

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ

на правах рукописи

Ошкадер Анна Валериевна

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ
КЕРЧЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ
ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

25.00.36 – геоэкология

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
д.г.-м.н., проф. Баранов П.Н.

Москва-2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КЕРЧЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	13
1.1 Анализ изученности подземных вод Керченского полуострова.....	13
1.2 Характеристика района проведения исследований	19
1.3 Материал и методика исследований	24
Выводы	30
ГЛАВА 2 ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГО- ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КЕРЧЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА	32
2.1 Роль природных условий в формировании подземных вод	32
2.2 Гидрогеологические условия	42
2.2.1 Керченский артезианский бассейн	44
2.2.2 Малые артезианские бассейны Ленинского района	46
2.3 Техногенная нагрузка на территории Восточного Крыма.....	52
2.4 Характеристика современной системы водопользования на Керченском полуострове.....	63
Выводы	69
ГЛАВА 3 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД.....	72
3.1 Теоретические аспекты оценки экологической ситуации	72
3.2 Обзор существующих подходов к оценке экологических рисков	74
3.3 Подходы к оценке экологической ситуации при использовании подземных источников водоснабжения.....	87
3.3.1 Характеристика экологических условий и определение классов их состояния.....	89
3.3.2 Формирование информационной основы для оценки экологической ситуации при использовании подземных вод	95
3.3.3 Унификация частных показателей и переход к экологическим индикаторам.....	99
3.3.4 Разработка моделей количественной оценки экологического риска при использовании подземных вод	114
Выводы	125

ГЛАВА 4 ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА КЕРЧЕНСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	127
4.1 Выделение групп показателей геоэкологического состояния региона и подготовка их к унификации	130
4.2 Унификация частных показателей	143
4.3 Оценка гидрогеоэкологического риска на территории Керченского полуострова.....	146
4.4 Ранжирование территории Керченского полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска	153
Выводы	168
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	170
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	173
ПРИЛОЖЕНИЯ	194

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Вопрос обеспечения населения качественной питьевой водой является одним из ключевых аспектов формирования экологической ситуации в регионе, которая зависит от целого 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, включающий 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 рискованных 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 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) [195], «Водообеспечение региона как аспект территориальной экологической безопасности» (ГР № 0113U005752) [160], 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.) [128].

Соответствие диссертации паспорту специальности. Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 25.00.36 – «Геоэкология», 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.

Полученные результаты исследования внедрены:

- в процесс преподавания учебных дисциплин «Экологическая безопасность», «Методы измерения параметров окружающей среды», «Гидроэкология» и др. на кафедре «Экология моря» Керченского государственного морского технологического университета;

- в процесс преподавания учебных дисциплин «Методы измерения параметров окружающей среды», «Мониторинг окружающей среды», «Экологическая безопасность», «Рекреационные ландшафты» и «Заповедное дело» на кафедре экологии Национального горного университета, г. Днепропетровск, Украина.

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.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КЕРЧЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Анализ изученности подземных вод Керченского полуострова

История исследований подземных вод Керченского полуострова неразрывно связана с гидрогеологическими исследованиями на всей территории Крыма. Первые факты использования подземных вод в качестве источника водоснабжения известны еще с древнейших времен. Родники и колодцы полуострова использовались племенами, населявшими Крым в древние и средние века, - скифами, греками, татарами [42]. Некоторые водозаборные сооружения хорошо сохранились и в настоящее время активно используются местным населением. Ярким примером древнего водозаборного сооружения является колодец, расположенный вблизи г. Керчь (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1— Древний колодец в пос. Каменка (фото 13.08.2012 г.)

С конца XVIII века появляются описания гидрогеологических условий отдельных участков Крыма в работах русских путешественников-исследователей. Так, в 1788 г. академик П.С. Паллас при описании Кучук-Койского оползня на Южном берегу Крыма, дал характеристику гидрогеологических условий

территории. В 1805 г. П.И. Сумароков в работе «Досуги крымского судьи или второе путешествие в Тавриду Павла Сумарокова» подробно описал фонтаны и колодцы г. Опук. В 1837 г. П.И. Кеппен приводит сведения об источниках Крыма и их отдельных гидрометеорологических характеристиках [42].

С середины XIX века описательный этап изучения условий водопользований Крыма сменился этапом эпизодических гидрогеологических исследований. Это было связано с необходимостью обеспечения региона водой в условиях активного хозяйственного освоения земель, увеличения промышленного производства и роста численности населения. Среди работ данного периода, посвященных гидрогеологическим условиям Крыма, следует отметить труды ученых: П.А. Двойченко [60,61], Н.А. Головкинского [43-45], А.Н. Козловского [78], А.В. Конради [80], Г.Д. Романовского [164] и др.

В годы первой мировой и гражданской войн гидрогеологические исследования в Крыму прекратились. С 20-х гг. XX века начинается систематическое и плановое изучение водных ресурсов полуострова. К этой работе подключились такие организации как Геологический комитет, Крымский геологический трест, Крымгеобюро и др. В этот период Крымводхозом и Крымской комплексной геологической экспедицией были проведены работы по бурению разведочно-эксплуатационных и эксплуатационных скважин для целей водоснабжения и орошения [42]. С 1925 по 1940 г. производятся гидрогеологические съемки в степном и горном Крыму, проведены исследования по решению вопросов водоснабжения. Большой фактический материал по подземным водам Крыма данного периода был обобщен в работах К.И. Макова [115,116].

С 1945 г. были проведены крупномасштабные гидрогеологические съемки и разведочные работы на всей территории Крыма, сопровождающиеся большим объемом разведочного бурения, лабораторных исследований и т.д. С 1959 г. гидрогеологические станции проводят систематическую работу по регулированию эксплуатации подземных вод, их охране от истощения и загрязнения. Наряду с изучением эксплуатационных запасов основных

водоносных горизонтов, проводится работа по исследованию минеральных вод и их источников: С.В. Альбов [2-6], В.А. Обручев [126], С.П. Попов [153] и др.

В итоге, к 70-м гг. XX века практически вся территория Крыма была покрыта гидрогеологическими съемками крупных масштабов, рассчитаны эксплуатационные запасы подземных вод, буровыми работами охарактеризована водоносность пород на всей территории полуострова. В различных районах выявлены и изучены минеральные и термальные воды. Результаты проведенных исследований включают обобщающую детальную характеристику гидрогеологических условий Крымского полуострова [42]. Было проведено гидрогеологическое районирование полуострова, дана характеристика основных водоносных горизонтов, рассмотрены вопросы практического значения подземных вод и возможности их использования для водоснабжения.

Остановимся более подробно на истории гидрогеологических исследований Керченского полуострова, где долгое время подземные воды рассматривались в качестве единственного источника водоснабжения региона. Фундаментальные исследования подземных вод включали изучение особенностей распространения и залегания водоносных горизонтов, химического состава вод, эксплуатационных запасов и т.д. Немаловажную роль при этом сыграли исследования геологического строения Керченского полуострова, результаты которых освещены в работах Н.И. Андрусова [9,10], А.Д. Архангельского [14], Г.А. Лычагина [111], М.В. Муратова [121-123] и др.

Результаты первых гидрогеологических исследований на территории Керченского полуострова представлены в работах: П.А. Двойченко [60,61], Н.А. Головкинского [43,44], Г.Д. Романовского [164] и др.

Начало фундаментальных исследований подземных вод Керченского полуострова приурочено к гидрогеологическим работам, проведенным в 1925-1938 гг. в районе Керченской мульды с целью выбора варианта наиболее рационального водоснабжения г. Керчи и Керченского металлургического завода им. Войкова.

В 1939-1940 гг. организуется Джанкойско-Керченская гидрогеологическая станция под руководством Е.А. Ришеса, призванная заниматься режимом подземных вод равнинной части Крыма, в т. ч. Керченского полуострова. Результаты работ станции были детально представлены в работах Е.А. Ришеса [162,163] и др.

В 1951-1954 гг. в связи с проектированием Северо-Крымского канала Южная гидрогеологическая экспедиция провела комплексные гидрогеологические исследования в пределах западной части Керченского полуострова.

В 1961 г. Крымская опорная гидрогеологическая станция провела работы по изучению режима, баланса и эксплуатационных ресурсов водоносных горизонтов Керченского полуострова. В этот же период на полуострове активно проводятся работы по изучению минеральных, термальных и вод, сопутствующих нефтяным залежам. Среди научных публикаций следует отметить работы В.С. Альбова [3,7], М.М. Фомичева [187], Л.А. Яроцкого [199]. Этими исследователями дана характеристика минеральных источников Керченского полуострова, подробное описание их местонахождения, химического состава воды, лечебных свойств и т.д.

Ключевое место в истории исследований гидрогеологических условий полуострова занимают работы, проведенные Крымской комплексной геологоразведочной экспедицией. В 1975 г. по результатам проведенных полевых исследований Г.И. Милевский, В.В. Павленко и В.П. Шкурко составили отчет, который включил подробное описание особенностей подземных вод Керченского полуострова. В отчете были обобщены данные о водоносных комплексах различного геологического возраста, их географическом распространении, сведения о запасах подземных вод, глубине и мощности залегания водоносных горизонтов, дебита отдельных скважин, химического состава вод и т.д. На основе полевых съемочных работ была составлена подробная гидрогеологическая карта Керченского полуострова в масштабе 1:50000 [133]. Гидрогеологическое картирование сопровождалось бурением и откачками скважин, отбором проб

воды на гидрохимические анализы, выделением водоносных горизонтов и комплексов.

В целом, в истории изучения подземных вод Керченского полуострова можно выделить пять этапов, краткая характеристика которых представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Характеристика этапов гидрогеологических исследований на Керченском полуострове

Этап	Период	Ведущие исследователи и организации	Краткое содержание периода
1	С древнейших времен до середины XIX века	-	Активный поиск источников воды и использование местным населением каптажей подземных вод (колодцев, родников) для водоснабжения и орошения
2	С середины XIX до начала XX века	Н.А. Головкинский, П.А. Двойченко, Г.Д. Романовский	Начало систематических исследований подземных вод полуострова.
3	С 1920 до 1975 гг.	С.В. Альбов, В.В. Белоусов, К.И. Маков, Г.И. Милевский, В.В. Павленко, Е.А. Ришес, М.М. Фомичев, В.П. Шкурко, Л.А. Яроцкий	Бурение артезианских скважин с целью их использования для водоснабжения и орошения полуострова. Проведение гидрогеологических и инженерно-геологических съемок. Изучение режима баланса и эксплуатационных ресурсов основных водоносных горизонтов, проведение работ по регулированию эксплуатации подземных вод, их охране от истощения и загрязнения. Систематическое изучение минеральных, термальных и вод, сопутствующих нефтяным залежам. Составление гидрогеологической карты Керченского полуострова в масштабе 1:50000.
4	С 1975 г. до конца XX века	Крымское геолого-разведочное бюро	Систематические гидрогеологические работы приостанавливаются; большинство артезианских скважин было затампонировано.
5	С начала XXI века до настоящего времени	ГУП «Крымгеология»	Проведение поисковых, разведочных, изыскательских работ и бурение скважин для технического и хозяйственно-бытового водоснабжения.

Таким образом, основные работы по изучению гидрогеологических условий Керченского полуострова были выполнены в 20-70-е гг. XX века. В этот период были проведены фундаментальные исследования подземных вод района,

включающие гидрогеологическую съемку местности, бурение режимных и эксплуатационных скважин, расчет эксплуатационных запасов подземных вод и т.д. Эти работы имели важное практическое значение, поскольку подземные воды в этот период являлись основным источником водоснабжения полуострова.

В конце XX века гидрогеологические исследования на полуострове приостанавливаются. Одной из причин стало введение в строй в 1971 г. Северо-Крымского канала, который должен был решить проблему водоснабжения населения полуострова. На тот момент вода подземных источников отличалась высокой минерализацией, жесткостью и по ряду показателей не соответствовала требованиям, предъявляемым к питьевой воде [36]. В результате большинство артезианских скважин на территории полуострова были затампонированы, за исключением тех, которые оставались единственным источником водоснабжения населенных пунктов, в частности, в сельской местности. Последующие гидрогеологические работы ограничивались бурением отдельных скважин для индивидуального водоснабжения на правах специального водопользования. Экологические исследования, направленные на обеспечение рационального использования подземных вод, их охраны от загрязнения и истощения, зачастую ограничивались констатацией факта загрязнения воды отдельных подземных источников.

Среди научных публикаций данного периода, посвященных проблемам водопользования на Керченском полуострове, необходимо отметить монографию «Водное хозяйство Крыма: история развития, современное состояние». В ней освещены основные этапы развития и состояние водохозяйственного комплекса в Крыму [36]. Особое место занимают работы, которые посвящены водным ресурсам Крыма (состоянию их запасов, вопросам водоснабжения и водоотведения, технологии очистки воды, качеству питьевой воды и т.д.) [34,35,184,185]. Также, на полуострове проводятся исследования по изучению трансформации структуры водного баланса и ее оптимизации [177]. Большое значение среди работ регионального характера имеет монография «Комплексная оценка качества питьевой воды Керченского полуострова в аспекте устойчивого

развития региона». В этой работе освещено экологическое состояние питьевой воды на Керченском полуострове и в г. Керчь, произведена оценка состояния некоторых подземных источников водоснабжения и представлены рекомендации по решению проблемы обеспечения качественной питьевой водой населения г. Керчь [97]. Проблемы устойчивого развития Азово-Черноморского региона, в том числе в области водоснабжения рассмотрены авторами монографии [166]. В работе [119] представлена характеристика минеральных источников подземных вод Крыма, из свойства и возможности применения в санаторно-курортном лечении.

В настоящее время в результате сложившейся экологической обстановки на полуострове, в том числе в части водоснабжения, появляется необходимость поиска альтернативных источников пресной воды, в частности рассматривается возможность возобновления использования подземных вод. Несмотря на то, что ранее проводились работы по изучению гидрогеологических условий полуострова, геоэкологическая оценка региона, учитывающая комплексное влияние разноплановых факторов, не проводилась. Это обуславливает необходимость научных исследований в данной области.

1.2 Характеристика района проведения исследований

Керченский полуостров, являясь восточной частью Крымского полуострова, характеризуется особыми природными и социально-экономическими условиями, которые обусловлены его географическим положением, климатом, орографией, геологическим строением, а также уровнем социального и хозяйственного освоения. Протяжённость полуострова с запада на восток составляет около 90 км, с севера на юг - от 17 до 50 км. Общая площадь - 2830 км², что составляет около 10% от всей территории Крыма. Полуостров омывается водами Азовского и Черного моря [58]. С остальной территорией Крыма полуостров соединен

Акмонайским перешейком, ширина которого составляет около 17 км. Карта-схема района исследований представлена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 - Карта-схема Крымского полуострова. Район проведения исследований выделен зеленым цветом

Керченский полуостров имеет весьма своеобразный рельеф. Парпачский гребень, возвышающийся в средней части полуострова, условно делит его на две части. Юго-западная половина представляет собой волнисто-холмистую равнину, сложенную смятыми в складки майкопскими глинами, а северо-восточная - отличается более разнообразным холмистым рельефом, образованным различными породами многочисленных небольших антиклинальных и синклинальных складок [42].

Климат умеренно-континентальный, с относительно мягкой зимой и жарким и сухим летом. Средняя температура января минус 1,5°C, июля - 23,5°C. Среднегодовое количество осадков составляет менее 500 мм. Преобладающее направление ветра - восточное и северо-восточное [66].

Гидрографическая сеть на полуострове слабо развита и представлена маловодными и сухими балками [148]. Северо-восточная часть полуострова с

более расчлененным рельефом характеризуется развитием густой сети балок, а юго-восточная имеет разреженную сеть неглубоких балок. Самыми протяженными из них являются балка Самарли, балка Сарай-Минская и р. Мелек-Чесме. Густота речной сети при учете всех маловодных и сухих балок достигает 0,15-0,28 км/км² [127].

Преобладающими типами почв на полуострове являются черноземы южные и каштановые, которые характеризуются слабогумусированностью, карбонатностью и солонцеватостью. Для Керченского полуострова характерен степной тип растительности, большая часть территории распаханна или же используются в качестве пастбищ [151].

Согласно административно-территориальному делению территория Керченского полуострова включает Ленинский муниципальный район и Городской округ Керчь (рисунок 1.3).

