

## ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ И ВЕДЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ТЕРРИТОРИЯХ КРЫМА

Бакулина М.В.

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение), ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского  
295493, г. Симферополь, у. Киевская, 181, e-mail: [vikmoto@mail.ru](mailto:vikmoto@mail.ru)

**Аннотация.** В настоящее время разрабатывается ряд концептуальных подходов и доктрин управления распределением имеющихся ресурсов пресной воды в Крыму [1]. До настоящего времени фокусом научных, особенно прикладных исследований является отраслевая экономическая оценка риска нехватки территориальных запасов пресной воды. Существенным недостатком отраслевых экономических оценок риска является то, что в своем большинстве они замыкаются на использование экономических критериев безопасности, оставляя вне поля зрения социальные и экологические риски. По нашему мнению, полное и непротиворечивое сведение трех оценок в единый критерий гидрогеологического риска должно проводиться с использованием индикаторно - рискологического подхода и автоматизированных географических информационных систем (АГИС), что позволит создать эффективную систему мониторинга водными ресурсами территорий Крыма.

**Ключевые слова:** системный подход, теория риска, теория возможностей, унификация, индикаторный показатель, картографическая модель.

### ВВЕДЕНИЕ

Исторически экономическое развитие Крыма всегда осложнялось недостаточной водностью его территории. До недавнего времени на полуострове существовало два основных варианта получения пресной воды, которая при соответствующей подготовке могла использоваться для питьевых и хозяйственных нужд – вода из крупных водохранилищ естественного сброса (поверхностных – 55%, подземных – 40 %) и днепровская вода, подаваемая в Крым через Северо – Крымский канал. При работе Северо – Крымского канала потребление воды составляло примерно 0.8 км<sup>3</sup> в год, хотя по данным Департамента государственной политики и регулирования в области ресурсов Минприроды России потребность Крыма составляет около 2 км<sup>3</sup> в год. Статистика показала, что основными статьями расходования водных ресурсов в это время являлись: мелиоративное орошение на которое в сумме с сельскохозяйственным водоснабжением приходилось до 72%, хозяйственно бытовые нужды, в том числе на питьевые цели – порядка 18%, для обеспечения промышленности – 9%. С перекрытием Северо – Крымского канала гидрогеологическая обстановка в Крыму в очередной раз резко изменилась в худшую сторону. В настоящее время прекращение подачи воды через Северо – Крымский канал только частично компенсируется интенсивным совместным использованием ограниченных запасов пресной воды поверхностных и подземных водохранилищ, что также негативно сказывается на гидрогеологической обстановке и может привести к непоправимым социальным и экологическим последствиям.

Неоднократно принимаемые, в большинстве своем противоречивые политические и технические решения по изменению видов хозяйственной деятельности и управлению существующей системой водообеспечения полуострова Крым привели к тому, что в настоящее время практически отсутствует единый концептуальный подход к решению данной проблемы [2]. Более того отсутствуют систематизированные научно – обоснованные статистические данные, на основе которых можно оценивать, прогнозировать и управлять последствиями опасных гидрогеологических процессов, связанных с изменением климата и роста антропогенной нагрузки.

Проблема нехватки пресной воды, в последнее время, в связи с интенсивным развитием различных, в том числе новых для территорий Крыма видов хозяйственной деятельности стала весьма актуальной и в определенной степени затрагивающей интересы многих районов страны.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ трудов ученых, основоположников гидрогеологии Крыма, убедительно свидетельствует, что используемые в настоящее время традиционные методы и средства управления водными ресурсами недостаточно эффективны, из-за отсутствия системного подхода к решению поставленных задач [4]. При системном подходе все возможные для каждого района Крыма виды хозяйственной деятельности должны рассматриваться как потенциально опасные природно – технические явления, которые имеют ограниченный период оптимального функционирования с имеющимися на данной территории ресурсами пресной воды. Только в этом случае имеется возможность создания системы управления накоплением и распределением имеющихся ограниченных водных ресурсов на каждой из рассматриваемых территорий Крыма, позволяющей прогнозировать изменения их качественных и количественных характеристик, а также выработать адекватные управленческие решения по безопасному ведению различных видов хозяйственной деятельности [5]. При этом целостная характеристика влияния альтернативных видов хозяйственной деятельности на водную безопасность видится в комплексном учете всего многообразия возможных экономических, социальных и экологических оценок риска на каждой из рассматриваемых территорий.

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель статьи – предложить вариант создания комплексной ресурсосберегающей модели мониторинга водными ресурсами питьевой воды Крыма, с использованием индикаторных показателей риска [3].

