На правах рукописи

ОШКАДЕР Анна Валериевна

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ КЕРЧЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата географических наук

Москва-2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института географии РАН

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор,
Баранов Петр Николаевич

Официальные оппоненты:

Белоусова Анна Павловна, доктор географических наук, Институт водных проблем РАН, главный научный сотрудник лаборатории региональных гидрогеологических проблем (г. Москва)

Епринцев Сергей Александрович, кандидат географических наук, Воронежский государственный университет, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды (г. Воронеж)

Ведущая организация: кафедра рационального природопользования географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва)

Защита состоится «3» февраля 2017 г. в 11-00 на заседании диссертационного совета Д 002.046.03 при Институте географии РАН по адресу:
119017, г. Москва, Старомонетный переулок, 29.
телефон +7 495-959-00-32, e-mail: direct@igras.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на интернет-сайте Института географии РАН: http://www.igras.ru/defences

Автореферат разослан «2» декабря 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета, кандидат географических наук Л.С. Мокрушина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Вопрос обеспечения населения качественной питьевой водой является одним из ключевых аспектов формирования экологической ситуации в регионе, которая зависит ряда разноплановых факторов. Актуальность темы диссертационной работы обусловлена необходимостью современной геоэкологической оценки территории Керченского полуострова, на протяжении длительного времени испытывающего недостаток качественной питьевой воды. Запасы поверхностных вод на полуострове практически отсутствуют, что обуславливает сложную ситуацию в области водоснабжения, а также высокую зависимость от внешнего источника.

В целом, Восточный Крым характеризуется сложными гидрогеологическими условиями: подземные воды представлены системой малых артезианских бассейнов, что обуславливает их разобщенность и малую мощность. Однако, тем не менее, роль подземных вод в водоснабжении отдельных населенных пунктов полуострова достаточно велика. Керченский полуостров, на территории которого расположены Ленинский район и г. Керчь, характеризуется неоднородной плотностью населения и различным уровнем техногенной нагрузки (высокой в прибрежной зоне Керченского пролива и относительно низкой в остальной части полуострова). В связи с этим возникла необходимость разработки научно-обоснованных методов для проведения оценки экологического состояния территории при использовании подземных источников в сложившихся геоэкологических условиях.

Итоговая интегральная геоэкологическая оценка полуострова дает возможность учесть действие разноплановых факторов при различных условиях водоснабжения административно-территориальных единиц, выявить и ранжировать районы по напряженности экологической ситуации, а также разработать приемы оперативного управления и обеспечения экологической безопасности.

Целью данной работы является проведение геоэкологической оценки территории Керченского полуострова при использовании подземных источников водоснабжения для обеспечения экологической безопасности региона.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

1. Определить группу экологических условий, формирующих экологическую ситуацию на Керченском полуострове при использовании подземных источников.
2. Выработать методологический подход к выполнению оценки экологической ситуации с учетом региональных особенностей.

3. Произвести геоэкологическую оценку территории Керченского полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска.

4. Осуществить ранжирование территории Керченского полуострова по напряженности экологической ситуации, выявить закономерности сочетаний различных видов риска и разработать рекомендации по повышению экологической безопасности в рисковых районах.

Объект исследований - территория Керченского полуострова.

Предмет исследований - экологическая ситуация, формирующаяся в результате использования подземных источников водоснабжения.

Методы исследований и фактический материал. Теоретической базой диссертационной работы служили результаты научных исследований, представленные в трудах В.С. Альбова, А.П. Белоусовой, В.А. Бокова, В.М. Гольдберга, П.А. Двойченко, Р.Г. Джамалова, И.С. Зекцера, А.Г. Исаченко, Л.Н. Карлина, В.М. Котлякова, Б.И. Кочурова, А.И. Лычака, А.А. Музалевского, А.Н. Олиферова, В.И. Осипова, М.С. Орлова, Е.А. Ришеса, Г.В. Сдасюк, А.В. Сидоренко, А.М. Трофимова, А.С. Шестакова и др.

При проведении исследований был использован комплекс методов, в том числе общенаучных: анализа и синтеза, сравнения, моделирования и системного анализа. Конкретно-научные методы: метод полевых исследований, картографический и статистический методы исследований, метод экспертных оценок, экологического районирования, ГИС-технологий и т.д.

Сбор научной и фактографической информации проводился в период с 2010 по 2014 гг. по следующим направлениям:

- анализ научных публикаций по теме исследования (более 200 работ);
- маршрутные исследования подземных источников: инвентаризация, определение координат, составление карт-схем размещения, фотосъемка;
- замеры гидрологических и инженерно-технических характеристик каптажей источников: замеры глубин, дебита источников;
- обследования экологического и инженерно-технического состояния каптажей источников и зон санитарной охраны: проведение замеров, выявление потенциальных источников загрязнения;
- работа с фондовыми материалами и статистическими данными ГУП «Крымгеология», Восточно-Крымского историко-культурного музея-заповедника и Филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе» в городе Керчь и Ленинском районе.
- анализ и обработка картографической информации: геологических, гидрогеологических, климатических, геоморфологических, социально-экономических карт.

Обработка фактографических данных, представленных в качественной и количественной формах, в виде таблиц, графиков, схем и картосхем, а также реализация результатов моделирования экологической ситуации на территории полуострова осуществлена с помощью программного обеспечения: Quantum Gis, Microsoft Excel, Microsoft Access.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Диссертационная работа выполнена в рамках **госбюджетных тем**: «Экологический мониторинг курортно-туристических ресурсов на территории Восточного Крыма» (ГР № 0107U011956), «Водообеспечение региона как аспект территориальной экологической безопасности» (ГР № 0113U005752), в которых соискатель принимал активное участие. Основные положения диссертационной работы разрабатывались согласно Программе развития водного хозяйства Автономной республики Крым на период до 2015 года (Постановление Верховного Совета АР Крым № 1121-4/04 от 22.02.2006 г.).

Соответствие диссертации паспорту специальности. Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 25.00.36 – «Геоэкология (науки о Земле)», так как изучение геоэкологических особенностей рационального водопользования входит в круг задач геоэкологии. Проведенные исследования отвечают следующим пунктам паспорта специальности: 1.8. «Природная среда и геоиндикаторы ее изменения под влиянием урбанизации и хозяйственной деятельности человека…», 1.12. «Геоэкологический мониторинг и обеспечение экологической безопасности, средства контроля», 1.16. «Геоэкологические аспекты устойчивого развития регионов».