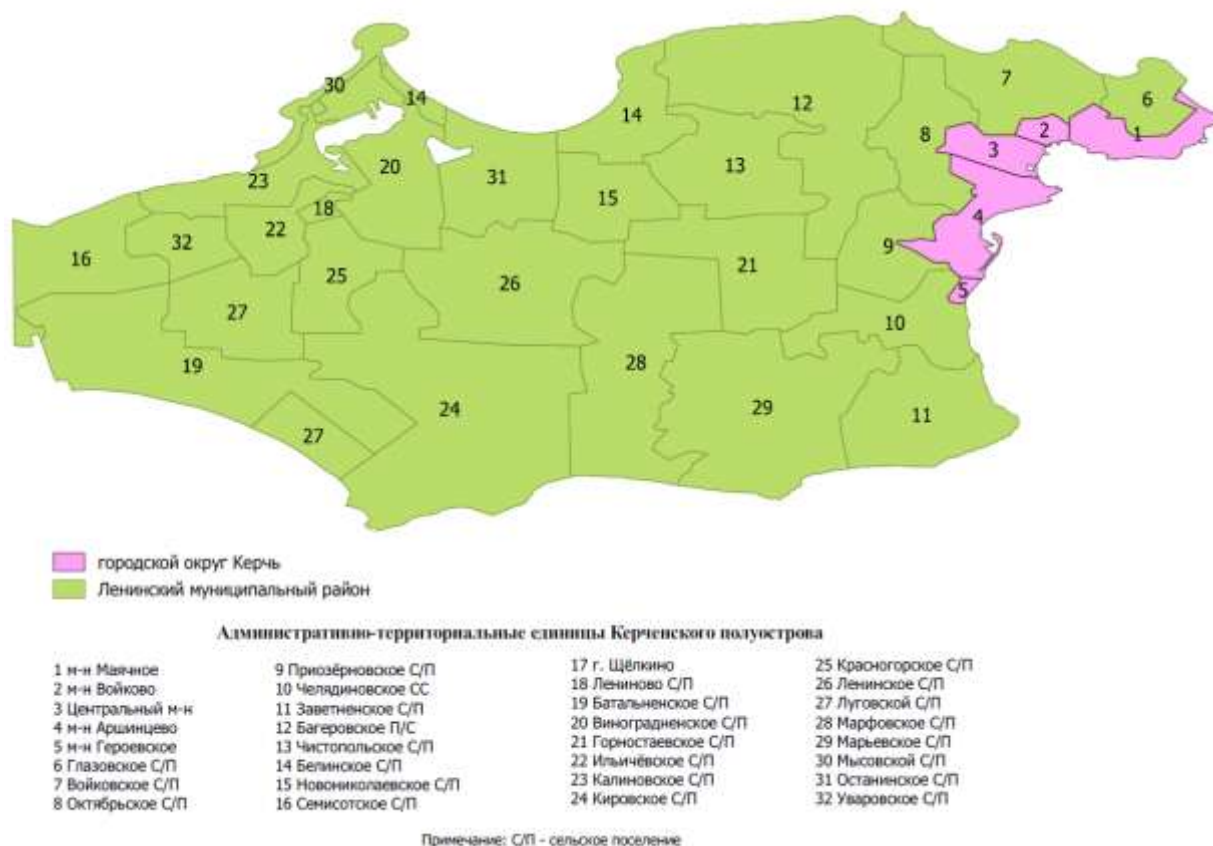


Рисунок 1.3 - Административно-территориальное устройство Керченского полуострова

Ленинский район является самым крупным по площади районом Крыма, занимает восточную часть территории Керченского полуострова и южную часть Арабатской стрелки, его площадь составляет 2919 км². Административным центром района является пгт. Ленино. В состав Ленинского района входит г. Щёлкино, пгт. Ленино и пгт. Багерово, 64 села и пос. Егорово, которые объединены в 27 муниципальных образований: 1 городское поселение и 26 сельских поселений. Городской округ Керчь размещен в восточной части полуострова на побережье Керченского пролива, включает территорию г. Керчь и прилегающих поселков. Его площадь составляет 159,8 км². Перечень и характеристика муниципальных образований полуострова представлены в таблице А.1 (Приложение А).

По данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым общая численность населения полуострова на 1 июля 2014 г. составила 209,932 тыс. чел, что составляет в среднем 11% от общей численности населения Крыма [176]. Из них 70% проживает в городском округе Керчь, а 30% - в Ленинском муниципальном районе. Доля городского населения на полуострове составляет 81%. Данные о численности населения по административным районам полуострова представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Население Керченского полуострова [176]

Административные районы	Общее количество населения, тыс. чел.	Доля к общей численности населения, в %			
		городское	сельское	мужчины	женщины
Городской округ Керчь	145,92	100	0	45,6	54,4
Ленинский муниципальный район	64,012	17,4	82,6	46,9	53,1

Плотность населения на территории полуострова варьирует в широких пределах от 4чел. на 1 км² в сельской местности до 1838 чел. на 1 км² в г. Керчь. Средняя плотность населения составляет 68,2 чел. на 1 км² [176]. Распределение плотности населения по единицам административно-территориального деления Ленинского муниципального района и городского округа Керчь представлено на

рисунке 1.5. Наиболее густонаселенной является восточная часть полуострова (территория Городского округа Керчь), а 80% территории Ленинского муниципального района характеризуется плотностью населения менее 50 чел/км².

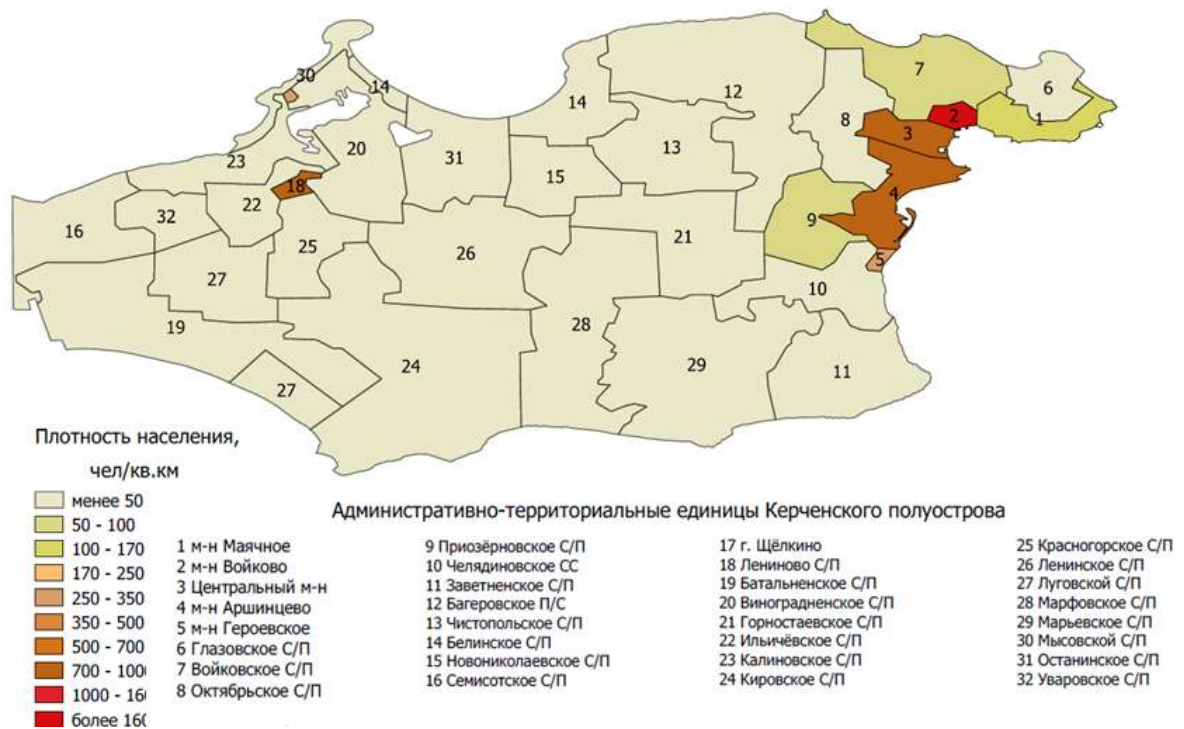


Рисунок 1.5 - Карта плотности населения Керченского полуострова, чел/км²

При этом 70% населения полуострова занимает лишь 4% его территории, а 30% населения проживает на остальной территории (96%) (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 - Соотношение численности населения и площади административных районов Керченского полуострова

Особенность распределения плотности населения была использована далее, как один из ведущих факторов, при оценке экологической ситуации на территории полуострова, а также как индикатор устойчивости региона.

Таким образом, районом проведения исследований был определен Керченский полуостров, характеризующийся уникальным географическим положением (образно говоря, является «полуостровом полуострова»), в административном отношении включающий самый крупный по площади Ленинский муниципальный район и густонаселенную территорию г. Керчь. Кроме того, полуостров является наиболее проблемным в Крыму с точки зрения водообеспеченности по причине отсутствия постоянных полноводных водотоков и удаленности источников водоснабжения. Все вышеуказанные факторы стали основополагающими при выборе района проведения исследований.

1.3 Материал и методика исследований

В качестве исходного материала по теме диссертационного исследования автором использовались данные собственных полевых исследований экологического состояния источников подземных вод в пределах Керченского полуострова. Также использованы материалы ГУП «Крымгеология» (г. Симферополь), Восточно-Крымского историко-культурного музея-заповедника (г. Керчь), Керченской городской СЭС (с 01.01.2015 Филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе» в городе Керчь и Ленинском районе). Проанализированы многочисленные опубликованные и фондовые материалы по исследуемой проблеме, выполнен анализ законодательства в области рационального водопользования и устойчивого развития региона [94,101,144,146]. Объем собранного и обработанного материала представлен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Фактические данные исследования

№	Исходные данные	Объем исследований	Источник
1	2	3	4
1	координаты каптажей подземных вод: - артезианские скважины; - шахтные колодцы; - родники	81 30 17	собственные исследования
2	характеристики водопользования артезианских скважин, родников, шахтных и абиссинских колодцев: - вид водопользования; - целевое назначение; - способ использования; - сроки осуществления водопользования; - платность водопользования	165 определений	собственные исследования
3	данные о водопользователях: - наименование; - юридический адрес; - наличие разрешения на специальное водопользование	данные 81 водопользователя	Филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе» в городе Керчь и Ленинском районе
4	водоносные горизонты, глубины артезианских скважин, м	по 81 значению из санитарных паспортов скважин	ГУП «Крымгеология»
5	дебит артезианских скважин, м ³ /сутки, нормативный водозабор из артезианских скважин, м ³ /год	по 81 значению из санитарных паспортов скважин	ГУП «Крымгеология»
6	дебит родников, л/мин.	7 значений	собственные исследования
7	параметры для расчета дебита шахтных колодцев	105 значений	собственные исследования
8	параметры инженерно-технического состояния каптажей источников; характеристики зон санитарной охраны (ЗСО); частота использования источников населением	165 значений	собственные исследования
9	показатели химического анализа воды подземных источников	2159 значений концентраций	Филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе» в городе Керчь и Ленинском районе, ГУП «Крымгеология»

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4
10	органолептические показатели воды подземных источников	1114 значений	Филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе» в городе Керчь и Ленинском районе, ГУП «Крымгеология»
11	цифровые фотоснимки каптажей источников подземных вод	более 500 фотографий	собственные исследования
12	фондовые данные по истории исследования подземных вод Керченского полуострова	более 20 архивных работ	ГУП «Крымгеология», Восточно-Крымский историко-культурный музей-заповедник
13	фондовые данные по геологической съемке Керченского полуострова	5 архивных работ	ГУП «Крымгеология»

В целом, в районе было исследовано тридцать шахтных колодцев, семнадцать родников и восемьдесят одна артезианская скважина. Из общего числа исследованных шахтных колодцев шестнадцать (№ 1-3, 15-18, 21,22, 24-30) находятся в общем пользовании и четырнадцать (№ 4-14, 19-20, 23) используются на правах специального водопользования. Родники на балансе хозяйствующих субъектов не числятся и используются населением на правах общего водопользования. Артезианские скважины находятся в специальном водопользовании у физических и юридических лиц [37]. Шахтные колодцы и родники используются в качестве децентрализованных источников водоснабжения. Сравнительно небольшая часть артезианских скважин используется в качестве централизованных источников водоснабжения отдельных населенных пунктов. Основная часть скважин используется в качестве индивидуального децентрализованного источника водоснабжения [104].

Расположение водозаборов подземных вод, которые были исследованы при выполнении данной работы, представлено на рисунке 1.7.

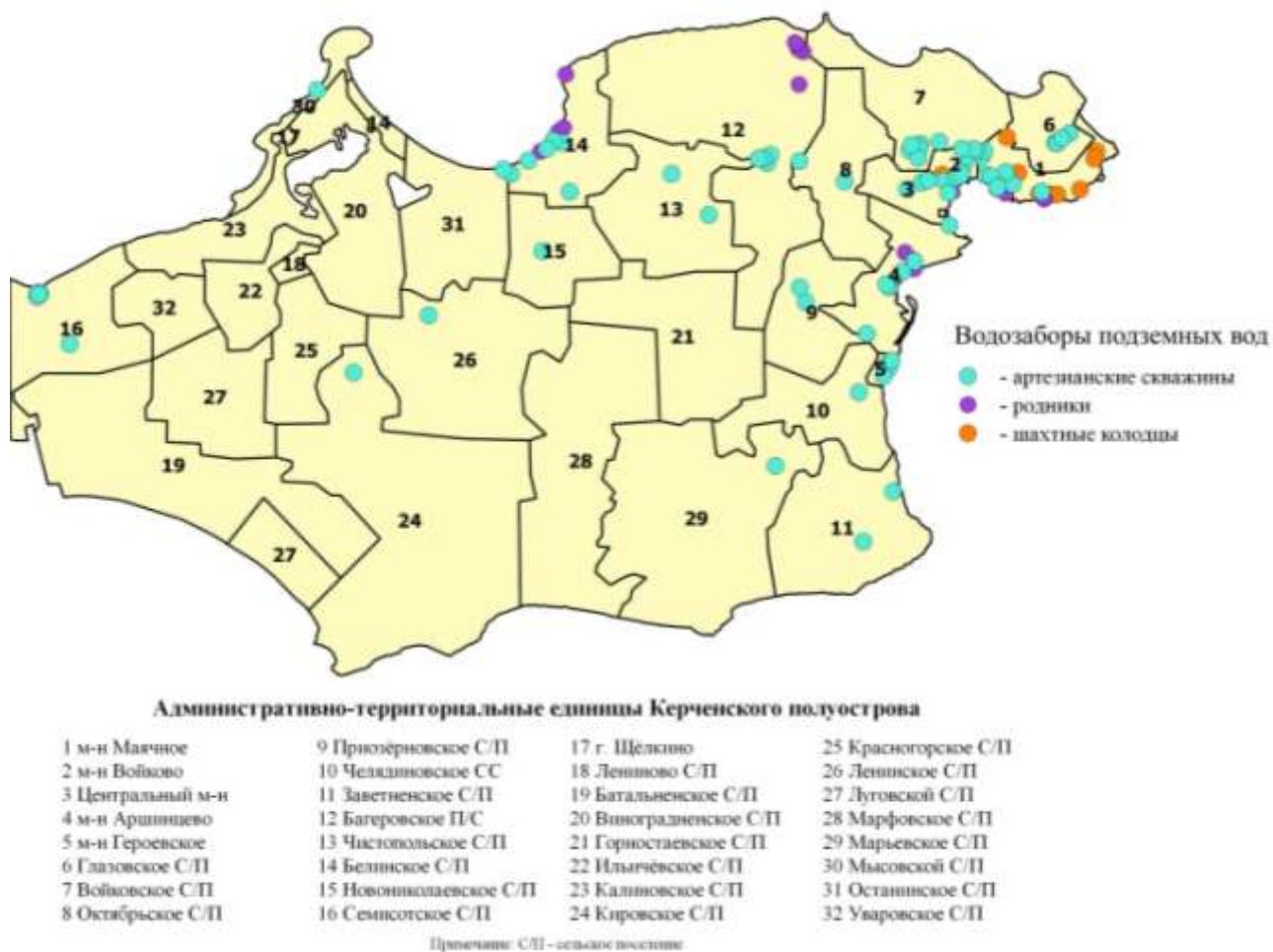


Рисунок 1.7 - Карта-схема расположения водозаборов подземных вод

Исследованные водозаборы расположены на территории четырнадцати муниципальных образований Керченского полуострова, из них двенадцать сельских поселений, г. Щёлкино и Городской округ Керчь (таблица 1.4).

Наибольшее количество исследованных водозаборов размещено на территории Городского округа Керчь, далее по числу водозаборов находится Войковское сельское поселение и затем – Белинское сельское поселение. На территории остальных муниципальных образований размещено до шести водозаборов подземных вод.

Таблица 1.4 - Распределение исследованных водозаборов подземных вод по муниципальным образованиям Керченского полуострова

№ п/п	Муниципальное образование	Нумерация водозаборов			Всего, шт.
		Шахтные колодцы	Родники	Артезианские скважины	
1	Городской округ Керчь	1-22	1-7	1-36	65
2	Глазовское с/п	-	-	37-42	6
3	Войковское с/п	23	8-12	43-49	14
4	Октябрьское с/п	-	-	50	1
5	Приозёрновское с/п	-	-	51-53	3
6	Челядиновское с/п	-	-	54	1
7	Заветненское с/п	-	-	55-57	3
8	Багеровское с/п	-	-	58-63	6
9	Чистопольское с/п	-	-	64-65	2
10	Горностаевское с/п	24-27	-	-	4
11	Белинское с/п	-	13-17	66-73	13
12	Новониколаевское с/п	28-30	-	74	4
13	Семисотское с/п	-	-	75-80	6
14	г. Щелкино	-	-	81	1

Примечание - с/п – сельское поселение

Исходными данными для оценки качества воды подземных источников послужили показатели химического анализа воды, а также значения органолептических показателей (февраль 2005 г.- декабрь 2012 г.), полученные в лабораториях Филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе» в городе Керчь и Ленинском районе и ГУП «Крымгеология». Периодичность отбора проб зависела от вида контроля и категории водопользования. Отбор проб воды и химический анализ производился специалистами вышеуказанных организаций по стандартным методикам [50,51] на базе аккредитованных лабораторий по ряду показателей (до 26). Поскольку качество воды подземных источников анализировалось с позиции их использования для питьевых целей, то для оценки качества воды были использованы ПДК, установленные согласно Санитарным нормам и правилам [1,167-169]. Полученный фактографический материал послужил основой созданной базы данных «Подземные воды Керченского полуострова», на основе которой была выполнена геоэкологическая оценка территории полуострова при использовании подземных вод.