Для разработки интегральной комплексной оценки гидрогеологических ситуаций, возникающих на территориях Крыма вследствие негативного воздействия многочисленных внешних и внутренних факторов, приводящих к ухудшению качественных и количественных характеристик воды в водозаборах, целесообразно использовать индикаторно – рискологический подход [6]. Этот подход позволяет учитывать наиболее существенные негативные факторы, формирующие гидрогеологическую ситуацию в рассматриваемых районах Крыма, их разноплановость, разномасштабность и нелинейный характер синергетического воздействия. Методология индикаторно – рискологического подхода предусматривает выполнения ряда последовательных шагов [7]:

1. Выявление негативных факторов, создающих угрозу снижения качественных и количественных характеристик воды в водозаборах на данной территории.
2. Определение классов состояния качественных и количественных характеристик воды и оценку возможности ее подачи для существующих или планируемых потребителей.
3. Формирование с использованием АГИС информационной базы для разработки картографических моделей оценки интегрального показателя гидрогеологического риска, связанного с ухудшением экономической, социальной и экологической обстановки на территориях при снижении качественных или количественных характеристик воды в водозаборах.
4. Разработка на основе теории возможностей индикаторов качества и дефицита воды, позволяющих в рамках [0 - 1] оценить вероятность угрозы нехватки воды необходимого качества и количества на данной территории при различных вариантах ее использования.
5. Расчет с использованием территориальных картографических моделей значений экономических, социальных и экологических показателей ущерба для населения и различных отраслей хозяйственной деятельности в рамках [0 – 1].
6. Разработка предложений по совершенствованию существующей системы управления водопользованием на территориях Крыма в условиях дефицита пресной воды

(необходимого качества и количества), на основе полученных значений показателя интегрального гидрологического риска.

При разработке данного подхода учитывались следующие особенности проявления негативных факторов, влияющих на состояние водных ресурсов Крыма:

- единственным естественным источником, определяющим поступление основной массы пресной воды в поверхностные и подземные водохранилища, являются климатические осадки;
- наличие связи водоносных горизонтов артезианских бассейнов с морскими и минерализованными водами, соседствующих водоносных горизонтов;
- загрязнение поверхностных и подземных стоков в результате антропогенного воздействия, связанного с интенсивным расширением масштабов строительства жилищно – производственных комплексов, инфраструктуры, нарушением инфильтрационных процессов, значительного сезонного увеличения населения и т. п.
- большинство существующих в Крыму водообеспечивающих систем и оборудования (включая насосные станции, водоводы, очистные сооружения, водоемы, плотины и др.) представляют собой источники повышенной опасности, поскольку по различным причинам в течение длительного времени нарушались естественные и расчетные условия их эксплуатации.

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

В основу предлагаемого алгоритма решения поставленной проблемы, с учетом перечисленных выше особенностей, были положены формализованные соотношения между рисками жизнедеятельности и хозяйствования с одной стороны и степенью опасности для населения и возможных видов хозяйственной деятельности на каждой из рассматриваемой территории с другой. Математическая модель для расчета интегрального показателя гидрогеологического риска может быть представлена в виде [8]:

$$R_{\Gamma\Gamma}^{K_n}(W_{ij}) = P_s(W_{ij}) \times K_n \times Q(W_{ij}) \quad (1)$$

где

$R_{\Gamma\Gamma}^{K_n}(W_{ij})$  - интегральный гидрогеологический риск от каждого из существующих или прогнозируемых видов хозяйственной деятельности на территории S, вызывающих ухудшение качественных и количественных характеристик имеющихся запасов пресной воды и приводящих к росту материальных, социальных и экологических ущербов;

$P_s(W_{ij})$  вероятность проявления на территории S негативных факторов ( $W_{ij}$ ), связанных с ухудшением качественных и количественных характеристик пресной воды в водозаборах ниже предельно допустимых норм;

$K_n$  - нормирующий весовой коэффициент для каждого существующего или внедряемого вида хозяйственной деятельности на данной территории S, определяемый экспертами. В качестве основных и перспективных видов хозяйственной деятельности предлагается рассмотреть:  $K_{n1}$  – мелиоративное земледелие;  $K_{n2}$  – обеспечение условий жизнедеятельности;  $K_{n3}$  – промышленность;  $K_{n4}$  – рекреацию.