На защиту выносятся следующие положения:

1. Оценка последствий использования подземных вод для их потребителей (остроты экологической ситуации) выполняется с помощью нелинейной математической модели гидрогеоэкологического риска, основанной на применении логистической и гауссовской функций. Исходные данные для моделирования (факторы риска) включают: индикаторы качества и дефицита воды, техногенной нагрузки и плотности населения. При этом производится унификация каждого индикатора. Ранжирование факторов риска по уровню их опасности для человека производится на основании рассчитанных безразмерных шкал остроты экологической ситуации, включающих градации: «удовлетворительная» - 0-0,2, «напряженная» - 0,2-0,8 и «критическая» - 0,8-1,0.

2. В случае использования в качестве источника водоснабжения Керченского полуострова поверхностных (Северо-Крымский канал) и подземных вод (колодцы, скважины, родники) уровень гидрогеоэкологического риска в 53% районов полуострова характеризуется как «низкий» (класс А), ситуация – «удовлетворительная». В 47% районов он оказывается «средний» (класс В), а

ситуация - «напряженная». При этом в 81% районов главным фактором «низкого» риска оказывается отсутствие дефицита воды, а доля районов с «удовлетворительной» ситуацией составляет 13%, с «напряженной» – 6%.

3. В случае использования в качестве источника водоснабжения только подземных вод уровень гидрогеоэкологического риска в 66% районов полуострова характеризуется как «высокий» (класс С) с «критической» экологической ситуацией. В 25% районов риск «средний» (класс В) с «напряженной» ситуацией и лишь в 10% районов он «низкий» (класс А) с «удовлетворительной» ситуацией. При этом в 94% районов главными факторами «высокого» риска оказываются наличие дефицита воды и ее низкое качество.

4. Изменение уровня гидрогеоэкологического риска (устойчивость ситуации) на Керченском полуострове связано с характером использования вод Северо-Крымского канала. Только в 9% районов ситуация остается устойчиво «удовлетворительной» и в 16% - устойчиво «напряженной» независимо от использования вод канала. В случае прекращения водоснабжения из канала в 9% районов ситуация меняется с «удовлетворительной» на «напряженную», в 32% - с «напряженной» на «критическую» и в 34% - с «удовлетворительной» на «критическую».

Научная новизна полученных результатов.

1. Впервые систематизирована и детально проанализирована обширная информация о подземных источниках водоснабжения Керченского полуострова, техногенной нагрузке в регионе, пространственном распределении населения, на основе чего была создана база данных «Подземные воды Керченского полуострова».

2. Впервые разработана методика оценки экологической ситуации при использовании подземных вод полуострова с применением системы интеграции унифицированных экологических показателей.

3. Впервые произведена геоэкологическая оценка территории Керченского полуострова на основе разработанных моделей.

4. Впервые произведено ранжирование территории Восточного Крыма по уровню гидрогеоэкологического риска и его составляющих.

Практическое значение полученных результатов. Результаты исследований будут использованы для усовершенствования планирования и реализации программ устойчивого развития Восточного Крыма и для решения следующих прикладных задач:

1. Разработки программ водообеспечения населения отдельных районов полуострова.

2. Решения социально-экономических и экологических проблем сельских районов, испытывающих дефицит качественной питьевой воды.

3. Усовершенствования структуры водопользования Керченского полуострова, особенно в сельской местности.

4. Дальнейшей разработки карт геоэкологического состояния и карт гидрогеоэкологического риска для всей территории Крымского полуострова и степных районов юга России.

5. Подготовки специалистов в сфере экологии и природопользования, геоэкологии, рационального использования водных ресурсов.

Личный вклад автора. Автором произведен сбор и обработка фондовых и опубликованных материалов, выполнены на их базе аналитические обобщения, обследовано 81 артезианская скважина, 30 шахтных колодцев и 17 родников. Выполнены замеры и расчет гидрологических параметров, произведена оценка инженерно-технических характеристик каптажей и состояния зон санитарной охраны источников подземных вод. Автором создана база данных «Подземные воды Керченского полуострова», выделены показатели геоэкологического состояния региона, произведена их унификация и интеграция. Созданы модели, на основании которых произведено ранжирование территории Керченского полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска. На основе произведенной геоэкологической оценки создан картографический материал.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты исследований и главные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на девяти международных конференциях:

1. Международная научно-практическая конференция «Устойчивое развитие регионов», 19-22 октября 2011 г., г. Керчь (Украина).

2. VII Международная практическая конференция «Инновации в науке», 27 июня 2011 г., г. Прага (Чехия).

3. IX Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии», 23-25 октября 2013 г., г. Гродно (Беларусь).

4. III Международная научно-практическая конференция «Здоровый образ жизни: проблемы и опыт», 5-7 ноября 2013 г., г. Днепропетровск (Украина).

5. XI Международная научно-техническая конференция «Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов», 12–20 ноября 2013 г., г. Эйлат (Израиль).

6. Международная конференция «Наука в эпоху дисбалансов», 30 апреля 2014 г., г. Киев (Украина).

7. Международная научная конференция «География: вызовы XXI века», 08-12 апреля 2014 г., г. Симферополь (Россия).

8. XIII Международная научно-практическая конференция «Природно-ресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России», 29 января 2015 г., г. Пенза (Россия).

9. IX Международная научно-практическая конференция «Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире», 12-14 октября 2015 г., г. Москва (Россия).

Кроме того, результаты исследований докладывались на шести научно-практических конференциях преподавателей, аспирантов и сотрудников университета «Морские технологии: проблемы и решения», в 2010-2016 гг., г. Керчь. На XII Всеукраинской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Экологические проблемы регионов Украины», 24-26 марта 2010 г., г. Одесса (Украина). На Национальном форуме «Обращение с отходами в Украине: законодательство, технологии», 24-25 октября 2013 г., г. Луганск (Украина). На второй Молодежной научно-практической летней школе Русского географического общества «География в современном мире: проблемы и перспективы», 20-28 июля 2014 г., Калужская область (Россия). На Всероссийской научно-практической конференции «Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика», 12-13 октября 2015 г., г. Волгоград (Россия). На VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Эколого-географические проблемы регионов России», 15 января 2016 г., г. Самара (Россия). На Юбилейной конференции, посвященной 25-летию образования ИГЭ РАН «Восемнадцатые Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи», 25-26 марта 2016 г., г. Москва (Россия).

Публикации. По результатам диссертационной работы опубликовано 24 работы, из них 11 научных статей (2 в специализированных изданиях, утвержденных ВАК РФ), 12 публикаций в материалах конференций и 1 монография.