При проведении диссертационного исследования был использован комплекс методов [21,41,129,130,147], общая характеристика которых представлена в таблице 1.5.

Таблица 1.5 - Характеристика методов исследования

Метод	Вид работ
1	2
общенаучные	
анализ и синтез	изучение эколого-географических характеристик Керченского полуострова, анализ методологических основ оценки экологических ситуаций, осуществление комплексной оценки экологической ситуации на Керченском полуострове.
сравнение	выявление различий гидрогеологических характеристик различных типов водозаборов, сравнение районов Керченского полуострова по условиям водообеспеченности, по распределению различных экологических показателей и характеристик.
моделирование	построение моделей индикаторов, экологического риска для оценки экологической ситуаций на полуострове по различным сценариям.
системный анализ	выявление влияния отдельных структурообразующих компонент на итоговую интегральную оценку ситуации, выявление зависимостей между экологическими показателями.
конкретно-научные	
полевой	маршрутные исследования подземных источников Керченского полуострова, фотосъемка, определение координат.
измерение	замеры глубин и дебитов подземных источников, параметров инженерно-технических сооружений водозаборов, размеров зон санитарной охраны.
расчетный	вычисление дебитов шахтных колодцев, плотности населения в различных административно-территориальных единицах района исследования.
метод экспертных оценок	определение уровня техногенной нагрузки на Керченском полуострове, оценка весовых коэффициентов интегральных функций.
корреляционный анализ	установление тесноты связей между показателями химического состава подземных вод, отбор приоритетных показателей.
статистический	первичная обработка исходных данных химического анализа, оценка технических и гидрологических параметров подземных источников, объемов водозабора, построение доверительных интервалов, проверка достоверности данных по критерию Стьюдента.
картографический	анализ физико-географических, природных и социально-экономических карт полуострова, построение геоэкологических карт индикаторов, риска, экологической ситуации при реализации различных сценариев.
экологического районирования	ранжирование территории Керченского полуострова по экологическим критериям, выявление районов с различной по степени напряженности экологической ситуацией.
ГИС-технологий	построение геоэкологических карт, их анализ.

Использованный арсенал методов позволил получить полную и объективную фактографическую информацию для осуществления геоэкологической оценки в регионе при использовании подземных вод.

Выводы

1. В истории изучения подземных вод Керченского полуострова было выделено пять этапов, каждый из которых характеризуется определенными результатами в области гидрогеологических исследований. Ведущим фактором для проведения работ по изучению подземных вод стала необходимость обеспечения населения и отраслей хозяйства пресной водой в условиях дефицита поверхностных источников водоснабжения. В настоящее время в результате сложившейся экологической обстановки на полуострове, в том числе в части водоснабжения, возникла необходимость поиска альтернативных источников пресной воды, в частности рассматривается возможность возобновления использования подземных вод, что, в свою очередь, требует проведения геоэкологической оценки территории полуострова.

2. Районом проведения исследований был определен Керченский полуостров, который характеризуется уникальным географическим положением и сложной ситуацией в области водоснабжения. Его площадь составляет около 10% от всей территории Крыма. Согласно административно-территориальному делению территория Керченского полуострова включает Ленинский муниципальный район и Городской округ Керчь. Гидрографическая сеть на полуострове слабо развита, пресные поверхностные воды практически отсутствуют.

3. Представленный в работе фактографический материал и привлеченный для проведения исследований комплекс методов позволил получить достаточно полную, объективную и современную информацию, которая послужила основой созданной базы данных «Подземные воды Керченского полуострова».

Полученные данные легли в основу геоэкологической оценки территории Керченского полуострова при использовании подземных источников водоснабжения.

ГЛАВА 2 ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КЕРЧЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

2.1 Роль природных условий в формировании подземных вод

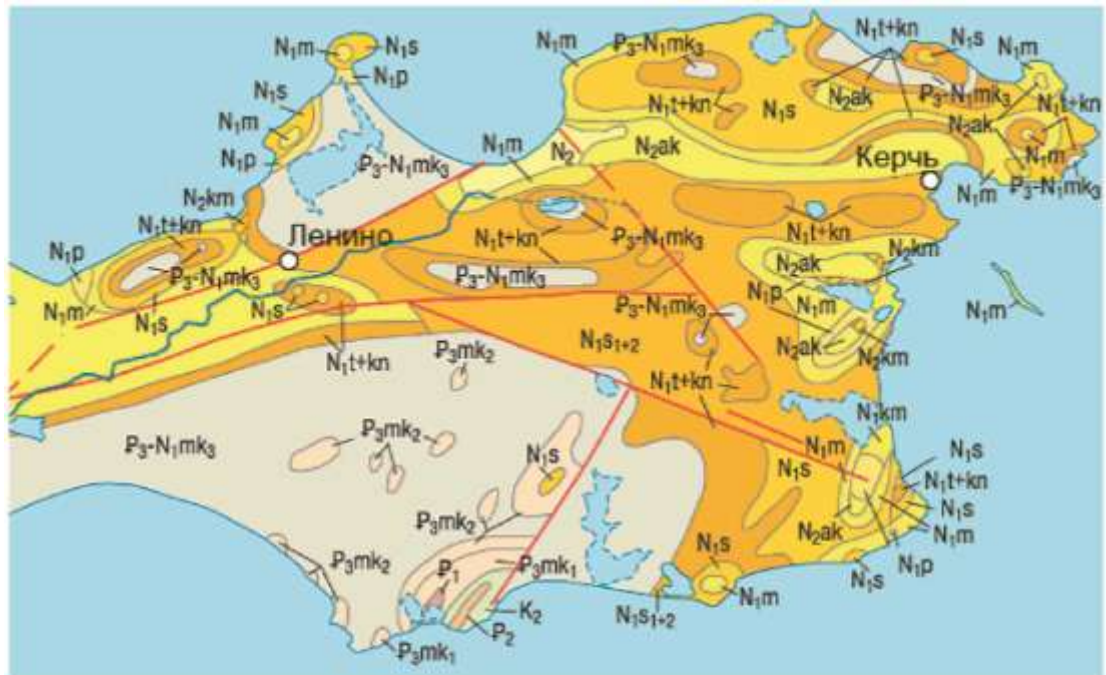
Керченский полуостров имеет своеобразные гидрогеологические условия, которые обусловлены геологическим строением территории, орографией и климатом.

Геологическое строение территории определяет наличие и распространение водовмещающих и водоупорных горизонтов различного возраста. Район расположен на южном крыле Индоло-Кубанского прогиба и на поперечном Керченско-Таманском прогибе [123]. В его геологическом строении участвуют майкопские, миоценовые и плиоценовые отложения (рисунок 2.1).

Отложения палеогеновой системы в основном представлены отделом олигоцена, а именно нижней и средней частью майкопской серии. Олигоценовые отложения ($P_3-N_1mk_3$) представлены аргиллитоподобными глинами с прослоями песков, алевроитов. Они имеют широкое распространение, их мощность составляет 1000-2000 м. Эоценовые и палеоценовые отложения распространены в южной части Керченского полуострова, занимают сравнительно небольшие площади и сложены известняками, мергелями, алевроитами с прослоями глины и песчаника. К ним приурочены отложения верхнего мела, представленные аргиллитами, известняками и мергелями [39].

Неогеновые отложения широко развиты в объеме миоценового и плиоценового отделов. В основном они сложены бескарбонатными слоистыми глинами с прослоями песков и алевроитов, с мощностью 50-500 м. Нижнемиоценовые и среднемиоценовые отложения (N_{1t+kn}) представлены, в основном, глинами с прослоями песков, песчаников, известняков. Их мощность

достигает до 150 м. Верхнемиоценовые отложения представлены сарматским (N_{1s}), мэотическим (N_{1m}) и понтическим (N_{1p}) ярусами [39].



Условные обозначения

Система	Отдел	Ярус, подъярус	Характеристика пород
Неоген	Плиоцен	N_{2ak}	- пески, алевроиты, глины
		N_{2km}	- пески, алевроиты, глины
	Миоцен	N_{1p}	- известняки, мергели, глины, пески
		N_{1m}	- глины, пески, песчаники, известняки
		N_{1s}	нерасчлененные отложения - мергели, глины, пески
		$N_{1s_{1+2}}$	- глины, пески, известняки
		N_{1t+kn}	- глины, пески, песчаники, известняки, мергели
Палеоген	Олигоцен	$P_3-N_{1mk_3}$	- глины, алевроиты, пески
		P_3mk_2	- глины, алевроиты, пески
		P_3mk_1	- глины, алевроиты, песчаники
	Эоцен	P_2	- пески, алевроиты, глины, мергели
	Палеоцен	P_1	- мергели, песчаники, известняки
Мел	Верхний мел	K_2	- аргиллиты, мергели, песчаники, известняки

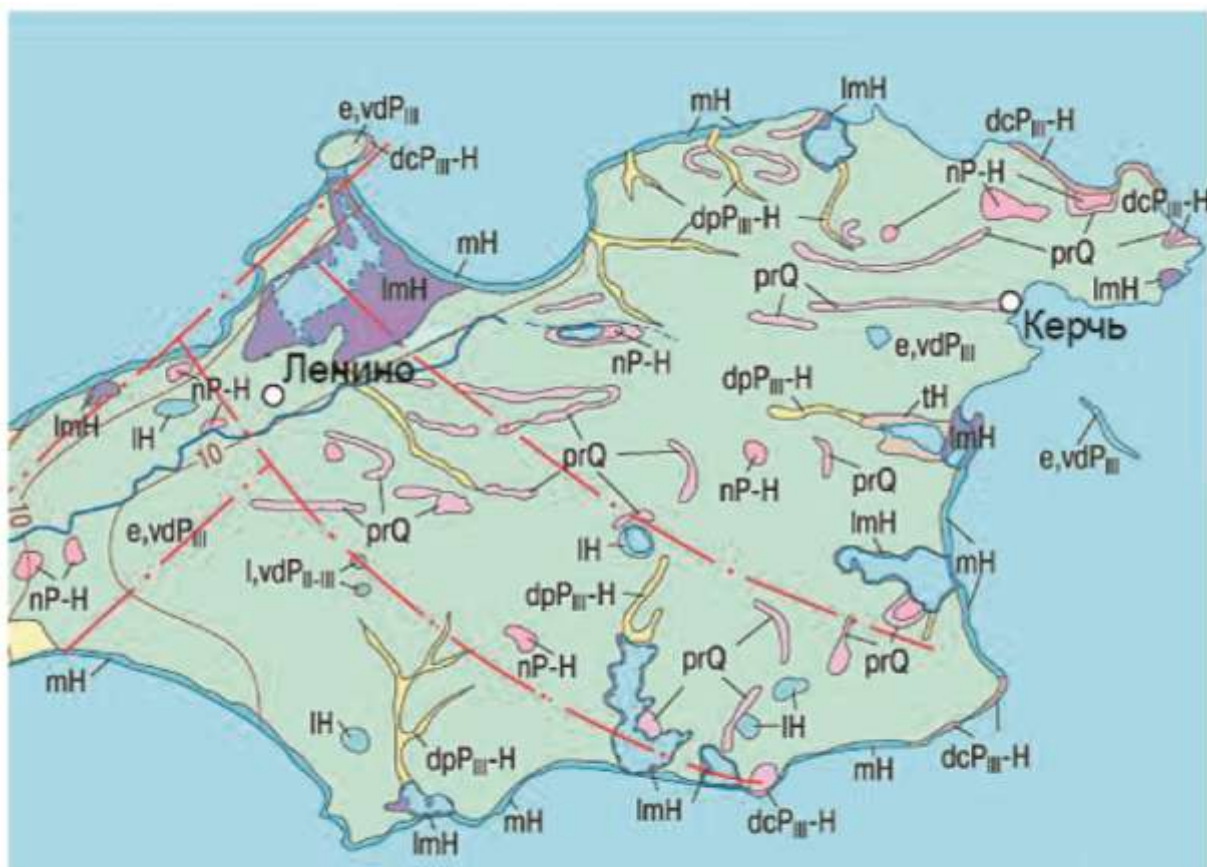
	Достоверные разрывные нарушения
	Предполагаемые разрывные нарушения
	Линеаменты, рассматриваемые как разрывные нарушения

Рисунок 2.1 - Карта дочетвертичных отложений Керченского полуострова [15]

Сармат включает верхний (N_{1s_3}), средний ($N_{1s_{2+3}}$) и нижний ($N_{1s_{1+2}}$) ярус. Сарматские отложения представлены глинисто-карбонатными фациями с мощностью 100-200 м. Мэотические отложения представлены карбонатно-глинистыми фациями, а также мембраноподобными рифовыми известняками с мощностью 50-80 м. Отложения понтического яруса представлены в глинисто-карбонатных фациях с мощностью 20-50 м [123].

Плиоценовые отложения (N_2) представлены киммерийским (N_{2km}), куюльницким и акчагыльским (N_{2ak}) ярусами. Киммерийские и куюльницкие отложения представлены светло-серыми кварц-слюдистыми песками, зеленовато-серыми глинами и оолитовыми железными рудами, мощностью до 90 м. Отложения акчагыльского яруса представлены темно-серыми глинами монтмориллонит-гидрослюдистого состава с прослоями кварцево-слюдистого песка и алевроита. Мощность акчагыльского яруса достигает 60-70 м [39].

Отложения четвертичной системы имеют широкое площадное распространение и представлены всеми разделами: эоплейстоценом, неоплейстоценом и голоценом. Геологическое и геоморфологическое разнообразие строения района выражено в многообразии генетических типов четвертичных отложений. Они включают: морские (mH), лиманные (lmH), делювиально-коллювиальные (dcP_{III-H}), делювиально-пролювиальные (dpP_{III-H}), элювиальные и эолово-делювиальные (e, vdP_{III}), озерные (lH), грязевулканические (npH) и техногенные (tH) отложения (рисунок 2.2). Мощности отложений варьируют от 0,5 до 90 м [39].



Условные обозначения

Голоценовые	
IH	- озерные
tH	- техногенные
mH	- морские
ImH	- лиманные
Верхнеплейстоцен-голоценовые	
dcP _{III} -H	- делювиально-коллювиальные

Нерасчлененные плейстоцен-голоценовые	
nPr-H	- грязевулканические
Верхнеплейстоценовые	
e, vdP _{III}	- элювиальные и золово-делювиальные
Средне-верхнеплейстоценовые	
I, vdP _{II-III}	- озерные и золово-делювиальные
Эоплейстоценовые нерасчлененные	
prQ	- дочетвертичные

—10—	Мощность четвертичных отложений
— · — · —	Линеаменты, рассматриваемые как разрывные нарушения

Рисунок 2.2 - Карта четвертичных отложений Керченского полуострова [15]

Геологическое строение территории, а именно мощность и литологический состав горных пород, определяют степень защищенности водоносных горизонтов. Подземные воды дочетвертичных отложений относятся к защищенным

водоносным горизонтам, а воды четвертичных отложений - к незащищенным и слабозащищенным [46].

Рельеф территории оказывает существенное влияние на водообмен, от которого зависят минерализация и состав подземных вод. При прочих равных условиях, чем сильнее расчленён рельеф, тем благоприятнее возможности для появления пресных подземных вод.

В орографическом отношении Керченский полуостров находится в пределах складчатого неогена, рельеф которого обусловлен геолого-структурными особенностями. Рельеф изучаемой территории представляет собой холмисто-грядовую равнину со сложным сочетанием котловин, окруженных скалистыми известняковыми гребнями, и разделяющих их долин. Простираение складок и долин, возвышенных участков и равнинных понижений согласуется со складчатыми структурами [26].

Особенностью данного района является широкое развитие своеобразных усложнений – вдавленных синклиналей, к которым приурочены современные грязевые сопки, а также значительные скопления ископаемой грязевой брекчии. Следует отметить, что гидрографическая сеть не согласуется с направлением рельефообразующих форм - балки и овраги пересекают антиклинальные, синклинальные складки под прямым углом, наследуя зоны тектонических нарушений и дроблений [123].

Согласно схеме распространения основных комплексов рельефа Керченско-Таманской области рельеф района относится к керченскому типу [26]. Особенностью данного типа рельефа является чередование моноклиналильных и мшанковых гребней с заключенными внутри денудационными котловинами, и обширных приподнятых морских пластовых равнин. Парпачский гребень условно разделяет полуостров на три части: юго-западную, северную и юго-восточную, которые относятся к различным тектоническим структурным элементам. На рисунке 2.3 представлена карта геоморфологических условий Керченского полуострова.