$Q(W_{ij})$  - материальный, социальный и экологический ущерб от рассматриваемых видов хозяйственной деятельности определяемые с использованием зависимости вида

$$Q(W_{ij}) = V_{S_M}(W_{ij}) \times V_{S_C}(W_{ij}) \times V_{S_3}(W_{ij}), \quad (2)$$

где  $V_{S_M}(W_{ij})$  - материально- экономический ущерб на территории S от ухудшения качественных и количественных характеристик пресной воды в водозаборах, определяемый отношением хозяйственной ценности поражаемой части территории к ее общей стоимости (доли единицы):

$V_{S_C}(W_{ij})$  - социальный ущерб на территории S от ухудшения качественных и количественных характеристик пресной воды в водозаборах, что определяется соотношением количества людей, находящихся на пораженной территории к общему количеству населения проживающему на данной территории (доли единицы);

$V_{S_3}$  ( $W_{ij}$ ) -экологический ущерб на территории  $S$  от ухудшения качественных и количественных характеристик пресной воды в водозаборах, в качестве которого может быть приняты соотношения роста заболеваемости людей, снижение биологического многообразия, падение рождаемости, рост смертных случаев до и после проявления этих негативных факторов.

Главную трудность математического определения интегральных показателей значений гидрогеологического риска для различных видов хозяйственной деятельности, при ограниченных запасах пресной воды, представляет неопределенность пространственно – временных и объемно – мощностных параметров зарождения и проявления негативных факторов [7], связанных с ухудшением качественных и количественных характеристик запасов пресной воды. Вероятность проявления на территории негативных факторов ( $W_{ij}$ ), определяется с учетом статистической информации о климате, техногенных воздействиях, процессов, связанных с областью питания стоков, возможности фильтрации, накопления и разбора, которые в большинстве своем недоступны в форме точных, четко определенных показателей. Проводимая чаще всего символическая обработка ограниченных, разнородных данных об изменении гидрогеологической обстановки на территориях Крыма является недостаточной для выработки адекватных управленческих решений по снижению перечисленных выше рисков.

Предлагаемый рискологический подход предполагает решение представленной модели (1) в два этапа. На первом этапе проводится оценка вероятностных показателей возможности возникновения опасных событий ( $W_{ij}$ ), связанных с ухудшением качественных и количественных характеристик водных ресурсов, на втором этапе оценка экономического, социального и экологического ущерба в результате возможной подачи потребителям воды низкого качества и в недостаточном количестве.

Для решения задач первого этапа должна быть принята новая региональная идеология мониторинга оценки состояния территориальных ресурсов пресной воды и создано программное обеспечение для автоматизированного составления картографических изображения уровней загрязнения и снижения дебита водозаборов, с последующей передачей этих карт с помощью автоматизированных географических информационных систем (АГИС) в пункты управления. Использование АГИС дает возможность географической привязки данных по качественным и количественным характеристикам воды к особенностям климата и видам хозяйственной деятельности на рассматриваемых территориях. В случае отсутствия обоснованных статистических данных о состоянии подземных вод для их оценки используется теория возможности, которая позволяет оценивать частоту рассматриваемых негативных событий ( $W_{ij}$ ) основываясь на предпочтительности их проявления. Данная теория и разработанные на ее основе методики позволяют выявлять наиболее существенные факторы, формирующие негативные события путем разделения значений реальных замеров на классы и подклассы на основе которых строятся шкалы индексов загрязнения (ИЗВ) и индексов дефицита (ИДВ) пресной воды. Чаще всего ИЗВ определяется как сумма отношений концентраций ( $C_1, C_2, \dots, C_n$ ) каждого загрязняющего вещества в водном объекте к соответствующему ПДК для этих веществ. Формула для определения ИЗВ может быть представлена в виде

$$\text{ИЗВ} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \quad (3)$$

Расчет социального показателя водообеспеченности для населения и различных видов хозяйственной деятельности может проводиться по формуле

$$\text{ИДВ} = \frac{H \times N - V}{N} \quad (4)$$

где  $H$  – норма водопотребления,  $\text{м}^3/\text{сутки}$ ,  $V$  – норма водозабора,  $\text{м}^3/\text{сутки}$ ,  $N$  – количество потребителей на данной территории.

При определении классов состояния гидрогеологических условий принимается система двойной градации, где классы характеризуют основное состояние воды, а подклассы различные уровни в пределах данного состояния. Расчеты чаще всего выполняются по трем классам опасности А - низкий, В - средний и С - высокий.

В качестве исходных данных для определения водообеспеченности территорий используются результаты расчета дебита и объемов нормативного водоразбора с учетом особенности водопользования каждой категории потребителей.