Объем и содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы (202 наименования) и содержит 193 страницы текста, 52 рисунка, 41 таблицу. Приложения изложены на 4 страницах. Общий объем диссертации составляет 197 страниц.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность к.г.-м.н., доц. И.Д. Кудрик за консультации, научно-методическую помощь и поддержку на всех этапах диссертационной работы; к.т.н., доц. Л.Е. Подлипенской, к.б.н., доц. Т.В. Хребтовой, сотрудникам лаборатории гидрологии Института географии РАН за критические замечания и ценные советы; специалистам Филиала ФБУЗ «ЦГиЭ в РК и городе федерального значения Севастополе» в г. Керчь и Ленинском районе, ГУП «Крымгеология» и Восточно-Крымского историко-культурного музея-заповедника за помощь в предоставлении фондовых и статистических данных. Особую благодарность выражаю научному руководителю проф. П.Н. Баранову за

доброжелательное отношение и постоянную поддержку при подготовке диссертационной работы на заключительном этапе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования, описана научная новизна, обозначены защищаемые положения и представлена структура работы.

В первой главе выполнен анализ изученности подземных вод Керченского полуострова, дана характеристика района проведения исследований, представлен объем собранного, обработанного материала и основные методы исследований. В ходе изучения литературных источников и фондовых материалов по истории освоения подземных вод Керченского полуострова было выделено пять этапов гидрогеологических исследований.

Для проведения геоэкологической оценки территории Керченского полуострова был систематизирован и проанализирован обширный фактографический материал, который послужил основой созданной базы данных «Подземные воды Керченского полуострова». При проведении диссертационного исследования был использован комплекс методов, который позволил получить наиболее полную и объективную информацию для осуществления геоэкологической оценки в регионе при использовании подземных вод.

Во второй главе приводится эколого-географическая и эколого-гидрогеологическая характеристика Керченского полуострова: геологическое строение, орография и климат.

Формирование экологической обстановки на территории Керченского полуострова тесно связано с характером природопользования, которое является итогом взаимодействия природных условий, исторических и геополитических факторов, а также транспортно-географического положения. По результатам проведенного анализа была построена карта техногенной нагрузки на территории Керченского полуострова с указанием основных источников загрязнения окружающей среды.

Современная система питьевого водоснабжения полуострова базируется на использовании сети источников централизованного и децентрализованного водоснабжения. Основным источником централизованного водоснабжения Керченского полуострова является Северо-Крымский канал. Водоснабжение населенных пунктов полуострова водой из канала осуществляется через систему водохранилищ.

Подземные воды, в силу природных условий территории, дефицитны. Одновременно, с точки зрения социально-экономического состояния региона, они

являются важной составляющей водообеспечения. Подземные источники являются важным ресурсом для обеспечения насущных потребностей населения, а также стратегическим ресурсом в случае возникновения чрезвычайных ситуаций при условиях недоступности, недостаточности или же невозможности использования поверхностных вод.

В настоящее время на Керченском полуострове наблюдается крайне сложная ситуация в области водоснабжения. Поэтому при выполнении геоэкологической оценки территории полуострова необходимо было учесть разноплановые факторы: гидрогеологические условия, водообеспеченность региона и качество питьевой воды, уровень техногенной нагрузки и плотность населения.

Третья глава посвящена методике оценки экологической ситуации при использовании подземных вод. Для оценки экологической ситуации на территориях, где подземные воды играют существенную роль в структуре водоснабжения, предложено использовать индикаторно-рискологический подход. В работе под экологической ситуацией понимается пространственно-временное сочетание условий и факторов, различных с точки зрения условий проживания и состояния человека и создающих определенную экологическую обстановку на территории при использовании подземных источников.

Разработанная методика геоэкологической оценки предусматривает: выявление различных экологических условий, создающих определенную экологическую обстановку на территории при использовании подземных источников водоснабжения; определение классов состояния структурообразующих компонентов, которые формируют экологические условия; формирование информационной основы для оценки экологической ситуации; создание системы унифицированных экологических индикаторов; выполнение комплексной оценки экологического риска путем интеграции; оценка уровня остроты проявления экологической ситуации.

В качестве условий, формирующих экологическую ситуацию на территории при использовании подземных источников водоснабжения, были определены: качество воды, водообеспеченность из подземных водозаборов, техногенная нагрузка в пределах территориальных единиц и пространственное распределение населения. По уровню остроты проявления экологической ситуации выделена трехшаговая градация: удовлетворительная, напряженная и критическая.

Важным этапом предложенной методики является обработка экспериментальных данных, при этом часто возникает проблема анализа большого объема разноплановой информации. В этом случае ключевым аспектом является определение унифицированных показателей состояния объекта и приведение их к единой системе безразмерных оценок, что впоследствии

позволяет выделять значимые показатели, обобщать данные по необходимым критериям, проводить анализ и вырабатывать алгоритм дальнейших работ. На основании проведенных исследований сформирована схема, которая информационно отображает основные компоненты представленной унификации частных показателей и переход к экологическим индикаторам (рисунок 1).