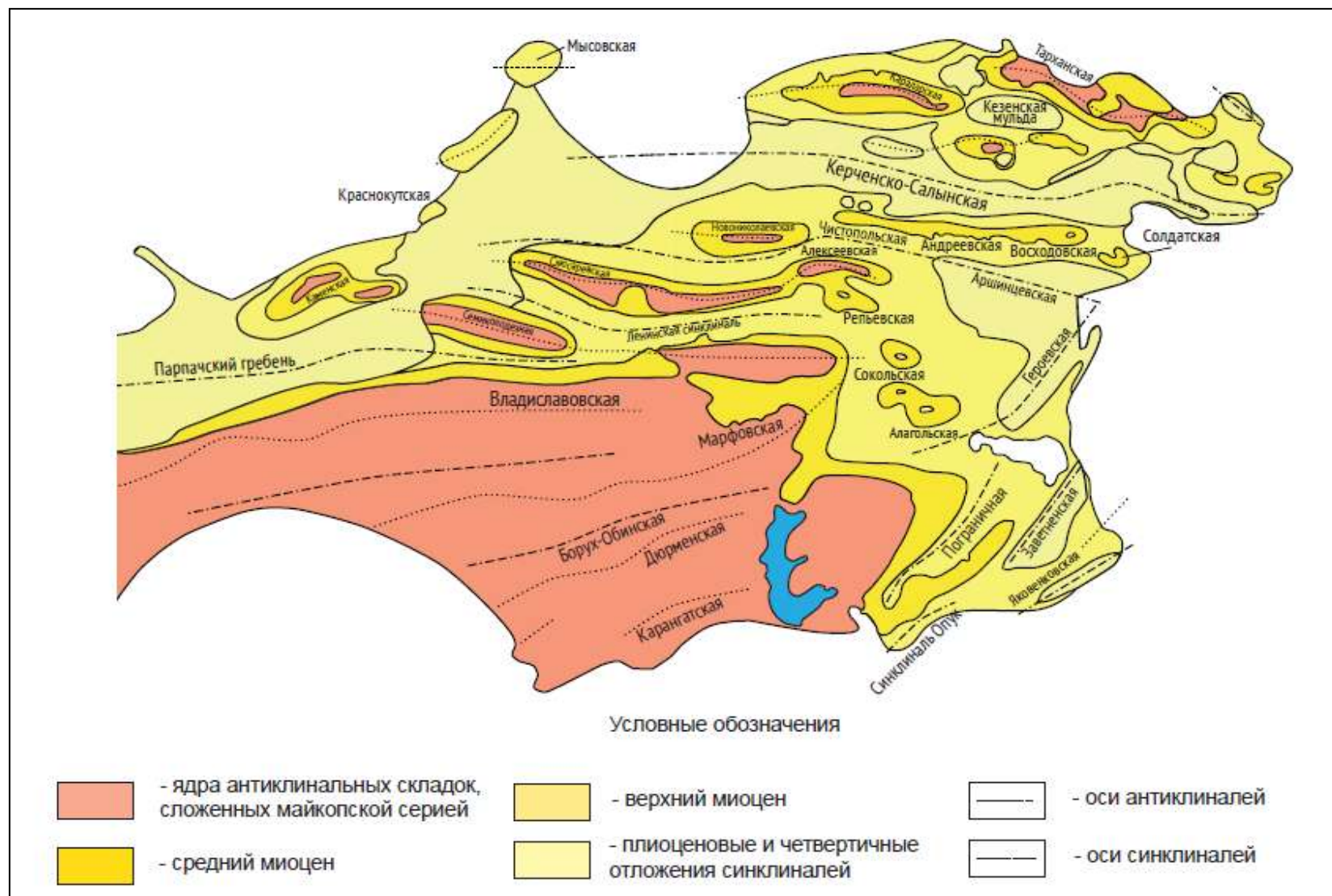


Рисунок 2.3 - Геоморфология района исследования [123]

Юго-западная часть Керченского полуострова представлена системой узких, сильно сжатых антиклиналей, разделенных более плоскими и широкими синклиналями. Всего в данной области представлено четыре антиклинальные зоны, разделенные тремя синклинальными. Южная антиклинальная зона включает три складки: Карангатскую, Дюрменскую и Просторненскую. Борух-Обинская зона состоит из трех складок, вытянутых в северо-восточном направлении. Третья зона включает Мошкаревскую, Вулкановскую и Марфовскую антиклинали. Четвертая северная антиклинальная зона отделена от вышеуказанных зон широкой синклиналью Песчаной балки. В состав четвертой Владиславовской зоны входит несколько сжатых и коротких складок, имеющих широтное простирание вдоль Парпачского гребня. В целом антиклинорий Юго-Западной равнины образован системой антиклинальных и синклинальных складок майкопской серии, вытянутых в северо-восточном направлении [123].

Складки северной части Керченского полуострова образуют систему широтного простирания, в которой насчитывается четыре антиклинальные зоны. Антиклинали в них короткие, быстро погружаются, кулисообразно подменяя одна другую по простиранию, поэтому в пределах этих зон расположено по несколько складок. Антиклинальные зоны состоят из брахиантиклиналей, большинство которых имеет ядро, образованное олигоценом (майкопской серией). Олигоценовые глины ядра, при их обнажении на поверхности, залегают круто и несут следы дробления и перемятия. Слои, слагающие крылья, лежат на них резко несогласно, круто, а по мере удаления от ядра, складки выполаживаются. В некоторых брахиантиклиналях олигоценовые отложения ядра скрыты под более молодыми породами. При этом антиклинали имеют сравнительное простое строение и представляют собой вытянутые, не очень длинные складки с довольно крутыми крыльями [18,39,121].

Первая зона представлена Каменской, Насырской, Королевской и Новошепетеевской брахиантиклиналями. Перечисленные складки образуют первый ряд, наиболее близкий к Парпачскому гребню. Косо по отношению к

этому ряду от Каменской брахиантиклинали в северо-восточном направлении протягивается еще три обособленных брахиантиклинали – Краснокутская, Белокаменная и Мысовская [123].

Вторая антиклинальная зона начинается Слюсаревской антиклиналью, ядро которой образовано перемятыми майкопскими глинами, крылья – среднемиоценовыми и сарматскими отложениями. От Королевской и Новошепетеевской брахиантиклиналей Слюсаревская антиклиналь отделена узкой Ленинской синклиалью, заполненной ниже- и среднесарматскими отложениями. К сводовой части антиклинали приурочена синклиаль Бурулькайского котла, на пологом восточном погружении располагается Алексеевская антиклиналь [123].

Третья антиклинальная зона представлена Новониколаевской, Чистопольской, Андреевской, Восходовской и Солдатской антиклиналями, образованными крутопадающими породами майкопской серии и более полого залегающими отложениями среднего миоцена. К северу от данной зоны располагается Керченско-Салынская синклиаль, заполненная отложениями верхнего миоцена и плиоцена. На западе она ограничена Краснокутской и Белокаменной антиклиналями, а восточная расширенная ее часть – это так называемая Керченская мульда [123].

Четвертая антиклинальная зона представлена наиболее сложно построенной последовательностью антиклиналей. В западной части этой зоны располагается крупная Караларская антиклиналь, ядро которой сложено глинами майкопской серии, а крылья – среднемиоценовыми и сарматскими отложениями. На восточном погружении Караларской антиклинали располагается овальная Кезенская мульда, заполненная плиоценом. На востоке антиклинальная зона заканчивается Глазовской антиклиналью [123].

Юго-восточная часть Керченского полуострова включает зону складок и довольно широкий участок пологих структур. Этот участок характеризуется очень спокойным залеганием слоев, нарушенных куполовидными антиклиналями

и пологими мульдами. Главными элементами структуры этого участка является Аршинцевская (Камыш-Бурунская) и Героевская (Эльтиген-Ортельская) мульды, заполненные породами мэотиса, понтического и киммерийского ярусов. В пределах очень пологого поднятия, разделяющего эти мульды, расположены три сближенных куполовидных складки: Репьевская, Сокольская и Алагольская, своды которых образованы среднемиоценовыми отложениями и майкопской серией. В состав юго-восточной системы складок Керченского полуострова входит два ряда антиклиналей северо-восточного простирания. Один из них представлен Чорелекской и Чонгелекской антиклиналями. К юго-востоку от описанной зоны располагается широкая Заветнинская мульда, заполненная понтон и киммерийским ярусом с железными рудами. Юго-восточнее Заветнинской мульды располагается вторая антиклинальная зона, образованная Яковенковской и Кореньковской антиклиналями [26,39].

Таким образом, при движении с запада на восток наблюдается постепенный переход от территории с площадным преобладанием антиклинальных структур к территориям с преобладанием синклиналей и мульд. Достаточно сильно расчлененный рельеф местности создал условия для формирования в районе запасов пресных подземных вод в виде малых артезианских бассейнов.

Климатические условия играют важную роль в формировании подземных вод любой территории. Основное питание подземных горизонтов, особенно верхних этажей, происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков [42].

Крайнее восточное положение Керченского полуострова и близость материковой суши обуславливает большую, чем в других районах Крыма, континентальность и сухость его климата. Зима мягкая, особенно в прибрежных частях. Средняя температура самого холодного месяца (февраль) колеблется от минус 1 до минус 1,4°C. Безморозный период продолжается 200-238 дней. Лето продолжительное и сравнительно жаркое: средняя температура июля достигает 23 - 24°C. Годовые температуры воздуха на Керченском полуострове в период с 2001

по 2014 г. находились в пределах 10,9 - 13,6°C [149,150], среднегодовая температура воздуха составила 12,3°C (рисунок 2.4).

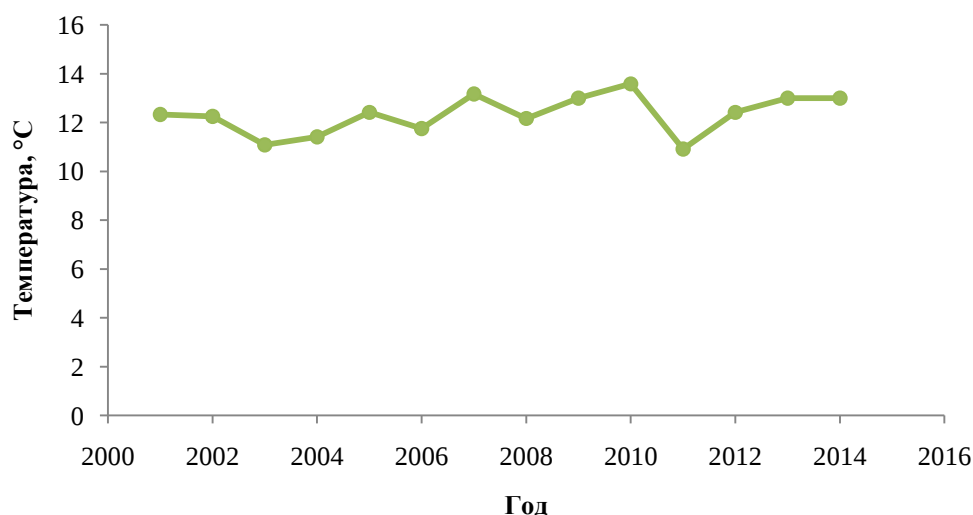


Рисунок 2.4 - Средняя температура воздуха на Керченском полуострове за период 2001-2014 гг., °C

Согласно климатическому районированию полуостров включает [66]:

1. Керченский приазовский микрорайон: очень засушливый, умеренно жаркий с мягкой зимой.
2. Керченский центральный: засушливый, умеренно жаркий с мягкой зимой.
3. Керченский причерноморский: очень засушливый, умеренно жаркий с очень мягкой зимой.

Осадков выпадает относительно мало. Годовая сумма осадков колеблется от 320 мм по окраинам до 440 мм в центре полуострова. Большая часть атмосферных осадков за счет преобладающих высоких температур испаряется, что, в свою очередь, обуславливает небольшие запасы подземных вод в регионе.

Таким образом, в силу небольших площадей областей питания подземных вод, незначительного количества атмосферных осадков и сравнительно сильно расчлененного рельефа, формируются незначительные запасы пресных вод на

ограниченных площадях, непосредственно прилегающих к выходам водовмещающих пород на поверхность.

2.2 Гидрогеологические условия

С точки зрения гидрогеологического районирования Керченский полуостров относится к Керченско-Таманской системе малых артезианских бассейнов [26]. В той или иной степени водоносными являются дочетвертичные: кущальницкие, киммерийские, понтические, мэотические, сарматские, среднемиоценовые и майкопские и четвертичные отложения.

Условия формирования подземных вод Керченского полуострова весьма специфичны. Зона свободного водообмена здесь практически почти полностью отсутствует. В юго-западной части полуострова это связано, с тем, что на дневную поверхность выходят майкопские глинистые водоупорные отложения. Условия просачивания атмосферных осадков через них весьма затруднены. В мульдах северо-восточной части полуострова воды неогена имеют минерализацию от 3 до 10 г/л и более, что свидетельствует об их длительном соприкосновении с водовмещающими породами. Только в краевых частях микробассейнов, вблизи областей питания, в мэотических отложениях наблюдается более активный водообмен; на таких участках минерализация вод в большинстве случаев не превышает 2 г/л (Керченская, Баксинская, Камыш-Бурунская мульды). Граница зоны замедленного водообмена здесь проводится в значительной мере условно по отложениям майкопа и даже среднего миоцена (рисунок 2.5).

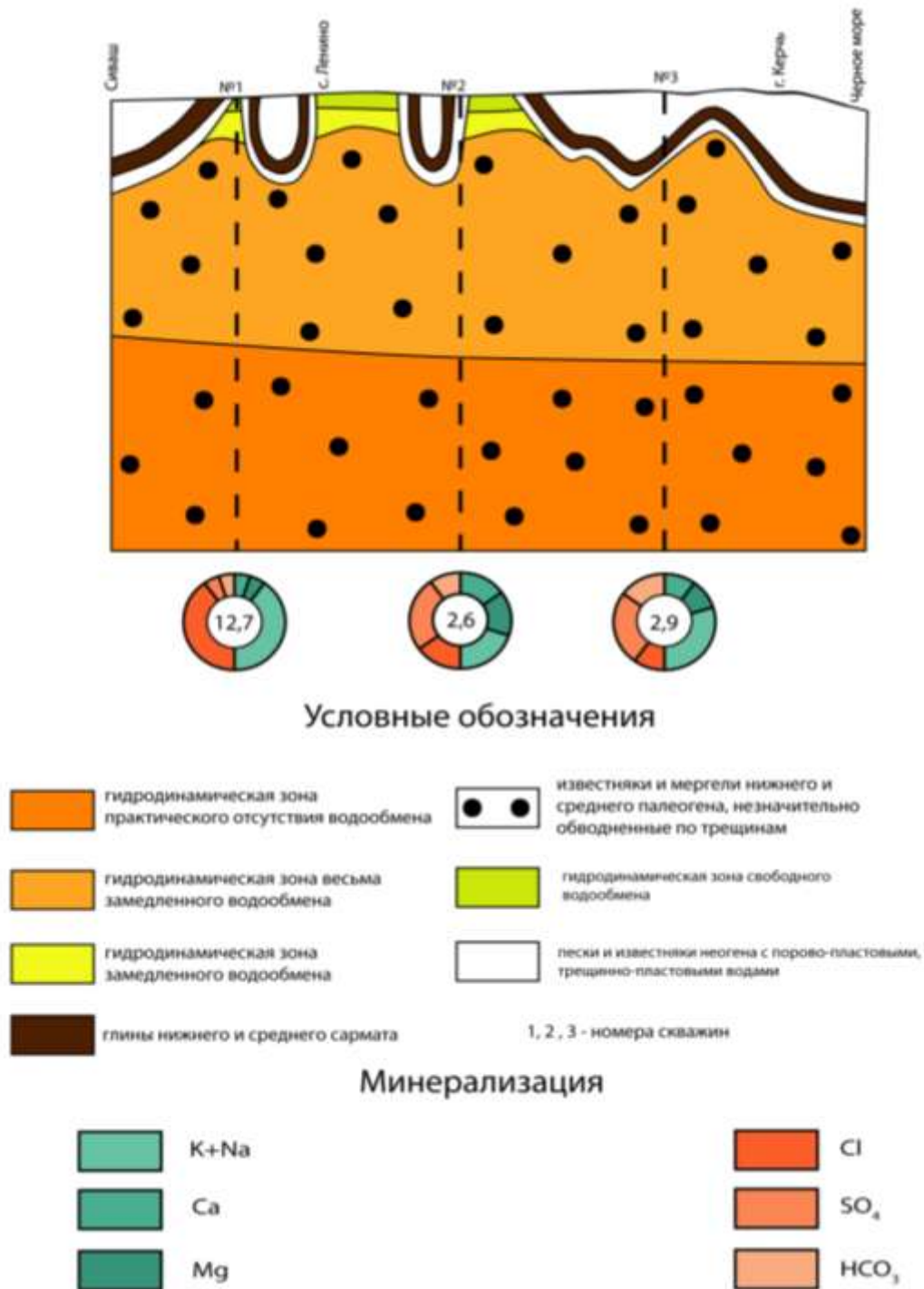


Рисунок 2.5 – Схематический гидрогеологический разрез [42]

Условия формирования химического состава вод неогена на Керченском полуострове не вполне ясны. Кроме непосредственного выщелачивания пород, обогащенных остаточным морским солевым комплексом и органическими веществами, здесь не исключено некоторое влияние захороненных морских вод,

поскольку отдельные участки Керченского полуострова еще в четвертичное время находились под уровнем моря. Этим определяется содержание в водах в значительных количествах брома и йода. На формирование вод среднемиоценового комплекса оказала влияние деятельность грязевых вулканов. Наиболее сильно этот фактор сказался на формировании химического состава вод Баксинской мульды, возникновение и развитие которой обусловлено деятельностью древнего грязевого вулкана, отложившего в мульде мощную (более 300 м) толщу сопочных брекчий [42]. Рассмотрим более подробно особенности гидрогеологических условий в пределах административных районов Керченского полуострова.

2.2.1 Керченский артезианский бассейн

Анализ гидрогеологических условий в пределах Керченского полуострова выполнен по данным исследований специалистов ГУП «Крымгеология». Территория г. Керчь расположена в границах Керченской мульды. На описываемой площади развиты породы неогенового и четвертичного возраста. Неоген представлен мэотическими, понтическими и плиоценовыми отложениями [96].