Поскольку получаемые на основе данных мониторинга индексы ИЗВ и ИДВ разнородны и имеют разные размерности, то создаются определенные трудности в оценке их совместного влияния на интегральный показатель гидрогеологического риска. Для унификации частных показателей ИЗВ и ИДВ с целью создания комплексного критерия  $P(W_{ij})$ , характеризующего возможность проявления на территории негативных факторов ( $W_{ij}$ ), с ухудшением качественных и количественных характеристик воды предлагается провести проецирование данных показателей на индикаторную шкалу  $[0 - 1]$  таким образом, что наименьшее влияние фактора опасности соответствовало нулевому значению  $i$ -го унифицируемого показателя, а наибольшее – значению унифицированного показателя равному единице. Для унификации ИЗВ и ИДВ могут использоваться как линейные, так и нелинейные функции перехода к унифицированным показателям. На основе исследований проб воды из разводящих систем водоснабжения Красноперекопского, Черноморского, Первомайского, Сакского и других районов, проведенных в последние годы Роспотребнадзором Крыма и данных исследований ФГБ УН «НИИСХ Крыма» по обеспеченности мелиоративного земледелия в условиях перекрытия Северо – Крымского канала, сделан вывод о возможности использования для унификации показателей ИЗВ и ИДВ кусочно-линейных шкал перехода. Значения унифицированных индикаторов определялись путем унификации ИЗВ определяемого по формуле (3) и ИДВ определяемого по формуле (4) с использованием графиков представленных на рис. 1 и рис. 2, где по оси абсцисс представляются измеренные значения показателей ИЗВ и ИДВ (таблица 1 и 2), а по оси ординат унифицированные значения УИКВ и УИДВ, в рамках значений от 0 до 1, характеризующие возможность возникновения опасных последствий и представляющие собой нормированную балльную оценку изменения качественных или количественных характеристик пресной воды в результате ведения различных видов хозяйственной деятельности.

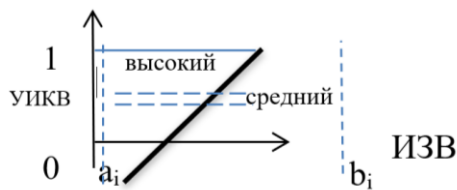


Рис.1. Шкала перехода ИЗВ в УИКВ

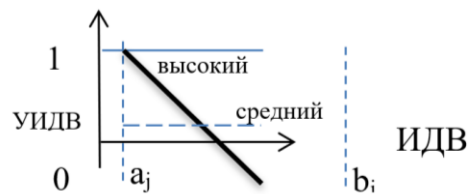


Рис.2. Шкала перехода ИДВ в УИДВ

Преобразование исходного показателя качества воды к унифицированному индикатору выполняется по формуле

$$\text{УИКВ} = \frac{x_i - a_i}{b_i - a_i} \quad (5)$$

Если показатель  $x_i$ , значения которого принадлежат ограниченному интервалу  $(a_i, b_i)$ , связан с анализируемой интегральной характеристикой оценки опасности монотонно возрастающей линейной зависимостью то чем больше значение  $x_i$ , тем выше уровень гидрогеологической опасности. Если показатель дефицита воды, связан с анализируемой интегральной характеристикой оценки опасности монотонно убывающей линейной зависимостью то, чем больше значение  $x_i$ , тем ниже уровень гидрогеологической опасности, определяемый по формуле:

$$\text{УДКВ} = \frac{b_j - x_j}{b_j - a_j} \quad (6)$$

В итоге двумерная оценка возможности проявления опасных гидрогеологических природных и техногенных явлений, связанных с ухудшением качественных и количественных характеристик подаваемой из водозаборов воды может быть рассчитана в границах  $[0-1]$  по формуле:

$$P_s (W_{ij}) = P_{уикв} \times P_{уидв} \quad (7)$$

Второй этап исследований, связан с прогнозом экономических, социальных и экологических последствий ухудшения качественных и количественных характеристик воды в источниках при ведении различных видов хозяйственной деятельности. К сожалению, до настоящего времени в Крыму расчет показателей различных видов ущербов остается трудно решаемой проблемой. Это в первую очередь объясняется тем, что для полной оценки экономических, социальных и экологических показателей гидрологического риска требуется привлечение большого количества данных в различные периоды ухудшения качественных и количественных характеристик воды в системах водоснабжения на рассматриваемой территории. Использование рискологического подхода позволяет проводить распределение статей потерь и убытков между экономическими, социальными и экологическими показателями для устранения повторного счета. Это достигается путем непрерывного учета изменения гидрогеологической обстановки, отображения ее на топографических картах и последующей передачи их в соответствующие пункты управления.

