограничений // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: Труды Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 25- летию юбилею Института водных и экологических проблем СО РАН.- Барнаул, 2012.- том 3.- с. 74-78.
6. Harrington, E.C. (1965) The Desirability Function. *Industrial Quality Control*, 21, 494-498.
7. Bikbulatov, E.S., Stepanova, I.E. Harrington's desirability function for natural water quality assessment. *Russ J Gen Chem* 81, 2694–2704 (2011). <https://doi.org/10.1134/S1070363211130111>
8. Nasuhar Abd Aziz, Nurul Awanis AS, Siti Nurliana Noraziman Modified Desirability Function For Optimization of Multiple Responses. *Journal OF Mathematics and Computing Science*, 2018, Volume 1, Number 1, 39-54.
9. Соловьев Д.С. Метод объективизации значений весовых коэффициентов для принятия решений в многокритериальных задачах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2023. Т. 23, № 1. С. 161–168. doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-1-161-168.
10. А.В. Чернышев Индекс благополучия водосборных бассейнов рек как интегральный показатель условий формирования гидрологического режима территории. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 5(2).

References

1. Каїрбаев Е., Алдиярова А., Калмашова А., Тур сыналы Д., Мукханбет Е. (2024). Metodologicheskiy podkhod k formirovaniyu issledovatel'skoi bazy dlia otsenki deiatelnosti rech nykh basseinov. *Izdenister Natigeler*, 3(103), 340–348. <https://doi.org/10.37884/3-2024/38> [in Russian].
2. Dawit M., Olika B.D., Muluneh F.B., Leta O.T., Dinka M.O. (2020). Assessment of surface irrigation potential of the Dhidhessa River Basin, Ethiopia. *Hydrology*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/hydrology7030068>.
3. Shaki A.A., Zurqani H.A. (2025). Irrigation Water Resources in Libya: Challenges and Potentials. In: *Springer Water*, Part F104, pp. 121–142. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-80920-07>.
4. Du L., Niu Z., Zhang R., Zhang J., Jia L., Wang L. (2024). Evaluation of water resource carrying potential and barrier factors in Gansu Province based on game theory combined weighting and improved TOPSIS model. *Ecological Indicators*, 166. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112450>.
5. Orlova I.V. (2012). Osnovnye podkhody k otsenke irrigatsionno-resursnogo potentsiala territorii s uchetom geoekologicheskikh ogranicenii. In: *Vodnye i ekologicheskie problemy Sibiri i Tsentral'noy Azii: Trudy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posviashchennoy 25-letnemu iubileiu Instituta vodnykh i ekologicheskikh problem SO RAN*, vol. 3, pp. 74–78. Barnaul. [in Russian].
6. Harrington, E.C. (1965). The Desirability Function. *Industrial Quality Control*, 21, 494–498.
7. Bikbulatov, E.S., Stepanova, I.E. (2011). Harrington's desirability function for natural water quality assessment. *Russian Journal of General Chemistry*, 81, 2694–2704. <https://doi.org/10.1134/S1070363211130111>
8. Nasuhar Abd Aziz, Nurul Awanis A.S., Siti Nurliana Noraziman (2018). Modified Desirability Function For Optimization of Multiple Responses. *Journal of Mathematics and Computing Science*, 1(1), 39–54.
9. Solov'ev D.S. (2023). Metod ob'ektivizatsii znachenii vesovykh koeffitsientov dlia priniatiia reshenii v mnogokriterial'nykh zadachakh. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik*

informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki, 23(1), 161–168. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2023-23-1-161-168> [in Russian].

10. Chernyshëv A.V. (2011). Indeks blagopoluchiiia vodosbornykh basseĭnov rek kak integral'nyĭ pokazatel' uslovii formirovaniia gidrologicheskogo rezhima territorii. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiĭskoi akademii nauk*, 13(5-2). [in Russian].

Ж.С.Мустафаев¹, А.Е.Алдиярова^{2*}

¹«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,
z-mustafa@rambler.ru

²«Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, Алматы, Қазақстан;
ainura.aldiarova@kaznaru.edu.kz

ӨЗЕН БАССЕЙНДЕРІНІҢ СУ ЖИНАУ АЛАБЫНЫҢ ИРРИГАЦИЯЛЫҚ-РЕСУРСТЫҚ ӘЛЕУЕТІН БАҒАЛАУ ӘДІСТЕМЕСІ

Аңдатпа

Бұл жұмыста модельдеуді, талдауды, синтездеуді және бағалауды қамтитын ғылыми танымның материалистік теориясының негізінде өзен бассейндерінің су жинау аумағының ирригациялық-ресурстық әлеуетін бағалаудың теориялық және әдіснамалық аспектілері ғылыми негізделген. Зерттеудің мақсаты кешенді бағалауға әдістемелік тәсілді әзірлеу арқылы аумақтың табиғи-ресурстық әлеуеті жүйесіндегі ирригациялық-ресурстық әлеуеттің орнын анықтау болып табылады. И.В.Орлова әзірлеген тәсілді талдау негізінде және табиғи жүйелер ішінде болып жатқан процестер мен геоэкологиялық шектеулерді ескере келе ирригациялық-ресурстық әлеует өзара байланысты компоненттер арқылы ұсынылған: су-ирригациялық, жер-ирригациялық, техникалық-ирригациялық, экономикалық-ирригациялық және ассимиляциялық әлеует. Модельдеу және сандық бағалау үшін Харрингтонның қалаулылық функциясы қолданылады, ол әртүрлі өлшемдегі факторларды және өзгермелі айнымалылардың мәндер диапазонын қолдана отырып модельдеуге мүмкіндік береді. Бірыңғай талдау және болжау алгоритмдерінің болмауы жаңа математикалық модельдерді құру қажеттілігін тудырады. Ұсынылған әдістемелік тәсіл ирригациялық-ресурстық әлеуетті дәлірек бағалауды қамтамасыз етеді, бұл әсіресе табиғатты тұрақты пайдалану және су жинау алаптарын басқару тиімділігін арттыру жағдайында өзекті.