В пределах Керченской мульды мэотические отложения представлены известняками ракушечными, с прослоями глин, песков, песчаников, встречаются на глубине 60,0 м (осевая часть мульды); 45,0-50,0 м (юго-восточное крыло); 20,0 м - северо-восточное крыло. Мощность отложений, соответственно, составляет 100,0 м; 70,0 м; 70,0-73,0 м. Известняки и глины понтического возраста расположены на глубине 21,0-30,0 м. Мощность отложений составляет 15,0-25,0 м. Плиоценовые отложения представлены киммерийским (железная руда, глины) и куяльницким (пески, глины) ярусами. Они расположены на глубине 10,0-12,0 м (осевая часть мульды, мощность 48,0-50,0 м), а также на глубине 5,0-7,0 м (крылья мульды,

мощность 23,0 м). Завершают геологический разрез четвертичные суглинки, глины, гравийно-щебнистые отложения, мощность их 5,0-7,0 м [133].

Первый от поверхности водоносный горизонт приурочен к четвертичным отложениям, имеет высокое положение уровня воды, подтапливая территорию. Минерализация воды по результатам исследований 2009 г. колеблется от 1,5 до 3,9 г/дм³. Вода используется в основном для технических целей.

Второй от поверхности водоносный горизонт приурочен к плиоценовым отложениям. Их водообильность характеризуется дебитами скважин (юго-восточное крыло мульды) 0,2-1,0 л/сек (17,28-86,4 м³/сутки) при понижении уровня, соответственно, 0,56 и 19,8 м. Минерализация воды 3,5-9,0 г/дм³. В связи с высокой минерализацией водоносный горизонт практического значения не имеет.

Нижележащий водоносный горизонт понтических отложений встречен на глубине 21,0-30,0 м (юго-восточное крыло мульды). Горизонт напорный. Водообильность характеризуется дебитами скважин 2,5-3,0 л/сек (216,0-259,2 м³/сутки) при понижении уровня 1,7-9,6 м. Минерализация воды довольно высокая - 3,0-5,0 г/дм³, для водоснабжения водоносный горизонт не пригоден.

Третий от поверхности земли водоносный горизонт приурочен к мезотическим известнякам. Водоносный горизонт является основным эксплуатационным на описываемой территории. В осевой части мульды кровля горизонта вскрывается на глубине 109,0-113,0 м. Дебиты скважин колеблются в пределах 3,8-6,4 л/сек (330-552 м³/сутки), при понижениях - 12,0-25,3 м. На западном крыле мульды водоносный горизонт мезотических отложений вскрыт скважинами в интервале от 40,0-46,0 м до 105,0-110,0 м. Горизонт напорный. Уровень на момент бурения устанавливался на отметках 37,0-50,0 м от поверхности земли. Дебиты скважин составили 4,4-6,0 л/сек (380-518 м³/сутки), при понижениях, соответственно, 1,2 м и 1,6 м. На восточном крыле мульды водообильность мезотических отложений характеризуется дебитами скважин 1,7-2,2 л/сек (147-190 м³/сутки), при понижениях, соответственно, 1,6 м и 1,35 м.

Величина эксплуатационных запасов водоносного горизонта мэотических отложений в границах Керченской мульды подсчитана и утверждена в 1958 г. в количестве 13,9 тыс. м³/сутки (протокол ГКЗ № 2392 от 06.09.58 г.) [133]. Более поздние данные отсутствуют, гидрогеологические исследования по установлению эксплуатационных запасов не проводились.

При подсчете запасов водоносного горизонта мэотических отложений были выделены блоки (I, II, III, IV – Багеровский и Мичуринский водозаборы; V – Булганакский водозабор; VI, VII – Аджимушкайский водозабор), в пределах которых проведены гидрогеологические исследования, подсчитаны эксплуатационные запасы водоносного горизонта мэотических отложений.

2.2.2 Малые артезианские бассейны Ленинского района

На территории Ленинского муниципального района Республики Крым подземные воды приурочены к синклинальным структурам, сложенным породами различного возраста и различных генетических типов [133].

1. Водоносный горизонт четвертичных отложений. На землях Семисотского сельского поселения, находящегося в западной, северо-западной части Ленинского района глубина залегания водоносного горизонта четвертичных отложений 0,8-8,0 м. Уровни устанавливаются на этих же глубинах. Водообильность горизонта характеризуется дебитами 0,003-0,3 л/сек. Минерализация воды составляет 2,0-10,0 г/дм³.

На территории Арабатской стрелки дебиты скважин изменяются от 0,116 до 0,4 л/сек (удельные дебиты от 0,066-0,38 л/сек). Воды отличаются пестрой минерализацией и составом. Минерализация достигает 131,3 г/дм³.

В районе с. Новоотрадное на небольшой площади распространены подземные воды четвертичного возраста с минерализацией 1,5-2,0 г/дм³. Водообильность характеризуется дебитами колодцев 1,29-2,5 л/сек (111,0-216,0

м³/сутки) при понижениях уровня соответственно 1,8-1,3 м. Водоносный горизонт четвертичных отложений не защищен от поверхностного загрязнения.

Водоносные горизонты четвертичных отложений различных генетических типов на территории Ленинского района имеют повышенную минерализацию и для питьевого водоснабжения не пригодны.

Водоносные горизонты в аллювиальных отложениях присутствуют в поймах и надпойменных террасах крупных блоков бассейнов Черного и Азовского морей. Водовмещающие породы – суглинки, супеси, гравийно-галечные отложения. Их мощность не превышает 10,0 м. Уровни грунтовых вод залегают на глубине 0,2-17,0 м. Минерализация изменяется от 6,2 до 56,4 г/дм³.

Озерно-лиманные водоносные отложения распространены в устьевых частях балок многих Керченских озер. Это, в основном, глинисто-суглинистые песчанистые отложения с прослоями илов мощностью до 13,0 м. Глубина залегания уровня грунтовых вод – 0,5-6,5 м. Воды соленые до рассолов.

Водоносный горизонт морских отложений простирается от берега Азовского моря до Керченского абразивного уступа. Водовмещающие отложения – детритусовые пески. Мощность их не превышает 5,0-8,0 м. Глубина залегания уровня грунтовых вод – 0,1-3,0 м. Химический состав вод пестрый, минерализация от 3,0 до 24,0 г/дм³.

Озерно-аллювиальные и эолово-делювиальные отложения распространены в равнине Акташского озера. Мощность отложений до 80,0 м, литологически выражены песчано-глинистыми фациями. Являются первым от поверхности горизонтом, реже воды напорные. Минерализация от 8,0-10,0 до 40,0 г/дм³. Водоносные горизонты четвертичных отложений не защищены от поверхностного загрязнения.

2. Водоносный горизонт плиоценовых отложений. Распространен в центральных частях мульд: Керченской, Аршинцевской и др. Водовмещающими породами являются тонкозернистые глинистые кварцевые пески. Мощность горизонта составляет от 3,0 до 100,0 м и увеличивается от краев к центральной

части. Глубины залегания уровня грунтовых вод варьируют от 3,0 до 45,0 м. Минерализация изменяется от 3,0 до 68,0 г/дм³. Для питьевого водоснабжения водоносный горизонт не пригоден.

3. Водоносный горизонт понтических отложений. Этот горизонт приурочен к вышеперечисленным мульдам. Водовмещающими являются известняки-ракушечники и детритусовые пески. Мощность горизонта изменяется от 3,0 до 10,0 м. Уровень грунтовых вод устанавливается на глубине 5,0-35,0 м. Горизонт напорный. Минерализация вод изменяется от 0,8 до 6,5 г/дм³.

В с. Новоотрадное скважина, вскрывшая водоносный горизонт понтических отложений, самоизливается с дебитом 0,06 л/сек (5,5 м³/сутки). Минерализация воды 0,8-1,7 г/дм³. Водоносный горизонт эксплуатируется пансионатами. В перспективе данный водоносный горизонт можно будет использовать для централизованного водоснабжения с. Новоотрадное.

4. Водоносный горизонт мэотических отложений. Распространен практически во всех мульдах и является основным эксплуатационным горизонтом. Водовмещающие породы – известняки-ракушечники и детритусовые пески. Мощность горизонта изменяется в мульдах от 10,0-15,0 до 40,0-50,0 м. От периферии к центру подземные воды приобретают напор. Минерализация составляет 3,0-5,0 г/дм³.

Водообильность горизонта определяется литологическим составом водовмещающих пород. Так, например, дебиты скважин, пробуренных на территории Семисотского сельского поселения, изменяются в широких пределах (от 0,16 до 4,0 л/сек) при понижении уровня от 3,6 до 23,5 м.

Подземные воды мэотических отложений в западной и северо-западной части Ленинского муниципального района имеют повышенную минерализацию от 3,5 до 6,8 г/дм³. По этой причине много скважин на территории района законсервированы или эксплуатируются в весьма ограниченном объеме для технических целей. Использовать подземные воды для питьевого водоснабжения возможно лишь после предварительного опреснения.

В районе с. Золотое водообильность водоносного горизонта мэотических отложений характеризуется дебитами скважин от 0,23 до 0,46 л/сек (20,0-40,0 м³/сутки), минерализация воды составляет 2,0-5,0 г/дм³.

В с. Нижнезаморское дебит скважины, пробуренной на водоносный горизонт мэотических отложений, составил 2,1 л/сек (181,0 м³/сутки) при понижении уровня на 9,0 м.

В 2-х км юго-западнее с. Заветное развита зона пресных вод мэотических отложений с минерализацией до 0,7 г/дм³. Для водоснабжения близлежащих сел возможно бурение скважин на этом участке.

В районе пгт. Багерово и с. Октябрьское водоносный горизонт мэотических отложений вскрыт рядом скважин. Дебиты скважин составили 4,4-6,0 л/сек (380-518 м³/сутки), при понижении соответственно 1,2 и 1,6 м. Интенсивный водоотбор на этих участках стал причиной постоянного снижения уровня воды (1965 г.- 44,10 м; 1976 г. – 61,30 м). Переход водоснабжения на использование поверхностных вод улучшил гидрогеологическую обстановку. Уровни начали восстанавливаться и составили в 2005 г. – 59,98 м; в 2009 г. – 57,55 м. Данные показывают, что восстановление уровня происходит медленно и в этом районе водоотбор увеличивать нецелесообразно. Минерализация воды составляла в 1989 г. – 1,5-2,2 г/дм³; в 1994 г. – 1,3-2,1 г/дм³; в 1999 г. – 1,48-3,44 г/дм³; в 2007 г. – 2,0-3,1 г/дм³. Вода используется для производственно-технических и хозяйственно-бытовых целей.

5. Водоносный горизонт сарматских отложений. Отложения широко развиты севернее Парпачского гребня. Они представлены прослоями известняков, песков и мергелей. Мощность обводненных пород составляет 1,0-63,0 м. Воды напорные. Минерализация от 4,0 до 18,0 г/дм³. В Запарпачье водоносными являются среднесарматские известняки. Минерализация вод не превышает 5,0 г/дм³, реже, по мере погружения горизонта, увеличивается до 10,0 г/дм³.

Нижнесарматские отложения в районе с. Костырино содержит воду с минерализацией более 15,0 г/дм³. Водоносный горизонт для питьевого водоснабжения не пригоден.

6. Водоносный комплекс среднемиоценовых отложений. Водосодержащие отложения среднего миоцена широко развиты севернее Парпачского гребня и представлены они органогенно-хемогенными известняками чокрака и карагана. Мощность водосодержащих прослоев изменяется от 1,0 до 20,0 м. Воды горизонта напорные. Минерализация воды изменяется от 1,0 до 30,0 г/дм³.

В районе с. Новониколаевка водообильность отложений характеризуется дебитами близрасположенных скважин в пределах 1,5-2,9 л/сек (130,0-250,0 м³/сутки) при понижениях 16,4-28,4 м. Минерализация воды от 3,2 до 6,0 г/дм³.

В районе с. Костырино среднемиоценовые отложения содержат высокоминерализованную воду - 16,0 г/дм³. Водоносный горизонт для питьевого водоснабжения не пригоден.

7. Воды спорадического распространения отложений грязевых вулканов. Так называемые «сопочные» воды связаны с грязевулканическими процессами и относятся к глубинным водам, поднимающимся вместе с газами по жерлам грязевых вулканов. Распространены как в мульдах, так и на некоторых антиклиналях, разгружаются в виде источников [108]. Мощность обводненных брекчированных полей составляет 3,0-7,0 м. Минерализация воды – 12,0-26,0 г/дм³, присутствует повышенное содержание йода, брома, уголекислоты и сероводорода. Для питьевого водоснабжения воды отложений грязевых вулканов не пригодны.

8. Обводненные зоны в отложениях майкопской глинистой толщи. Отложения майкопской серии слагают ядра антиклинальных диапировых складок в Запарпачской зоне. В зонах активной трещиноватости, развитой в пониженных местах, присутствуют подземные воды с уровнем грунтовых вод в 0,5-7,0 м. Воды соленые до рассолов, с минерализацией – 19,0-55,0 г/дм³.

Основным источником питания для всех горизонтов служат атмосферные осадки, а также подпитка за счет перетекания из более глубоких горизонтов по тектоническим зонам и так называемым «гидрогеологическим окнам».

Прогнозные запасы в целом по Ленинскому муниципальному району составляют – 13,4 тыс. м³/сутки с минерализацией подземных вод – 1,5-3,0 г/дм³. Эксплуатационные запасы не утверждались. В связи с низкой отчетностью водопользователей района, достоверные данные о количестве скважин по водопользователям отсутствуют.

Южную часть территории района (область развития майкопских глин) можно считать практически безводной. Остальная территория характеризуется локальным развитием пресных подземных вод, которые приурочены к участкам выхода водовмещающих пород на дневную поверхность. Незначительная площадь выходов определяет небольшие площади распространения пресных подземных вод. В синклинальных структурах (мульдах) развиты в основном подземные воды с повышенной минерализацией: от 2-6 до 13-15 г/дм³. Анализ существующего водоснабжения населенных пунктов Ленинского муниципального района, общих гидрологических условий территории позволяет выделить группы населенных пунктов по возможности использования подземных вод для организации водоснабжения:

1 группа – села Фронтное, Новоселовка, Прудниково, Петрово, Яркое. Территория практически безводная, перспективные водоносные горизонты отсутствуют.

2 группа – села Каменское, Марфовка, Заморское, Кирово, Белинское, Борисовка, Заветное, Соляное, Львово, Красногорка, Челядиново, Огоньки. Возможно использование подземных вод с минерализацией 2-6 г/дм³ с предварительным опреснением.

3 группа – села Ивановка, Заветное, Октябрьское, Приозерное, Глазовка, Тасуново, Либкнехтовка. Подземные воды с минерализацией 0,5-2,5 г/дм³ используются для водоснабжения или же их использование возможно.

Таким образом, Ленинский район беден на подземные воды питьевого качества. Бурение новых скважин на площадях развития пресных вод должно быть ограниченным и строго обоснованным, т.к. увеличение водоотбора приводит к снижению уровня воды, повышению минерализации и, в итоге, к выходу водозабора из строя. Подземные воды используются, в основном, для производственно-технического и хозяйственно-бытового водоснабжения. Для питьевого водоснабжения подземные воды можно использовать лишь после предварительного опреснения.

2.3 Техногенная нагрузка на территории Восточного Крыма

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. Структура природопользования данного района, сформировавшаяся в настоящее время, во многом обусловлена особенностями длительного хозяйственного освоения [8,17,18]. Наличие минерально-сырьевой базы, агроклиматических, почвенных, рекреационных ресурсов обусловило развитие основных видов природопользования: промышленного, сельскохозяйственного и рекреационного [92,93].

Развитию антропогенной деятельности непременно сопутствуют изменения и преобразования окружающей природной среды, которые, как правило, приводят к возникновению экологических проблем. Одна из них - увеличение техногенной нагрузки на подземную гидросферу. Подземные воды, особенно первого от поверхности грунтового водоносного горизонта, являются слабо защищенными и подвержены загрязнению. Воды более глубоких водоносных горизонтов являются менее уязвимыми, их загрязнение, в основном, является следствием

долговременной хозяйственной деятельности на данной территории, что проявляется в повышении минерализации и жесткости воды. Кроме того, для этого региона отмечены нарушения правил эксплуатации и оборудования скважин, а также несанкционированного и чрезмерного забора воды. Причем использование подземных вод для питьевых и хозяйственно-бытовых целей осуществляется как объектами промышленности, сельского хозяйства, жилищно-коммунального хозяйства, рекреации, так и в качестве индивидуального источника водоснабжения населения [134].

Основными потенциальными источниками загрязнения подземных вод являются промышленность, сельское хозяйство, транспорт, ЖКХ. Они оказывают воздействие на подземную гидросферу посредством выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросов сточных и канализационных вод, складирования промышленных и твердых бытовых отходов и т.д. Более детально пути поступления загрязняющих веществ в подземные воды представлены схематически на рисунке 2.6.