В результате системного подхода к учету вероятностных показателей возникновения негативных событий ( $W_{ij}$ ) и оценки уровней экологических, социальных и экологических ущербов, которые совместно картографируются, строятся карты интегрального показателя гидрогеологического риска. Создание и постоянное обновление значений гидрогеологического риска с учетом масштаба ухудшения текущей обстановки позволяет:

- провести разбивку оцениваемых территорий на блоки с шагом сетки от 0.5 до 2.0 км;
- создать карты унифицированных индикаторов качества и дебита пресной воды в источниках, характеризующих возможность проявления негативных воздействий на жизнедеятельность и ведение различных видов хозяйственной деятельности;
- оценить реальную обстановку для населения и каждой из рассматриваемой территории при ухудшении качественных и количественных характеристик запасов пресной воды с учетом весового коэффициента значимости развития различных видов хозяйственной деятельности и расчета ущерба;
- построение картографических вариантов интегральной оценки показателя гидрогеологического риска для жизнеобеспечения и ведения различных видов хозяйственной деятельности на территориях Крыма в условиях ограниченных ресурсов пресной воды.

## ВЫВОДЫ

В связи с негативными климатическими изменениями, связанными с потеплением климата, невозможностью стабильного использования внешних и внутренних водных источников единственным надежным способом поддержания требований по водообеспечению населения и устойчивому развитию территорий Крыма является создание современной системы мониторинга накапливаемых поверхностными и подземными водными ресурсами с использованием рискологического подхода и АГИС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы водоснабжения на Крымском полуострове и поиск их решения // Б.М. Князев, С.Д. Исаев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 3. – С. 2 -6.
2. Ошкадер А. В. Оценка гидрогеологического риска на территории Керченского полуострова / А.В. Ошкадер, Л. Е. Подлипенская // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: материалы 9 – й международной научно – практической конференции «Геориск – 2015» – № 2/ отв. ред. В. И. Осипов. – М.: РУДН, 2015. – С.286 – 291.
3. Белоусова А. П. Качество подземных: современные подходы к оценке / А.П. Белоусова. – Наука, 2001. – 340 с.
4. Стоянов, В. У. Оценка риска безопасности проживания на территориях северной части Крыма при воздействии комплекса опасных природных явлений и техногенных аварий / В. У. Стоянов, М. В. Бакулина, В. В. Стоянов // Сб. науч. Работ СНУЯЭиП, г. Севастополь, 2013. – Вып. 4/(48). – С.209 – 219.

5. Доклад о состоянии и охране окружающей Республики Крым за 2014 год. – Симферополь: Министерство экологии и природных ресурсов Республики Крым, 2014. – 230 с.

6. Стоянов, В. У. Возможности оценки альтернативных решений по развитию территорий Республики Крым методами ГИС / В. У. Стоянов, М. В. Бакулина, В. В. Стоянов // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики: материалы 22 международной научно – практической конференции, Симферополь-Алушта, 11 – 17 сентября 2017 г. – С. 117-122.

7. Стоянов, В.У. Риски развития территорий Республики Крым при ограниченном ресурсе пресной воды. / В. У. Стоянов, М. В. Бакулина, В. В. Стоянов // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики: материалы 23 международной научно – практической конференции, Симферополь-Алушта, 10 – 14 сентября 2018 г. – С. – 70 -75.

8. Стоянов, В.У. Прогнозно – рискологическая система мониторинга состояния водоснабжения в Республике Крым / В. У. Стоянов, М. В. Бакулина, В. В. Стоянов // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики: материалы 24 международной научно – практической конференции, Симферополь-Алушта, 16 – 20 сентября 2019 г. –С. 40 – 46.

## INTEGRAL ASSESSMENT OF INDICATORS OF HYDROGEOLOGICAL RISK FOR LIFE SUPPORT AND CONDUCTING DIFFERENT TYPES OF ECONOMIC ACTIVITIES IN THE TERRITORIES OF CRIMEA

Bakulina M.V.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

**Annotation.** Currently, a number of conceptual approaches and doctrines for managing the distribution of available freshwater resources in the Crimea are being developed [1]. To date, the focus of scientific research, especially applied research, is an industry-wide economic assessment of the risk of shortage of territorial freshwater reserves. A significant disadvantage of industry-specific economic risk assessments is that most of them are closed to the use of economic safety criteria, leaving social and environmental risks out of sight. In our opinion, a complete and consistent consolidation of the three assessments into a single hydrogeological risk criterion should be carried out using the indicator - risk approach and automated geographical information systems (AGIS), which will create an effective system for monitoring water resources in the Crimea.

**Keywords:** system approach, risk theory, opportunity theory, unification, indicator, cartographic model.