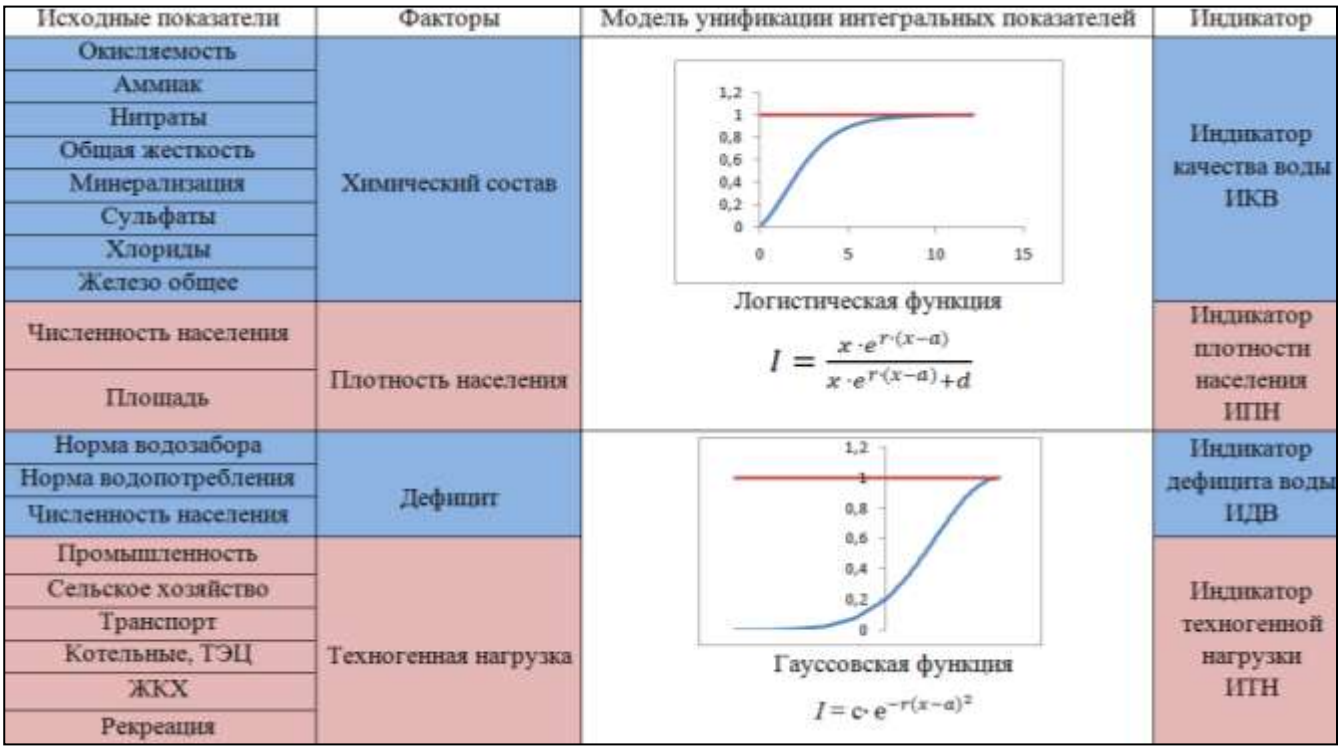


Рисунок 1 - Схема перехода к системе унифицированных показателей

Исходные показатели были объединены в четыре группы факторов: химический состав, дефицит, техногенная нагрузка и плотность населения, для которых были вычислены интегральные характеристики. В итоге с помощью моделей унификации интегральных показателей были рассчитаны: индикатор качества воды (ИКВ), индикатор дефицита воды (ИДВ), индикатор техногенной нагрузки (ИТН) и индикатор плотности населения (ИПН).

Таким образом, в результате применения предложенной технологии унификации частных показателей сформирована система стандартных значений экологических индикаторов со значениями в интервале от 0 до 1, при этом каждый из них характеризует свою сторону экологической ситуации, являясь оценкой последствий реализации соответствующей опасности. Полученная система экологических индикаторов (ИКВ, ИДВ, ИПН, ИТН), характеризующих последствия опасных ситуаций, легла в основу моделей количественной оценки экологического риска при использовании подземных вод.

В данной работе под экологическим риском понимается оценка возможности появления опасности с учетом последствий, возникающих при

использовании подземных источников водоснабжения, в сложившихся экологических условиях территории. В основе построения моделей количественной оценки экологического риска лежит принцип интеграции, согласно которому система оценок экологической опасности различного уровня представляется в виде пирамиды, основание которой составляют индикаторы, характеризующие определенные экологические условия. Алгоритм интеграции и создания моделей представлен в виде трехуровневой системы комплексной количественной оценки экологического риска и имеет пирамидальную структуру (рисунок 2).

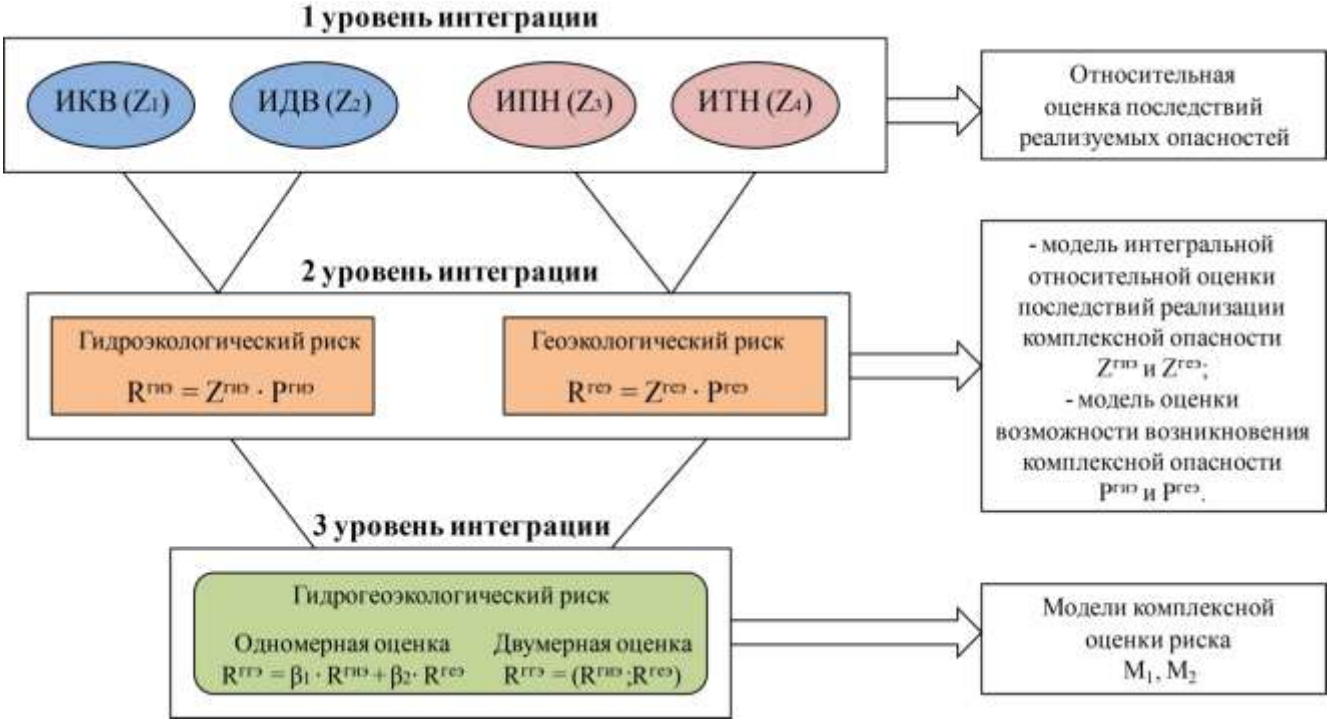


Рисунок 2 - Трехуровневая система комплексной количественной оценки экологического риска

Первый уровень интеграции. Производится расчет относительных оценок последствий проявления опасностей S_1-S_4 – определение индикаторов экологического состояния подземных вод: ИКВ, ИДВ, ИТН, ИПН на основании первичных экологических показателей.