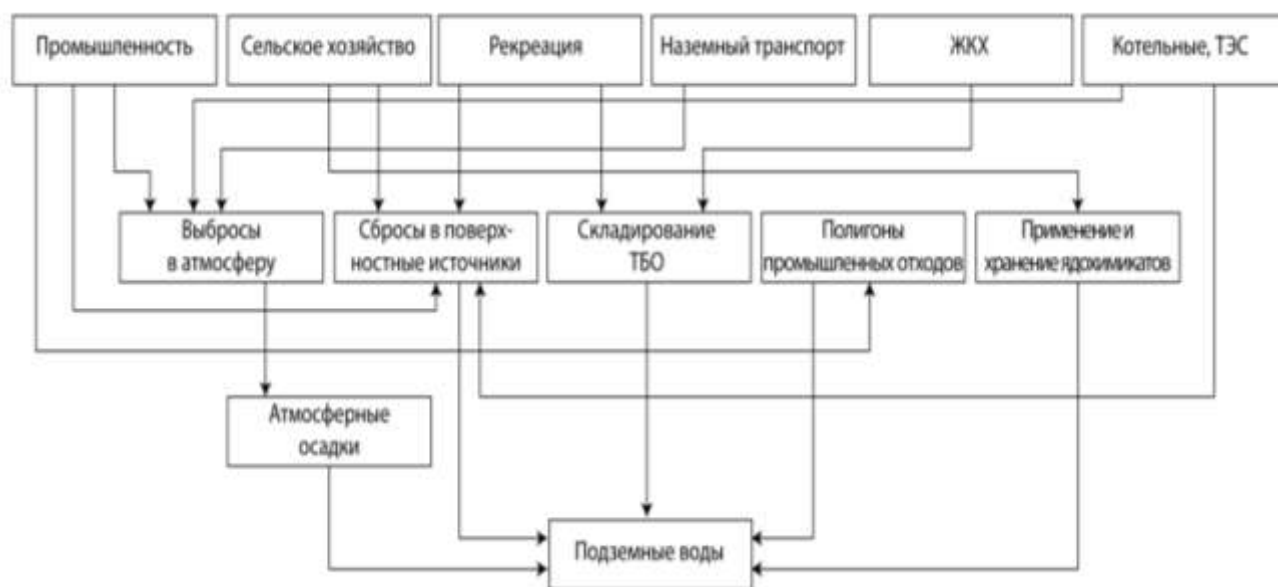


Рисунок 2.6 - Пути поступления загрязняющих веществ в подземные воды

С точки зрения техногенной нагрузки весь Керченский полуостров можно условно разделить на две крупные зоны: г. Керчь, в котором сконцентрированы все промышленные предприятия полуострова, и Ленинский район, специализирующийся на производстве сельскохозяйственной продукции. Это, в свою очередь, обуславливает специфику воздействия на компоненты окружающей среды.

Основными факторами, определяющими загрязнение атмосферного воздуха г. Керчь, являются: передвижные источники (легковой и грузовой транспорт), перегрузочные комплексы морского порта и котельные, работающие на угле и мазуте. К основным стационарным источникам загрязнения на территории города относятся: ООО «Керченский стрелочный завод», ООО «Керченский металлургический комбинат», Филиал ГУП «КМП» «Керченский торговый порт», АО судостроительный завод «Залив», рыбоконсервный завод «Пролив», котельные АП «Керчьтеплокоммунэнерго» и Камыш-Бурунской теплоэлектростанции [65].

На территории Ленинского района расположено 8 промышленных предприятий. Самыми крупными являются: ООО «Алеф-Виналь-Крым»; ООО «Крымполиграф» и ГУП РК «Крымские генерирующие системы» с ветроэлектростанцией «Восточно-Крымская ВЭС» [120].

За последние 14 лет в г. Керчь наблюдается снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников, что связано с остановкой работы отдельных предприятий и снижением их производительности. Так, с 2000 по 2014 гг. объемы выбросов загрязняющих веществ в г. Керчь сократились практически в 14 раз (рисунок 2.7).

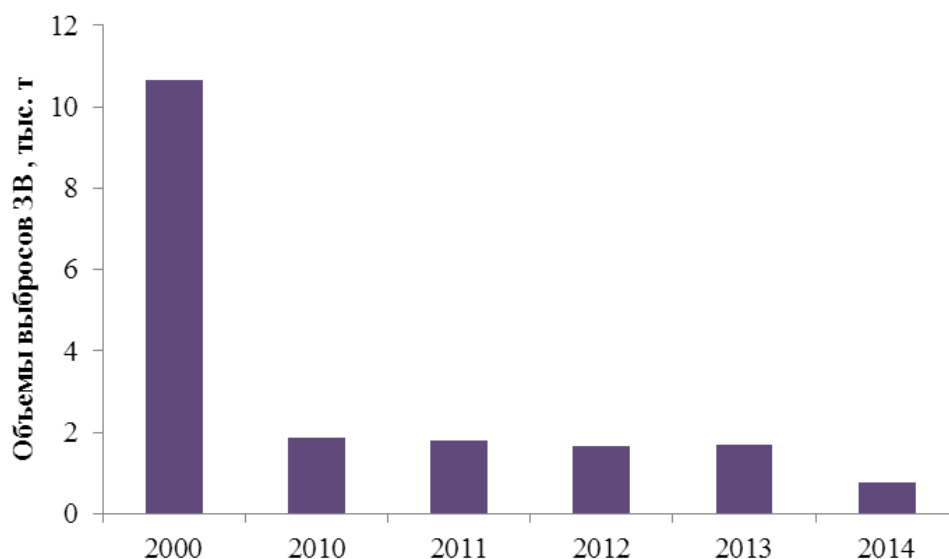


Рисунок 2.7 - Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в г. Керчь, по данным [65]

Количество выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников в Ленинском районе значительно ниже, чем в г. Керчь, и снизилось с 90 т. в 2013 г. до 31 т. в 2014 г. [64,65] (рисунок 2.8).

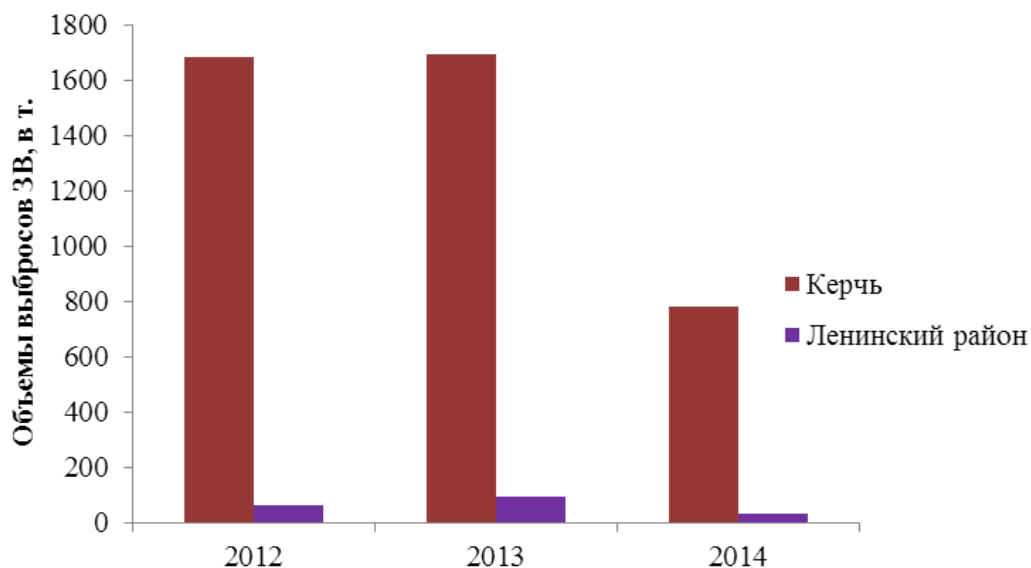


Рисунок 2.8 - Объемы выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников в атмосферный воздух по муниципальным образованиям, в т

Концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Керчь в 2014 г. по данным [65] находились в пределах ПДК, за исключением диоксида азота, среднесуточная концентрация которого составила 1,6ПДК (рисунок 2.9).

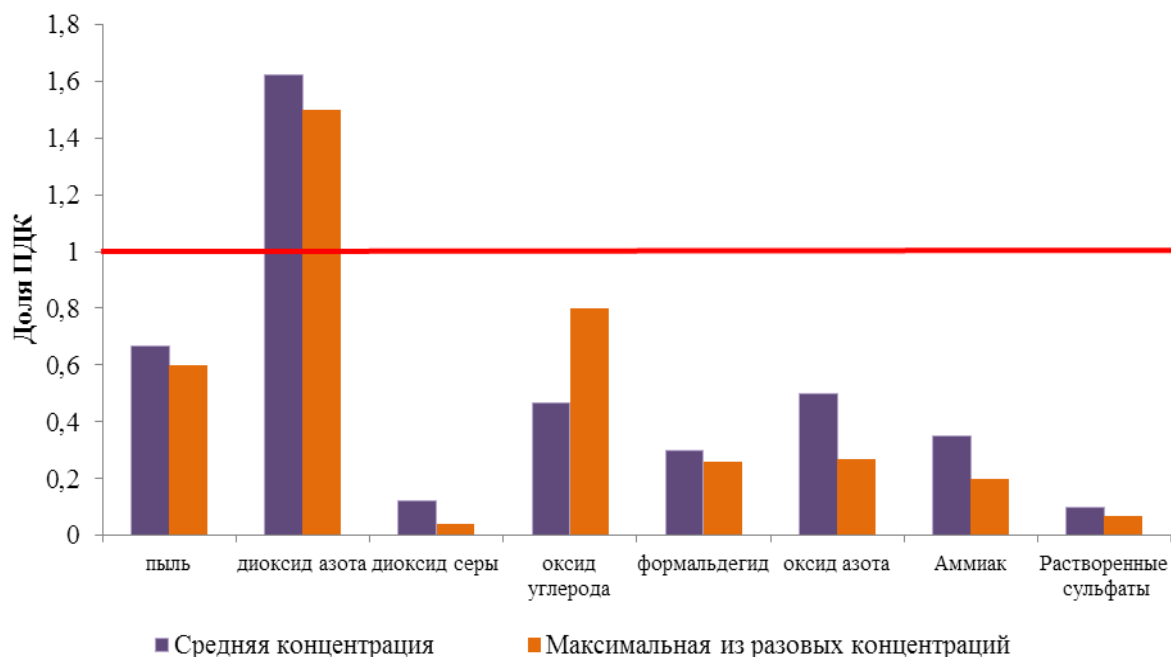


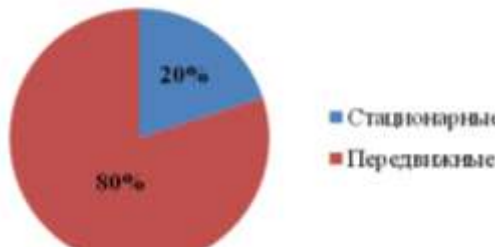
Рисунок 2.9 – Распределение среднесуточных и максимально разовых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Керчь в 2014 г.

Существенное влияние на состояние атмосферного воздуха на полуострове оказывают передвижные источники загрязнения – автотранспорт, что связано с транзитным положением рассматриваемого региона. Так, за 2014 г. через Керченскую паромную переправу было совершено около 10 тыс. оборотных рейсов, переправлено 586 тыс. единиц легкового автотранспорта, 26 тыс. автобусов, 5 тыс. единиц мототехники, 84 тыс. грузовых автомобилей [65]. На сегодняшний день автотранспорт является одним из основных источников воздействия на приземную атмосферу региона (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Выбросы загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух в 2013 г., в т., по данным [64]

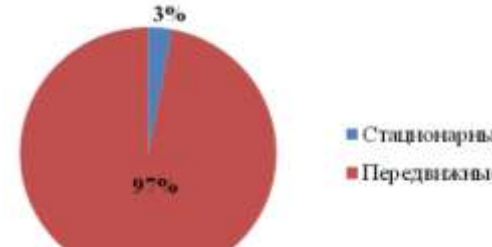
Загрязняющие вещества	г. Керчь		Ленинский район	
	Стационарные источники	Передвижные источники	Стационарные источники	Передвижные источники
Диоксид серы	461,5	66,3	10,1	25,7
Диоксид азота	468,6	837,3	20,7	269,5
Метан	25	21,3	6,9	9,8
Оксид углерода	340,7	4866,1	32,2	2246,3
Оксид азота	5,5	9,8	0,4	1,7
Сажа	57	78,6	0,9	27
Неметановые легкие органические соединения	171,3	754,9	16	355,2
Всего	1692,4	6634,7	90,6	2935,4

Соотношение валовых выбросов ЗВ от стационарных и передвижных источников в г. Керчь



Тип источника	Доля (%)
Стационарные	20%
Передвижные	80%

Соотношение валовых выбросов ЗВ от стационарных и передвижных источников в Ленинском районе



Тип источника	Доля (%)
Стационарные	3%
Передвижные	97%

Объемы валовых выбросов ЗВ в г. Керчь и Ленинской районе от стационарных и передвижных источников		
Тип источника	г. Керчь	Ленинский район
Стационарные	1692,4	90,6
Передвижные	6634,7	2935,4

Так, по данным 2013 г. доля выбросов от передвижных источников в г. Керчь и Ленинском районах значительно превышала валовые выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников. При этом в г. Керчь объемы валовых выбросов загрязняющих веществ как стационарными, так и

передвижными источниками значительно превышают показатели выбросов в Ленинском районе.

Объекты коммунального хозяйства являются основными загрязнителями, которые осуществляют сброс сточных вод [54,65]. В г. Керчь и практически во всех поселках Ленинского района сложилась крайне сложная обстановка с отведением и очисткой сточных вод. Существующие канализационные очистные сооружения устарели, работают с большой перегрузкой и не обеспечивают должной степени очистки стоков, что приводит к загрязнению подземных вод и ухудшению состояния окружающей среды [65]. Кроме того, сельские районы, не имеющие централизованных систем канализации, являются интенсивными загрязнителями подземных водозаборов за счет инфильтрации стоков [32,135].

В Ленинском районе ведущей отраслью является сельское хозяйство. Основное направление растениеводства – выращивание зерновых, зернобобовых и технических культур, животноводство района развивается в направлении выращивания крупного рогатого скота, свиноводства и овцеводства, большая часть которого находится в хозяйствах населения. Крупнейшие предприятия, занимающиеся выращиванием зерновых, зернобобовых и технических культур являются: ООО «Восток», ООО «Агро-Дружба & К», ООО «СП» «Золотой колос», ООО «Агро-Опук», ООО «Агрофирма Русь». Крупнейшими животноводческими предприятиями района являются: СПК «Инициатива», Ф/Х «Каретин», ООО «Ювасагрохолдинг», К(Ф)Х «Манукян А.Э.» [120]. Выращивание различного рода культур сопровождается применением удобрений и ядохимикатов, в результате чего происходит деградация почв, загрязнение поверхностных вод и инфильтрация химических соединений в подземные воды с атмосферными осадками и при орошении. Развитие сельского хозяйства и применение системы орошения приводит к повышению минерализации грунтовых вод. В Ленинском районе общая площадь контролируемых земель (с уровнем грунтовых вод менее 2 м) составляет 2005 га, из них орошаемых 35 га [65]. Грунтовые воды в пределах этих территорий высоко минерализованы: 94% - воды хлоридного состава с

минерализацией более 3 г/дм³, 5% - воды сульфатного и гидрокарбонатного состава с минерализацией более 5 г/дм³ и 1% - воды сульфатного и гидрокарбонатного состава с минерализацией 1-5 г/дм³.

Важной проблемой для Керченского региона остается утилизация отходов. На территории полуострова расположено 4 полигона ТБО и 6 полигонов промышленных отходов. Некоторые характеристики полигонов приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Характеристика полигонов ТБО и промышленных отходов, расположенных на территории Керченского полуострова [64,65]

Муниципальные районы	Наименование полигона	Ведомственная принадлежность / Эксплуатирующая организация	Площадь, га
Городской округ Керчь	Полигон ТБО г. Керчь	МУП Муниципального образования городской округ Керчь РК «Керченский комбинат благоустройства»	19,7
	Накопитель илового осадка	Рыбколхоз им. 1 Мая	0,3
	Накопитель илового осадка	Рыбколхоз им. Войкова	0,9
	Место удаления донного осадка очистных сооружений	ОАО «Керченский рыбокомбинат»	0,5
	Шламонакопитель	ООО «Керченский металлургический комплекс»	10,8
	Накопитель твердых промышленных отходов	ОАО «Керченский металлургический комплекс»	1,1
	Золошлаконакопитель	СП «Камыш-Бурунская ТЭЦ» ООО «КрымТЭЦ»	12,29
Ленинский район	Полигон ТБО пгт. Ленино	КП «Комбинат коммунальных предприятий»	8
	Полигон ТБО пгт. Багерово	КП «Багеровокоммунсервис»	2,4
	ТБО г. Щелкино	КП «Щелкино-Азов»	2,97

Общий объем аварийно химически опасных веществ (жидкий хлор, аммиак, хлор, соляная кислота) на территории полуострова составляет 112,94 т, из них 98% расположено в г. Керчь. Кроме того, отмечено большое количество несанкционированных стихийных свалок [64,65,120,176]. Наличие и образование

отходов на территории Керченского полуострова за период 2000-2013 гг. по данным [64,65] показаны на рисунках 2.10, 2.11.