Кілт сөздер: табиғи-ресурстық әлеует, ирригациялық-ресурстық әлеует, өзен бассейні, қалаулылық функциясы, бағалау, әдістеме, математикалық модельдеу.

Zh.S.Mustafayev¹, A.E.Aldiyarova^{2*}

¹JSC “Institute of Geography and Water Security”, Almaty, Kazakhstan,
z-mustafa@rambler.ru

²NAO “Kazakh National Agrarian Research University”, Almaty, Kazakhstan,
ainura.aldiarova@kaznaru.edu.kz

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE IRRIGATION AND RESOURCE POTENTIAL OF THE CATCHMENT AREA OF RIVER BASINS

Abstract

On the basis of materialistic theory of scientific knowledge, including modeling, analysis, synthesis and evaluation, the theoretical and methodological aspects of assessing the irrigation-resource potential of the territory of the river basin catchment area are scientifically substantiated in the work. The purpose of the study is to determine the place of irrigation-resource potential in the system of natural-resource potential of the territory by analyzing its essence and developing a methodological approach to its comprehensive assessment. Based on the analysis of the approach developed by I.V. Orlova, within the framework of which the irrigation-resource potential is presented through interrelated components: water-irrigation, land-irrigation, technical-irrigation, economic-irrigation and assimilation potential, the processes occurring within natural systems, as well as geo-ecological limitations are taken into account. For modeling and quantitative assessment we used Harrington's desirability function, which allows modeling using factors of different

dimensionality and range of values of varying variables. The lack of unified algorithms for analysis and forecasting necessitates the creation of new mathematical models. The proposed methodological approach provides a more accurate assessment of irrigation and resource potential, which is especially relevant in the context of sustainable environmental management and improving the efficiency of watershed management.

Key words: natural-resource potential, irrigation-resource potential, river basin, desirability function, assessment, methodology, mathematical modeling.

Вклад авторов: Концептуализация, Курирование данных - ЖСМ; Формальный анализ - АЕА; Методология - ЖСМ; Проверка – ЖСМ; Написание – обзор и редактирование - АЕА.

ГТАХР 70.03.07

DOI <https://doi.org/10.37884/3-2025/55>

Д.С.Тунгатар, Е.Т.Кайпбаев, Г.К.Исмаилова, А.Н.Калмашова*

*Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан,
dana.tungatar@kaznaru.edu.kz, yerbolat.kaipbayev@kaznaru.edu.kz,
ismailova.gauharkul@kaznaru.edu.kz, Kalmashova.Ainur@kaznaru.edu.kz*

ӨЗЕНДЕРГЕ ТҮСЕТІН АНТРОПОГЕНДІК ӘСЕРДІ БАҒАЛАУДЫҢ ӘДІСНАМАЛЫҚ ТӘСІЛДЕРІН ТАЛДАУ

Аңдатпа

Мақала су ағындарына түсетін антропогендік жүктемені бағалаудың заманауи әдіснамалық тәсілдерін талдауға арналған, сонымен қатар шағын өзен экожүйелерінің әртүрлі техногендік ықпалдарға осалдылығына ерекше назар аударылған. Гидроэкологиялық мониторинг тәжірибесінде қолданылатын индикаторлық, индекстік, баланстық-массалық, биоиндикациялық, геоакпараттық және модельдік тәсілдер қарастырылған. Олардың артықшылықтары, шектеулері және аймақтық жағдайларға бейімдеу мүмкіндіктері сипатталған. Алматы облысының шағын өзендерінің жағдайын климаттық өзгергіштік пен артып келе жатқан антропогендік қысым жағдайында бағалау үшін біріктірілген әдістерді қолданудың мақсатқа сай екендігі негізделген.

Қосымша түрде жүйелік тәсілді қолдану тек су нысандарының ағымдағы жағдайын ғана емес, сонымен қатар шаруашылық қызметінің ықпалымен болатын өзгерістердің үрдістерін анықтауға мүмкіндік беретіні көрсетілген. Мұндай талдау экожүйелердің деградация қаупін болжауға және алдын алу шараларын әзірлеуге ғылыми негіз береді. Шағын өзендерге антропогендік әсерді кешенді бағалау экологиялық мониторингті жетілдірудің, табиғатты қорғау шараларын әзірлеудің және тиімді су пайдалану стратегияларын негіздеудің маңызды құралы болып табылады. Алынған қорытындылар шағын су ағындарын қорғау мен су пайдалану бойынша тұрақты стратегияларды қалыптастыруға, сондай-ақ климаттық өзгерістер жағдайында аймақтық және ұлттық бейімделу бағдарламаларын жасауға негіз болады.

Кілт сөздер: антропогендік жүктеме, шағын өзендер, экологиялық мониторинг, индикаторлық әдіс, су ластану индексі, ГАЖ-талдау, биоиндикация.

Кіріспе

Адамның шаруашылық қызметінің қарқынды өсуі геожүйелерге антропогендік жүктемені кешенді бағалауды талап етеді, бұл кезде ықпал ету факторларының жиынтығы мен зерттелетін объектілердің табиғи ерекшеліктері ескерілуі тиіс. Қазіргі жағдайда қоршаған