Второй уровень интеграции. Включает попарную интеграцию индикаторов, полученных на первом уровне, оценку возможностей проявления опасных событий и собственно расчет экологического риска.

Индикаторы интегрируются следующим образом:

- ИКВ и ИДВ формируют оценку последствий для расчета гидроэкологического риска;

- ИТН и ИПН формируют оценку последствий для расчета геоэкологического риска.

В данной работе под гидроэкологическим риском понимается количественная мера возможности появления опасности, связанной с дефицитом воды и ее низким качеством, с учетом последствий, возникающих при использовании подземных вод в исследуемом регионе. Под геоэкологическим риском понимается количественная мера возможности появления опасности с учетом последствий, возникающих при определенном уровне техногенной нагрузки в районе использования подземных вод и плотности населения на данной территории.

Для интегральной оценки последствий рассмотренных комплексов опасностей в i-районе используются следующие модели:

1. Нелинейная аддитивная модель оценки последствий для расчета гидроэкологического риска (1):

$$Z_i^{гиэ} = \alpha_1 Z_{1i} + \alpha_2 Z_{2i}, \quad (1)$$

где Z_{1i}, Z_{2i} – значения индикаторов ИКВ и ИДВ для i-района, весовые коэффициенты интеграции α_1 и α_2 вычисляются по формулам (2), (3):

$$\alpha_2 = \frac{Z_{2i} \cdot e^{2,3105 \cdot Z_{2i}}}{Z_{2i} \cdot e^{2,3105 \cdot Z_{2i}} + 1,2699}, \quad (2)$$

$$\alpha_1 = 1 - \alpha_2 \quad (3)$$

Особенность данного способа интеграции заключается в возможности управления значимостью индикаторов качества подземных вод (Z_1) и дефицита подземных вод (Z_2) в общем интегральном индикаторе $Z^{гиэ}$ за счет применения нелинейных весовых коэффициентов α_1 и α_2, которые определяются через экспоненциальную сигмоиду. Предлагаемые весовые коэффициенты действуют в интегральной формуле таким образом, что при незначительном дефиците воды на первое место в интегральном показателе $Z^{гиэ}$ выходит качество подземных вод, а при увеличении дефицита вод – большую значимость приобретает индикатор дефицита подземных вод.

2. Линейная аддитивная модель оценки последствий для расчета геоэкологического риска (4) характеризует равнозначное влияние составляющих индикаторов техногенной нагрузки Z_{3i} и плотности населения Z_{4i} на интегральный индикатор $Z^{геэ}$:

$$Z_i^{\text{геэ}} = 0{,}5 \cdot Z_{3i} + 0{,}5 \cdot Z_{4i} \quad (4)$$

После проведения оценки последствий возможных опасностей с помощью вышеуказанных моделей была проведена оценка возможностей (или вероятностей) реализации событий, имеющих неблагоприятные последствия. Наибольшая неопределенность появления этих событий связана с использованием подземных вод в качестве источника водоснабжения. Для оценки меры возможности появления этого события предложено использовать долю подземных вод в общей структуре водопользования в рассматриваемом регионе, которая рассчитывается по формуле (5):

$$P_i^{\text{гиэ}} = \frac{Q_{1i}}{Q_{1i}+Q_{2i}+Q_{3i}}, \quad (5)$$

где $P_i^{\text{гиэ}}$ – оценка возможности проявления опасности, связанной с использованием подземных вод в качестве источника водоснабжения для i-района; Q_{1i} - объем поставок воды из подземных источников для i-района; Q_{2i} - объем поставок воды из поверхностных источников для i-района; Q_{3i} - объем поставок воды из иных источников для i-района.

Возможность проявления геоэкологического риска $P_i^{\text{геэ}}$ в i-районе оценивается статистическими, эвристическими или иными методами.

На завершающей стадии второго уровня интеграции с учетом моделей (1), (4) и оценок $P_i^{\text{гиэ}}$ и $P_i^{\text{геэ}}$ рассчитываются значения гидроэкологического ($R_i^{\text{гиэ}}$) (6) и геоэкологического ($R_i^{\text{геэ}}$) (7) рисков:

$$R_i^{\text{гиэ}} = Z_i^{\text{гиэ}} \cdot P_i^{\text{гиэ}}, \quad (6)$$

$$R_i^{\text{геэ}} = Z_i^{\text{геэ}} \cdot P_i^{\text{геэ}}. \quad (7)$$

Третий уровень интеграции. Является заключительным и включает расчет гидрогеоэкологического риска, под которым понимается интегральная характеристика экологической опасности ситуации, связанной с уровнями геоэкологического и гидроэкологического рисков. Оценка гидрогеоэкологического риска производится с помощью следующих моделей:

1. Нелинейная аддитивная модель гидрогеоэкологического риска (8):

$$R_i^{\text{ггэ}} = \beta_1 \cdot R_i^{\text{гиэ}} + \beta_2 \cdot R_i^{\text{геэ}}, \quad (8)$$

где весовые коэффициенты интеграции гидроэкологического и геоэкологического рисков вычисляются по формулам (9), (10):

$$\beta_1 = \frac{R_i^{\text{гиэ}} \cdot e^{2{,}3105 \cdot R_i^{\text{гиэ}}}}{\mathrm{Z}_i^{\text{гиэ}} \cdot e^{2{,}3105 \cdot R_i^{\text{гиэ}}} + 1{,}2699}, \quad (9)$$

$$\beta_2 = 1 - \beta_1, \quad (10)$$

В данном случае при незначительной антропогенной нагрузке на первое место в интегральном показателе $Z^{\text{ггэ}}$ выходит гидроэкологический риск, а при увеличении техногенной нагрузки – большую значимость приобретает геоэкологический риск.

2. Модель оценки гидрогеоэкологического риска по наихудшему сценарию (11):

$$R_i^{\text{ггэ}} = \max\{\mathrm{R}_i^{\text{гиэ}} : \mathrm{R}_i^{\text{геэ}}\}, \quad (11)$$

Данная модель характеризует развитие экологической ситуации по пессимистическому сценарию, т.е. из двух составляющих итоговой оценки гидрогеоэкологического риска выбирается наихудшая.

Таким образом, представленная трехуровневая система позволяет произвести интегральную оценку экологического риска в регионе при использовании подземных вод в сложившихся экологических условиях и произвести ранжирование территории по уровню остроты проявления экологической ситуации.