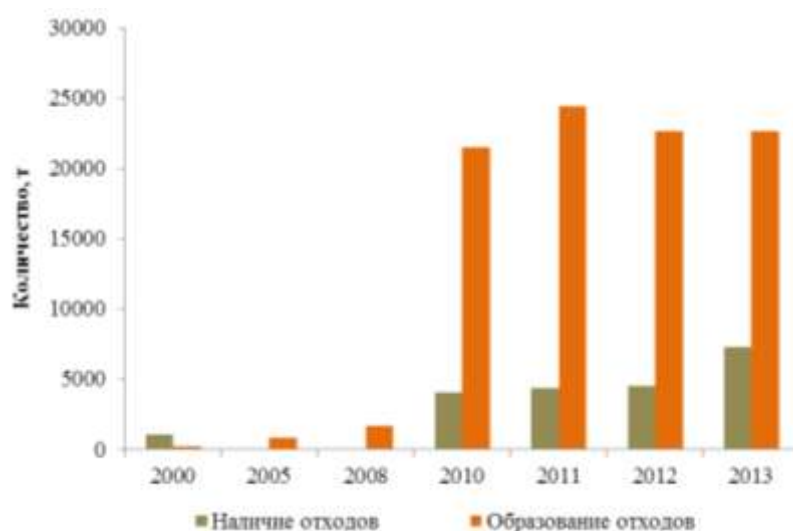


Рисунок 2.10 – Общее количество отходов (ТБО и промышленных) в г. Керчь

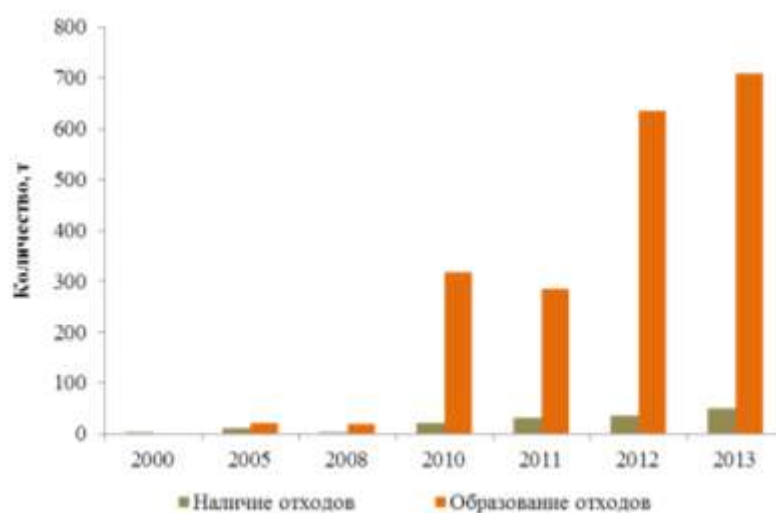


Рисунок 2.11 – Общее количество отходов (ТБО и промышленных) в Ленинском районе

Уровень образования и накопления отходов на территории г. Керчь значительно выше, чем в Ленинском районе, что обусловлено высокой

плотностью населения, концентрацией производств, недостаточным внедрением в производство принципов малоотходных и безотходных технологий.

Полигоны, а также несанкционированные свалки ТБО в районах населенных пунктов и рекреационных зонах, являются потенциальными источниками загрязнения подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков, загрязнения грунта и просачивания фильтрата [22,25,46,90]. Так, Керченский полигон ТБО, эксплуатация которого осуществляется с нарушением режима использования и охраны, оказывает негативное влияние на геологическую среду, подземные воды, воздушный бассейн, растительный и животный мир, социальную и техногенную среды [105].

Рекреационная деятельность приурочена к прибрежным зонам Азовского моря и Керченского пролива. На территории г. Керчь расположено 36 курортно-санаторных объектов, в Ленинском районе – 44 [65]. Наиболее крупными предприятиями санаторно-курортной сферы в г. Керчь являются: База отдыха «Два моря»; База отдыха «Залив»; Пансионат «Эльтиген»; Санаторий «Москва-Крым»; Отель «Меридиан»; Санаторий «Залив»; База отдыха «Солнечный берег». В Ленинском районе - Пансионат с лечением «Крымское Приазовье»; ООО ОК «Пансионат «Азовский»; ДП «Пансионат «Заря»; База отдыха «Рига»; Детский оздоровительный лагерь «Киммерик»; ООО «ДОК «Новоотрадное-1»; ДП «Бригантина»; ООО «ОК «Факел»; ООО «ДЗОО «Автомобилист» [120]. Увеличение рекреационной нагрузки на ландшафты выражается в увеличении прямого воздействия на природные компоненты (уничтожение растительности и т.д.), а также в проявлении опосредованного воздействия (строительство новых санаториев, домов отдыха, дорог и т.д.). Все это приводит к росту объемов сточных вод, увеличению количества твердых бытовых, строительных и других промышленных отходов и, как следствие, к загрязнению и истощению почв, поверхностных и подземных вод.

По результатам проведенного анализа была построена карта техногенной нагрузки на территории Керченского полуострова с указанием основных источников загрязнения окружающей среды (рисунок 2.12).

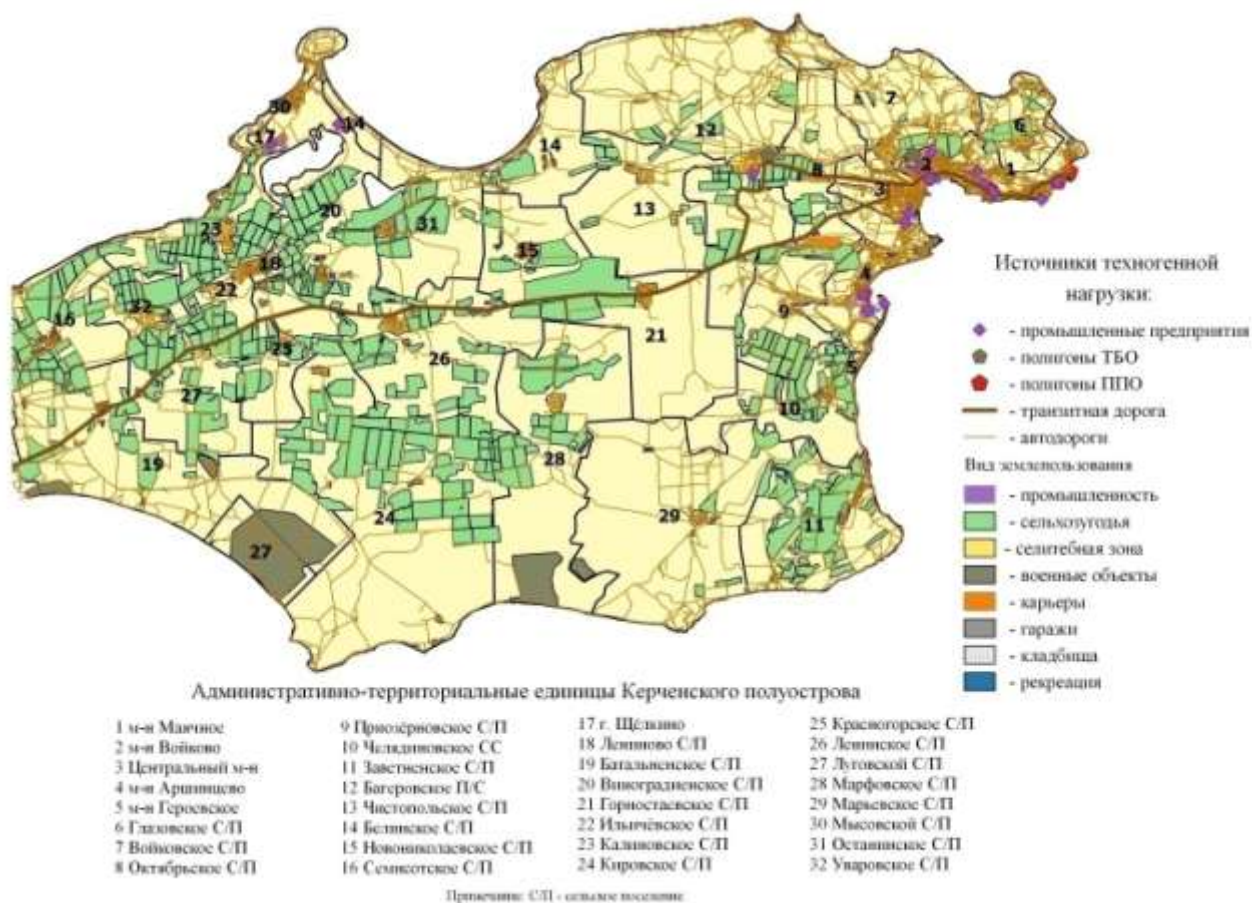


Рисунок 2.12 – Источники техногенной нагрузки на Керченском полуострове

Отмечена высокая неоднородность территории полуострова по техногенной нагрузке. Основная часть региона, а именно Ленинский район, представлена землями сельскохозяйственного назначения, а в г. Керчь сконцентрированы промышленные объекты, причем в основном в прибрежной зоне Керченского пролива (рисунок 2.13).

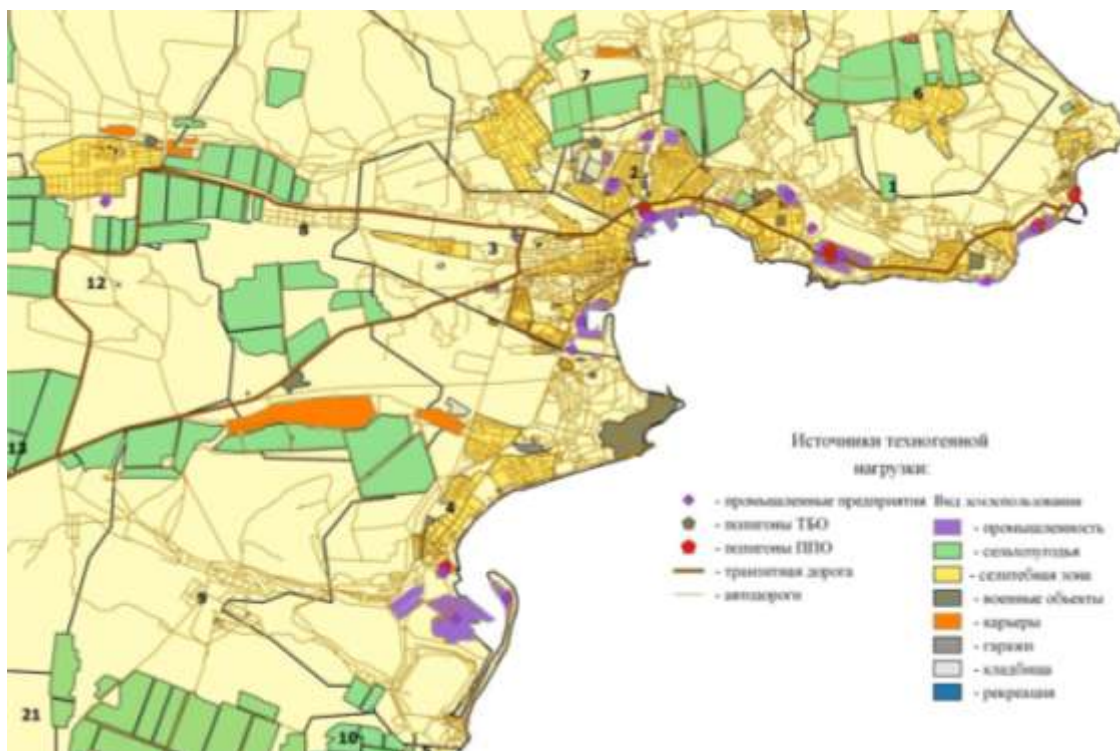


Рисунок 2.13 – Источники техногенной нагрузки в Керченском городском округе

Таким образом, по итогам проведенного анализа на территории Керченского полуострова были выделены зоны с различным уровнем техногенной нагрузки: густонаселенная территория г. Керчь, который является промышленным центром региона, и относительно малонаселенный Ленинский район, включающий сельскую местность. Результаты выполненного исследования легли в основу расчета показателей и индексов, характеризующих уровень техногенной нагрузки в регионе.

2.4 Характеристика современной системы водопользования на Керченском полуострове

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 (таблица 2.3).

Таблица 2.3 - Основные характеристики водохранилищ Северо-Крымского канала (СКК), расположенных и используемых на территории Керченского полуострова [65]

№	Название	Местоположение	Полный объем, млн. м ³	Назначение	Ведомственная принадлежность
1	Зеленоярское	с. Зеленый Яр, Ленинский район	3,02	водоснабжение	Управление СКК
2	Ленинское	с. Ленинское, Ленинский район	7,7	водоснабжение	Собственность муниципальных образований Ленинского района
3	Самарлинское	с. Виноградное, Ленинский район	8,09	водоснабжение	Собственность муниципальных образований, г. Щелкино
4	Сокольское	с. Сокольское, Ленинский район	2,26	рекреация	Собственность муниципальных образований Ленинского района
5	Станционное	с. Станционное, Ленинский район	24,0	водоснабжение	Управление СКК
6	Фронтное	с. Фронтное, Ленинский район	35,0	водоснабжение	Управление СКК

Полный объем водохранилищ изменяется от 2,26 млн. м³ в Сокольском водохранилище до 35 млн. м³ во Фронтном. В основном водохранилища предназначены для водоснабжения и только одно из них (Сокольское) – для рекреации. На рисунке 2.14 представлена гидрологическая сеть полуострова с указанием основных источников водоснабжения (Северо-Крымский канал с системой водохранилищ и водозаборы подземных вод).

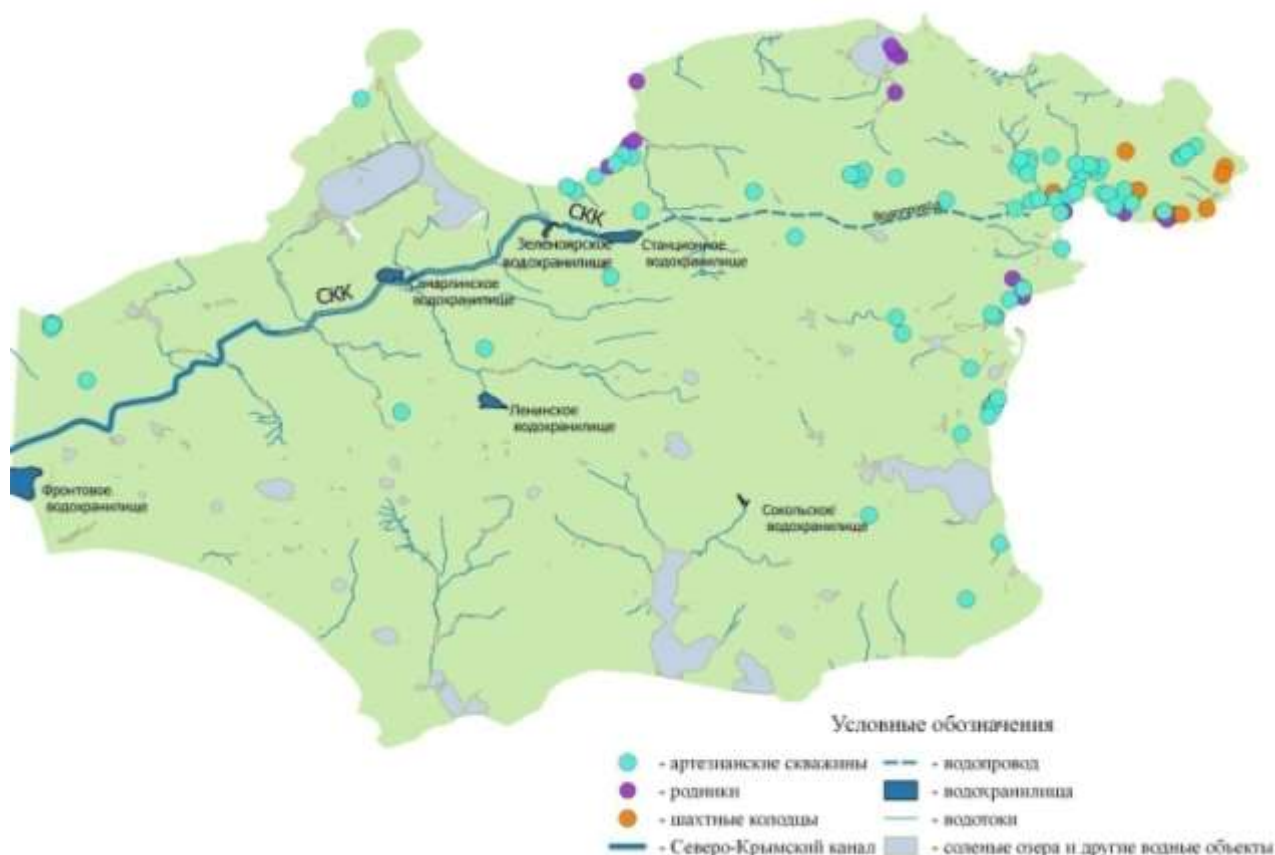


Рисунок 2.14 –Карта-схема Керченского полуострова с обозначением Северо-Крымского канала и водохранилищ

В прямой зависимости от наполнения водой канала для водоснабжения Керченского полуострова находятся режимы работ четырех водохранилищ: Ленинского, Самарлинского, Станционного и Фронтowego (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Количественные характеристики водохранилищ, используемых для водоснабжения Керченского полуострова по состоянию на 2014 г. [55]

Водохранилища	Полный объем, млн. м ³	Полезный объем, млн. м ³	Приток, млн. м ³	Расход на водоснабжение, млн. м ³ /год
Ленинское	7,7	6,7	5	2,907
Самарлинское	8	7	2	1,054
Станционное	24	22,8	32,325	27,443
Фронтное	35,5	29,5	16,108	4

Водоснабжение г. Керчь осуществляется из Станционного водохранилища, в 2014 г. расход воды которого составил 27,44 млн. м³, а Ленинского района – из Ленинского, Самарлинского и Фронтowego, суммарный расход воды которых составил 7,96 млн. м³.