Оценка остроты проявления экологической ситуации выполняется на нескольких уровнях:

1. Покомпонентная оценка с помощью полученных значений экологических индикаторов ИДВ, ИКВ, ИТН, ИПН. Этот шаг является важным для управления, поскольку позволяет оценить вклад каждой составляющей в общую интегральную оценку и определить группу мероприятий, которые должны стать первоочередными для стабилизации ситуации.

2. Двукомпонентная оценка на основании рассчитанных значений гидроэкологического и геоэкологического рисков.

3. Интегральная одномерная и двумерная оценка. Одномерная оценка выполняется на основании значений гидрогеоэкологического риска.

Четвертая глава посвящена оценка экологической ситуации на Керченском полуострове при использовании подземных вод.

Для работы с пространственными данными по геоэкологической оценке территории Керченского полуострова при использовании подземных источников водоснабжения и соответствующим им атрибутивной информацией на основе программы Quantum GIS был создан локальный ГИС-проект «Voda_Kerch». В результате первичной обработки были получены частные показатели: индекс загрязнения подземных вод (ИЗПВ), дефицит (D), уровень техногенной нагрузки (УТН), плотность населения (ПН) для районов Керченского полуострова. Полученные частные показатели подвергались дальнейшей унификации.

Оценка риска производилась на основе нелинейной модели по двум сценариям.

Сценарий 1. «Поверхностные и подземные воды» - структура водопользования представлена поверхностными и подземными водами. При развитии ситуации по сценарию 1 уровень гидрогеоэкологического риска в 53% районов полуострова характеризуется как «низкий» (класс А), ситуация – «удовлетворительная». В 47% районов он оказывается «средний» (класс В), а ситуация - «напряженная». Такое распределение обусловлено особенностями современной структуры водоснабжения полуострова, представленной поверхностными и подземными источниками, а также уровнем социально-экономического развития региона.

Сценарий 2. «Отсутствие поверхностных вод» - соответствует чрезвычайной ситуации в случае прекращения водоснабжения из поверхностных источников и исключительного использования существующих подземных источников. При развитии ситуации по сценарию 2 уровень гидрогеоэкологического риска в большинстве районов (66%) Керченского полуострова высокий (класс С) с критической экологической ситуацией. Одна четвертая часть районов (25%) характеризуется средним риском с напряженной экологической ситуацией (класс В) и 10% составляют районы с удовлетворительной ситуацией (класс А).

Завершающим этапом оценки риска является управление, которое включает разработку мероприятий по повышению экологической безопасности в районах, подверженных высокому риску. В данном случае ключевым аспектом является классификация, объединение и дальнейшее ранжирование районов по уровню гидрогеоэкологического риска с целью выделения приоритетных групп, в которых меры по снижению уровня риска являются первоочередными.

За основу выполнения ранжирования территории Керченского полуострова была выбрана нелинейная аддитивная модель гидрогеоэкологического риска (8). В ходе графического анализа были выявлены следующие закономерности:

В случае развития ситуации по сценарию 1 «Поверхностные и подземные воды» районы полуострова характеризуются низким и средним уровнями риска. Основным фактором, который обуславливает сложившуюся ситуацию, является

доля подземных вод в общей структуре водопользования района. В случае реализации сценария 2 «Отсутствие поверхностных вод» ситуация значительно ухудшается – две трети районов полуострова перемещаются в зону с высоким уровнем риска, что обусловлено зависимостью от поверхностного источника водоснабжения и дефицитом воды из подземных источников.

По результатам ранжирования районы полуострова были объединены в группы с различным уровнем гидрогеоэкологического риска, разница между рангами составляла 0,1. Разработанная система ранжирования является эффективным механизмом управления, позволяет выявить ареалы острых экологических проблем и провести двумерный рейтинг районов, учитывающий их устойчивость к действию опасностей, возникающих при использовании подземных источников водоснабжения. Для этого районы полуострова были объединены в пять кластеров по двумерному рейтингу, первая буква соответствует индексу состояния по сценарию 1, а вторая – по сценарию 2 (рисунок 3).



Рисунок 3 - Распределение кластеров устойчивости экологической ситуации на Керченском полуострове при переходе от сценария 1 к сценарию 2

1. Кластер АА включает три района Керченского полуострова (№ 6,8,13), что составляет 9% от общего количества ранжированных районов, и характеризуется устойчивой экологической ситуацией. Низкий уровень

гидрогеоэкологического риска в случае реализации сценариев 1 и 2 в данных районах обусловлен высоким качеством подземных вод, достаточной водообеспеченностью, низкой плотностью населения и незначительной техногенной нагрузкой. Следовательно, выделенные районы являются независимыми от поверхностного источника водоснабжения и экологическая ситуация в случае исключительного использования подземных вод стабильно удовлетворительная. Для поддержания сложившейся ситуации допускается увеличение водозаборов подземных вод с учетом эксплуатационных запасов и использование систем водоподготовки для улучшения их качества.

2. Кластер ВВ включает пять районов Керченского полуострова (№ 7,9,12,14,16), что составляет 16% от общего количества ранжированных районов, и характеризуется устойчиво напряженной экологической ситуацией с допустимым уровнем гидрогеоэкологического риска. Основной причиной сложившейся ситуации является дефицит воды подземных источников водоснабжения. Ранее показано, что в данных районах, за исключением Семисотского сельского поселения (№16), подземные воды являются основным источником водоснабжения. Остальные составляющие гидрогеоэкологического риска характеризуются низкими и средними показателями. Следовательно, для повышения экологической безопасности выделенного кластера необходимо увеличить количество водозаборов подземных вод с учетом их эксплуатационных запасов до уровня необходимой водообеспеченности, а также использовать системы водоподготовки для улучшения качества питьевой воды.

3. Кластер АВ включает три района Керченского полуострова (№10,11,15), что составляет 9% от общего количества ранжированных районов. Он характеризуется неустойчивой экологической ситуацией. Здесь наблюдается одноступенчатый переход от удовлетворительной (класс А) до напряженной (класс В) экологической ситуации. Уровень техногенной нагрузки и плотность населения в данных районах низкие, определяющими факторами являются дефицит и качество потребляемой воды. В Челядиновском (№10) и Заветненском (№11) сельских поселениях подземные воды являются основным источником водоснабжения. Следовательно, для повышения экологической безопасности выделенного кластера необходимо увеличить количество водозаборов подземных вод до уровня необходимой водообеспеченности. Для стабилизации ситуации возможно подведение воды из соседних районов с учетом эксплуатационных запасов подземных вод. Повышение качества питьевой воды возможно при использовании систем доочистки и водоподготовки.

4. Кластер ВС включает десять районов Керченского полуострова (№ 1-5,17,18,21,30,31), что составляет 32% от общего количества ранжированных районов, и характеризуется неустойчивой экологической ситуацией - наблюдается

одноступенчатый переход от напряженной (класс В) в критическую (класс С) экологическую ситуацию. Основными факторами гидрогеоэкологического риска являются дефицит воды подземных источников водоснабжения, а также высокая плотность населения, которая в свою очередь влияет на степень дефицитности. В данный кластер попали самые густонаселенные районы Керченского полуострова: городской округ Керчь (район № 1-5), г. Щелкино (№17) и Лениново сельское поселение (№18). В остальных районах артезианские скважины отсутствуют (№ 21,30,31). Несмотря на то, что в восточной части сконцентрирована большая часть исследованных подземных источников, в случае отсутствия основного поверхностного источника имеющееся количество артезианских скважин является недостаточным. Следовательно, в случае реализации сценария 2, для обеспечения экологической безопасности выделенного кластера, следует увеличить количество водозаборов подземных вод до уровня необходимой водообеспеченности с учетом эксплуатационных запасов подземных вод, а также, в случае их недостаточности, использовать иные возможные источники водоснабжения. Кроме того, следует использовать системы доочистки и водоподготовки для повышения качества питьевой воды.

5. Кластер АС включает двенадцать районов Керченского полуострова (№ 19,20,22-29,32), что составляет 34% от общего количества ранжированных районов. Выделенный кластер является наиболее уязвимым и характеризуется неустойчивой экологической ситуацией. Наблюдается двухступенчатый переход экологической ситуации от удовлетворительной (класс А) до критической (класс С). В данных районах отсутствуют подземные источники водоснабжения, а на территории Батальненского (№19), Кировского (№24) и Луговского (№27) сельских поселений отсутствуют водоносные горизонты подземных вод. Следовательно, при недоступности поверхностного источника водоснабжения для повышения экологической безопасности необходимо обеспечить данный кластер за счет систем водоводов из близлежащих районов с использованием систем водоподготовки.

Кластерный анализ показал, что основным фактором опасности, существенно влияющим на уровень гидрогеоэкологического риска в различных районах полуострова, является дефицит подземных источников водоснабжения. Следовательно, основным стабилизирующим мероприятием, в случае исключительного использования подземных вод, является увеличение количества водозаборов. При этом необходимо учитывать потребности населения и эксплуатационные запасы подземных вод в каждой административно-территориальной единице.

Таким образом, проведенные исследования и разработанный алгоритм позволили произвести геоэкологическую оценку состояния и провести

ранжирование территории Керченского полуострова по напряженности экологической ситуации при использовании подземных источников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа является законченной научно-исследовательской работой, в которой решена актуальная задача геоэкологической оценки территории Керченского полуострова при использовании подземных источников водоснабжения. Проведенные исследования позволили получить следующие научные и практические результаты:

1. Систематизирована обширная информация о гидрогеологических условиях и подземных источниках водоснабжения Керченского полуострова, техногенной нагрузке в регионе, пространственном распределении населения, на основе чего была создана база данных «Подземные воды Керченского полуострова».

2. Выявлены основные проблемы водного хозяйства Керченского полуострова: высокая зависимость от внешнего источника водоснабжения, отсутствие систем водообеспечения и водоотведения в большинстве сельских населенных пунктов, низкое качество воды и его постоянное ухудшение. Установлено, что подземные воды на полуострове распространены не повсеместно и объемы водозабора сравнительно небольшие, по сравнению с поверхностными источниками, при этом их роль в водоснабжении полуострова, в частности сельских районов, является существенной.

3. Разработана методология оценки экологической ситуации при использовании подземных вод, которая включает шесть последовательных шагов: выявление экологических условий, создающих определенную экологическую обстановку; определение классов состояния структурообразующих компонентов, которые формируют экологические условия; оценивание экологической ситуации на основании частных показателей; унификация частных показателей; интеграция унифицированных показателей и оценка уровня остроты проявления экологической ситуации.

4. Предложен и апробирован подход к унификации разнородных частных показателей, заключающийся в применении нелинейных шкалирующих функций (гауссовской и экспоненциальной сигмоиды). В результате сформирована система экологических индикаторов, включающая индикатор качества воды (ИКВ), индикатор дефицита воды (ИДВ), индикатор техногенной нагрузки (ИТН) и индикатор плотности населения (ИПН), с безразмерной шкалой оценок от 0 до 1.

5. Сформирована трехуровневая пирамидальная структура интеграции отдельных экологических индикаторов в комплексные показатели. Эта структура

позволяет оценить экологическую ситуацию как по итоговому показателю для характеристики экологической ситуации в целом с учетом всех составляющих рисков, так и по отдельным компонентам оценки (с помощью алгоритма «обратного хода») для выявления причин ухудшения ситуации. Этот подход может быть использован на стадии формирования управленческих решений для оптимизации экологических условий проживания населения в районах, испытывающих дефицит воды.

6. Произведена оценка экологической ситуации на Керченском полуострове по уровню гидрогеоэкологического риска на основе нелинейной модели по сценариям «Поверхностные и подземные воды» и «Отсутствие поверхностных вод». Установлено, что при развитии ситуации по первому сценарию уровень гидрогеоэкологического риска в 53% районов полуострова характеризуется как «низкий» (класс А), ситуация – «удовлетворительная». В 47% районов он оказывается «средний» (класс В), а ситуация - «напряженная». В случае развития ситуации по второму сценарию уровень гидрогеоэкологического риска в 66% районов полуострова характеризуется как высокий (класс С) с критической экологической ситуацией, в 25% - средний риск с напряженной экологической ситуацией (класс В) и 10% составляют районы с удовлетворительной ситуацией (класс А).

7. Выполнено ранжирование территории Керченского полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска. При одномерном ранжировании районов выделено семь кластеров по сценарию «Поверхностные и подземные воды» и восемь кластеров по сценарию «Отсутствие поверхностных вод». При двумерном ранжировании районы полуострова были объединены в пять кластеров. Показано, что основным фактором опасности, существенно влияющим на уровень гидрогеоэкологического риска в различных районах полуострова, является дефицит воды подземных источников водоснабжения.

8. Выделены районы Керченского полуострова по степени устойчивости экологической ситуации и определена очередность решения проблем в области водоснабжения с учетом сложившейся ситуации. Определены приоритетные районы с критической экологической ситуацией и разработаны мероприятия для оперативного управления с целью повышения экологической безопасности региона в целом.

Основные положения диссертации опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Ошкадер А.В.** Методологические основы оценки экологической ситуации при использовании подземных вод // Проблемы региональной экологии. - 2015. - № 6. - С. 97-102.
2. **Ошкадер А.В.** Оценка экологической ситуации на Керченском полуострове при использовании подземных вод // Проблемы региональной экологии. - 2016. - № 1. - С. 18-25.

и других изданиях:

3. Кудрик И.Д., Ковалев Н.И., Белявский С.Г., Хребтова Т.В., **Ошкадер А.В.** Экологический мониторинг курортно-туристических ресурсов Крыма: монография. - Севастополь: изд-во «Черкасский ЦНТЭИ», 2013. - 257 с.
4. Кудрик И.Д., **Ошкадер А.В.** Анализ законодательства Украины в сфере водопользования в контексте обеспечения устойчивого развития Керченского полуострова // Экологическая безопасность. - 2012. - № 1. - С. 38-42.
5. Кудрик И.Д., **Ошкадер А.В.** Анализ экологического состояния артезианских скважин Керченского полуострова // Международный сборник научных статей «Экологические проблемы постсоветского пространства». - Липецк, 2014. - С. 66-76.
6. Кудрик И.Д., **Ошкадер А.В.** Гидрогеоэкологические особенности формирования подземных вод Керченского полуострова // Культура народов Причерноморья. - Симферополь, 2014. - № 269. - С. 131-135.
7. Кудрик И.Д., **Ошкадер А.В.** Концептуальные подходы к оценке экологических рисков при использовании подземных вод // Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов: XI Международная научно-техническая конференция, 12-20 ноября 2013 г.: тез. докл. / ХНУ. - Хмельницкий, 2013. - С. 74-77.
8. Кудрик И.Д., **Ошкадер А.В.** Особенности оценки экологического риска при использовании подземных вод Керченского полуострова // Вестник Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина. - 2013. - № 1084. - С. 223-228.
9. Кудрик И.Д., **Ошкадер А.В.** Подземные воды и их место в структуре водопользования Керченского полуострова // Наука в эпоху дисбалансов: международная конференция, 30 апреля 2014 г.: сборник трудов. Киев, 2014. - С. 79-82.
10. Кудрик И.Д., **Ошкадер А.В.** Экологическая оценка загрязнения подземных вод Керченского полуострова тяжелыми металлами // Экологическая

безопасность. - 2013. - № 1. - С. 88-91.

11. Кудрик И.Д., **Ошкадер А.В.** Экологические аспекты обеспечения населения качественной питьевой водой (на примере Керченского полуострова) // Актуальные проблемы экологии: IX Международная научно-практическая конференция, 23-25 октября 2013 г.: матер. докл. / ГрГУ им. Я. Купалы. - Гродно, 2013. - С. 100-101.

12. Кудрик И.Д., **Ошкадер А.В.** Экомониторинг качества подземных вод Керченского полуострова // Геополитика и экогеодинамика регионов. - 2014. - Т.10, Вып. 2. - С. 622-628.

13. Кудрик И.Д., **Ошкадер А.В.,** Подлипенская Л.Е. Система унифицированных индикаторов как инструмент оценки экологических ситуаций прибрежных зон // Природно-ресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России: XIII Междунар. научно-практич. конф., 29 января 2015 г.: сб. докладов. - Пенза: РИО ПГСХА, 2015. - С.44-47.

14. Кудрик И.Д., **Ошкадер А.В.**, Пыцкий Г.Н. Проблемы предоставления земель водного фонда в собственность, в пользование и в аренду на территории АР Крым // Устойчивое развитие регионов: Международная научно-практическая конференция, 19-22 октября 2011 г.: матер. докл. / КГМТУ. - Керчь, 2011 - С. 35-36.

15. Кудрик И.Д., **Ошкадер А.В.**, Хребтова Т.В. Эколого-гидрогеологические аспекты функционирования полигона твердых бытовых отходов в г. Керчи // Обращение с отходами в Украине: законодательство, экономика, технологии: Национальный форум, 24-25 октября 2013 г.: матер. нац. форума / Центр экологического образования и информации. - К., 2013. - С. 114-116.

16. **Ошкадер А.В**. Оценка качества питьевой воды подземных источников на территории Керченского полуострова // Здоровый образ жизни: проблемы и опыт: III Международная научно-практическая конференция, 5-7 ноября 2013 г.: матер. докл. / Национальный горный университет. - Днепропетровск, 2013. - С. 294-296.

17. **Ошкадер А.В.** Оценка современного экологического состояния артезианских скважин на территории Керченского полуострова // Экологическая безопасность и природопользование. - 2014. - № 14. - С. 116-125.

18. **Ошкадер А.В.** Оценка социально-экологических параметров потребления питьевой воды на территории Керченского полуострова // Культура народов Причерноморья. - 2014. - № 268. - С. 190-194.

19. **Ошкадер А.В.** Анализ потенциальных источников загрязнения подземных вод на Керченском полуострове // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика: Всероссийская

научно-практическая конференция, 12-13 октября 2015 г.: матер. докл. / Волгоградский государственный университет. - Волгоград, 2015. - С. 194-197.

20. **Ошкадер А.В.,** Подлипенская Л.Е. Оценка гидроэкологического риска на территории Керченского полуострова // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: материалы 9-й Международной научно-практической конференции «Геориск - 2015»: в 2 т. / отв. ред. В.И. Осипов. - Москва: РУДН, 2015. - С. 286-291.

21. **Ошкадер А.В.,** Подлипенская Л.Е. Подходы к оценке экологической ситуации при использовании подземных источников водоснабжения // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика: Всероссийская научно-практическая конференция, 12-13 октября 2015 г.: матер. докл. / Волгоградский государственный университет. - Волгоград, 2015. - С. 197-200.

22. **Ошкадер А.В.,** Подлипенская Л.Е. Разработка моделей количественной оценки риска при использовании подземных вод // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. Юбилейная конференция, посвященная 25-летию образования ИГЭ РАН / отв. ред. В.И. Осипов, 2016. - С. 183-188.

23. **Ошкадер А.В.,** Пыцкий Г.Н. Правовой статус береговых защитных полос в свете изменений, внесенных в Водный кодекс Украины // Инновации в науке: VII Международная практическая конференция, 27 июня 2011 г.: мат. докл. - Прага, 2011. С. 106-109.

24. **Ошкадер А.В.,** Белич О.Ю., Жебрун Д.А. Экологические аспекты паспортизации водных объектов // Эколого-географические проблемы регионов России: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 105-летию со дня рождения исследователя Самарской Луки, к.г.н. Г.В. Обедиентовой. отв. ред. И.В. Казанцев. - Самара, 2016. - С. 66-69.