До строительства Северо-Крымского канала единственным источником водоснабжения полуострова являлась вода из подземных источников. Вследствие повышенной минерализации она отличалась горьковато-соленым привкусом и несоответствием требованиям стандартов по таким показателям как жесткость, сульфаты, хлориды, сухой остаток и т.д. С введением канала в эксплуатацию в 1975 г. вода подземных источников, для улучшения вкуса и с целью снижения повышенной минерализации, разбавлялась днепровской водой [36,97]. Несмотря на то, что на полуострове появился централизованный источник водоснабжения, проблема дефицита качественной питьевой воды не была решена. Это обусловлено рядом причин. Во-первых, от основного сооружения канала водопровод был построен только до г. Керчь. В большинство сельских населенных пунктов днепровская вода так и не поступила. Проекты разветвления сети водопроводов канала до сельских населенных пунктов остались не осуществленными. Во-вторых, в результате 40-летней эксплуатации Северо-Крымского канала его инженерно-технические сооружения частично были разрушены. В результате этого качество воды, поступающей к потребителям, снизилось, вплоть до полной непригодности для использования в питьевых целях, в некоторые районы подача днепровской воды была полностью прекращена [97]. В процессе эксплуатации Северо-Крымского канала возникли экологические проблемы для региона в целом. Так, в частности отсутствие противофильтрационного покрытия в канале способствовало поднятию уровня грунтовых вод. Это, в свою очередь, привело к подтоплению территорий, их заболачиванию, засолению почв, деградации и потере сельскохозяйственных земель [36].

В мае 2014 г. ситуация с обеспечением водоснабжения Республики Крым, в том числе и Восточного Крыма, усугубилась в связи с прекращением подачи днепровской воды в Северо-Крымский канал [65]. В связи с прекращением подачи воды из Северо-Крымского канала фактическое наполнение водохранилищ уменьшилось практически до «мертвого» объема [65]. Тем не менее, канал продолжает функционировать, для его наполнения используются подземные воды Крыма [54]. Наполнение водохранилищ Керченского полуострова во многом зависит от дождевых, ливневых и талых вод.

В настоящее время на Керченском полуострове забор воды осуществляется из природных источников четырех типов – Северо-Крымский канал, подземные воды, местный сток и морская вода (таблица 2.5).

Таблица 2.5 - Показатели забора воды по Керченскому полуострову в территориальном разрезе (2013-2014 гг.) [65]

Год	Источник	Объем забора воды, млн. м ³	
		г. Керчь	Ленинский район
2013	СКК	24,9	6,46
	Подземные воды	0,25	0,33
	Местный сток	-	5,6
	Морская вода	1,16	-
	Всего	26,39	12,39
2014	СКК	16,69	4,53
	Подземные воды	0,18	0,33
	Местный сток	-	5,32
	Морская вода	0,91	-
	Всего	17,78	10,18

Объем водозабора из водохранилищ, питаемых водами канала, значительно превосходит водозабор их других источников. Подземные воды на полуострове распространены не повсеместно (п.1.3) и объемы водозабора сравнительно небольшие, по сравнению с поверхностными источниками. При этом их роль в водоснабжении полуострова, в частности сельских районов, является существенной [103,141]. В Ленинском районе мезотический горизонт в сложных гидрохимических условиях эксплуатируется, практически, всеми хозяйствами.

Минерализация подземных вод составляет 1,1-8,4 г/дм³. Величина водоотбора в 2013 г. составила 0,837 тыс. м³/сутки [64].

Основными факторами, влияющими на состояние подземных вод, являются гидрометеорологические условия и хозяйственная деятельность человека, в том числе эксплуатационный водоотбор, потери на площадях орошения, фильтрация подземных вод и др. [64]. Наибольшее распространение имеет загрязнение азотными соединениями, причиной которых является инфильтрация неочищенных или недостаточно очищенных стоков в области питания водоносных горизонтов и отсутствие канализационных систем в сельских населенных пунктах. На территории Республики Крым в целом зафиксировано 23 очага загрязнения подземных вод [65]. Наиболее высокий уровень загрязнения характерен для первых от поверхности водоносных горизонтов, незащищенных или слабозащищенных от вертикальной миграции загрязняющих компонентов. Источником загрязнения являются неорганизованные свалки бытового мусора, жилая застройка, сточные канавы и т.п.

Подземные воды, в силу природных условий территории, дефицитны. Одновременно, с точки зрения социально-экономического состояния региона, они являются важной составляющей водообеспечения [100]. 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. Это обуславливает необходимость проведения комплексной оценки экологической ситуации для обоснования мероприятий по рациональному использованию подземных вод и обеспечения экологической безопасности Керченского полуострова.

Из всего вышесказанного следует, что 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.

Выводы

1. Керченский полуостров имеет своеобразные гидрогеологические условия, которые обусловлены геологическим строением территории, орографией и климатом. Геологическое строение территории, а именно мощность и литологический состав горных пород, определяют степень защищенности водоносных горизонтов. Подземные воды дочетвертичных отложений относятся к защищенным водоносным горизонтам, воды четвертичных отложений - к незащищенным и слабозащищенным. При движении с запада на восток наблюдается постепенный переход от территории с площадным преобладанием антиклинальных структур к территориям, с преобладанием синклиналей и мульд. Небольшие площади областей питания подземных вод, при незначительном количестве атмосферных осадков и сравнительно сильном расчленении рельефа изучаемого района, приводят к формированию незначительных запасов пресных вод на ограниченных площадях, непосредственно прилегающих к выходам водовмещающих пород на поверхность.

2. Согласно гидрогеологическому районированию, Керченский полуостров относится к Керченско-Таманской системе малых артезианских бассейнов. Водоносными являются четвертичные и дочетвертичные: куяльницкие, киммерийские, понтические, мэотические, сарматские, среднемиоценовые и майкопские отложения. Подземные воды четвертичных отложений имеют весьма ограниченное распространение в районе. Они маломощны, высоко минерализованы, залегают на небольших глубинах, в результате чего являются слабо защищенными и весьма уязвимыми с точки зрения загрязнения. В силу всех факторов, теоретически, воды четвертичных отложений не пригодны для использования их в питьевых целях. Тем не менее, поскольку район является

бедным по водообеспеченности, на практике воды этого горизонта активно используются населением. С точки зрения запасов подземных вод, их водообильности, относительной защищенности и качества, только воды мезотических отложений занимают исключительно важное место в водоснабжении полуострова. При этом воды всех горизонтов отличаются повышенной минерализацией, которая постоянно растет за счет подтягивания вод со стороны моря при длительной эксплуатации водоносных горизонтов.

3. Основными потенциальными источниками загрязнения подземных вод являются промышленность, сельское хозяйство, транспорт, ЖКХ. Они оказывают воздействие на подземную гидросферу посредством выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросов сточных и канализационных вод, складирования промышленных и твердых бытовых отходов и т.д. Керченский полуостров включает зоны с различным уровнем техногенной нагрузки: густонаселенная территория г. Керчь, который является промышленным центром региона, и относительно малонаселенный Ленинский район, включающий сельскую местность. По результатам проведенного анализа была построена карта техногенной нагрузки на территории Керченского полуострова с указанием основных источников загрязнения окружающей среды. Результаты выполненного исследования легли в основу расчета показателей и индексов, характеризующих уровень техногенной нагрузки в регионе.

4. Основными проблемами водного хозяйства Керченского полуострова являются высокая зависимость от внешнего источника водопользования; изношенность и несоответствие мощностей систем водоснабжения и водоотведения; отсутствие в большинстве населенных пунктов централизованного водоснабжения; низкое качество воды и его постоянное ухудшение; неудовлетворительное выполнение водозащитных программ и мероприятий и т.д. 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. Подземные источники являются важным ресурсом для обеспечения потребностей населения, а также и стратегическим ресурсом в случае возникновения чрезвычайных ситуаций при условиях недоступности, недостаточности или же невозможности использования поверхностных вод.

Для качественного и бездефицитного водоснабжения населения важным является учет неоднородности распределения населения по районам полуострова. В виду разнородности компонентов необходимо провести комплексное исследование экологической ситуации на полуострове с учетом выявленных особенностей при использовании подземных вод.

ГЛАВА 3 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

3.1 Теоретические аспекты оценки экологической ситуации

Проблема формирования понятийной базы экологической ситуации и подходов к ее оценке освещены в работах В.А. Бокова [27-29], А.Г. Емельянова [67,68], А.Г. Исаченко [75], В.М. Котлякова [82,83], Б.И. Кочурова [84-89], А.И. Лычака [112-114], Г.В. Сдасюк [170], А.М. Трофимова [178-182], М.А. Троценко [183], А.С. Шестакова [170,192,193] и др. Рассмотрим более подробно трактовки понятий «экологическая ситуация» и «геоэкологическая ситуация» некоторыми авторами.

По А.Г. Емельянову [68] геоэкологическая ситуация - это пространственно-временное сочетание средообразующих природно-антропогенных условий и экологических проблем, существенно влияющих на жизнедеятельность населения. При этом главной причиной возникновения острых экологических ситуаций является антропогенный фактор – существенное превышение природно-ресурсного и экологического потенциалов ландшафтов.

А.Г. Исаченко [75] определяет экологическую ситуацию как комплекс экологических проблем, т.е. негативных изменений свойств ландшафтов, вызывающих ухудшение условий жизни и здоровья населения, истощение или потерю природных ресурсов, нарушение генофонда, уникальности и эстетической ценности ландшафта.

По определению Б.И. Кочурова [85] экологическая ситуация – это пространственно-временное сочетание различных, в том числе позитивных и негативных с точки зрения проживания и состояния человека, условий и

факторов, создающих определенную экологическую обстановку на территории разной степени благополучия или неблагополучия.

А.С. Шестаков [192] под эколого-географической ситуацией понимает такое пространственно-временное сочетание взаимосвязанных природных, социальных и политических условий, которое определяет изменение географической среды, создающее на территории относительно устойчивую во времени обстановку систем жизнеобеспечения человека и влияющую на уровень развития и степень удовлетворения потребностей общества.

Б.И. Кочуров [89] выделяет три основных типа системы оценки экологической ситуации:

- оценка качества природной среды для здоровья человека, включая анализ опасности окружающей среды;
- оценка антропогенных воздействий и нагрузок;
- оценка негативных изменений окружающей природной среды.

Экологическая оценка территории проводится с целью выявления основных экологических проблем, характерных для исследуемой территории, и определения остроты каждой отдельно взятой экологической проблемы и их совокупности. Важным является выбор критериев, используемых для оценки экологических проблем [89]. В качестве критериев оценки экологических ситуаций могут выступать различные группы показателей. К основным из них относятся:

- медико-демографические (уровень рождаемости и смертности, продолжительность жизни, заболеваемость среди населения и т.д.);
- санитарно-гигиенические (ПДК веществ в атмосферном воздухе, водной среде, почве и т.д.);
- экологические (снижение биологического разнообразия и т.д.);
- социально-экономические (наличие экологических беженцев и др.).

Более полный перечень критериев, которые применяются при оценке экологических ситуаций, приведен в методике [91], однако он не является исчерпывающим. Так, по мнению Б.И. Кочурова [85,89] представляется

возможным использование более широкого спектра критериев, которые должны учитывать региональные и местные условия территории. Кроме того, экологические ситуации являются динамичными системами, которые функционируют и дают возможность на их основе развиваться новым ситуациям, в частности при увеличении и появлении новых видов антропогенной нагрузки и т.д. В сложившейся ситуации наиболее оправданным является использование методики, основанной на использовании рискологического ряда: экологическая ситуация → опасность → риск → новая экологическая ситуация. Предложенная схема позволяет определить состояние территории на том или ином отрезке рискологического ряда, что имеет большое практическое значение. Такой ряд в наибольшей степени раскрывает пути эволюции ситуаций и показывает, что сама ситуация представляет опасность и риск для возникновения новой ситуации.

В этой связи необходимо более подробно остановиться на теории экологических рисков и их роли в оценке экологической ситуации.

3.2 Обзор существующих подходов к оценке экологических рисков

В сфере оценки риска существует большое число смежных с термином «риск» понятий, таких как «опасность», «катастрофа», «неопределенность», «вероятность», которые часто используются неупорядоченно и взаимозаменяемо или же определяются разными авторами не одинаково. Такое положение дел связано, прежде всего, со сложностью и многогранностью исследуемого объекта, и различные попытки формализовать данный факт на уровне теорий и программ безграничны - как безграничен и потенциал субъекта. Кроме того, профессиональная сфера деятельности по оценке риска возникла лишь в последние 20 лет [182].

Центральным понятием в теории риска является «опасность». Под опасностью понимается ситуация, при которой возможно нанесение ущерба здоровью людей или вреда окружающей природной среде [198]. Экологическая

опасность – любое изменение параметров функционирования природных, технических или природно-технических систем, приводящее к ухудшению качества компонентов окружающей среды за границы установленных нормативов [194].

Существует объективная необходимость оценивать опасности количественно. Актуализацией потенциальных опасностей и приносимый ими ущерб по своей природе носит случайный стохастический характер. Классической оценкой опасности является риск [77].

Понятие риска и экологического риска. Большинство авторов публикаций, посвященных проблеме риска, отмечают отсутствие строгого общепринятого определения понятия риска [62]. В ходе анализа значительного количества литературных и законодательных источников рассмотрены различные подходы к определению понятий «риск» и «экологический риск». Далеко не исчерпывающий список формулировок этих понятий представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Понятия «риск» и «экологический риск» в трактовке различных авторов

№	Понятие риска	Автор
1	2	3
1	Риск – это сочетание вероятности события и его последствий	ГОСТ Р 14.09-2005 [52]
2	Риск – это следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей.	ГОСТ Р 51897-2011 [53]
3	Риск – это вероятность наступления неблагоприятных событий при выполнении технологического процесса или в сфере жизнедеятельности человека.	Б.И. Сынзыныс и др.[175]
4	Риск – это ответственность за решения, принятые в условиях неопределенности	В.В. Яковлев [198]
5	Риск – это количественная мера опасности с учетом ее последствий	П.А. Ваганов, Им. Ман-Сунг [31]
6	Риск – это мера опасности. Риск всегда включает два элемента: частоту, с которой происходит опасное событие и последствия опасного события	А.А. Швыряев, В.В. Меньшиков [191]

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
Понятие экологического риска		
7	Экологический риск – это вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера.	ФЗ «Об охране окружающей среды» [125]
8	Экологический риск – это вероятность неблагоприятных для экологических ресурсов последствий любых (преднамеренных или случайных, постепенных или катастрофических) антропогенных изменений природных объектов и факторов	Н.Ф. Реймерс [161]
9	Экологический риск (риск возникновения чрезвычайной экологической ситуации) – возможность, вероятность (качественно или количественно определенная) резких изменений и нарушений в окружающей среде и возникновение в связи с этим негативных социально-экономических и иных последствий в обществе.	Б.И. Кочуров [89]
10	Экологический риск – это вероятность деградации окружающей среды или перехода ее в неустойчивое состояние вследствие загрязнения.	В.Н. Башкин [20]
11	Экологический риск – это вероятность получения определенного ущерба в результате проявления фактора проявления экологической опасности или их совокупности по отношению к конкретному объекту оценки.	А.Г. Шмаль [194]
12	Экологический риск – возможность возникновения неблагоприятных экологических последствий, вызванных как антропогенными, так и природными факторами.	К.Я. Кондратьев [79]
13	Экологический риск – это вероятность возникновения отрицательных изменений в окружающей природной среде или отдаленных неблагоприятных последствий этих изменений, возникающих вследствие воздействия на окружающую среду	В.А. Боков и др. [27]

В большинстве определений понятия «риск» и «экологический риск» традиционно трактуются как вероятность возникновения нежелательных (опасных) событий [20,125,175,190], во многих – добавляется требование учета последствий при реализации опасности [31,191,194]. Обзор научных публикаций показывает, что все большее распространение получает такой подход к определению риска неблагоприятного события, который учитывает и вероятность (или возможность) этого события, и его возможные последствия [31]. Возможность возникновения опасного события или процесса выступает одним из компонентов риска, а мера последствий (ущерба) – другим. Рассмотрим более подробно каждую из выделенных компонент риска:

Возможность возникновения опасного события. Поскольку необходимость оценки риска существует для ряда ситуаций (и экологических в том числе), для которых затруднительно, а зачастую невозможно определить вероятности событий, связанных с определенными опасностями, то введение терминов «неопределенность», «возможность» в определение риска значительно расширяет диапазон применения теории рисков в оценке экологических ситуаций на различных территориях. Так, Б.И. Кочуров и К.Я. Кондратьев допускают использование при определении экологического риска не только вероятность, но и возможность резких изменений и нарушений в окружающей среде и возникновение в связи с этим негативных социально-экономических и иных последствий в обществе. Оценка возможности реализации опасного события и их последствий не тождественна оценке вероятности события, а по диапазону – шире вероятностных оценок. Но и в первом, и во втором случае, прежде чем подобрать соответствующее конкретной ситуации определение экологического риска, и, соответственно, выбрать метод оценки риска, необходимо разобраться с типом неопределенности, которая обязательно должна присутствовать как неотъемлемое свойство риска.

Согласно ГОСТ Р51897-2011 неопределенность понимается как состояние полного или частичного отсутствия информации, необходимой для понимания события и его последствий, и их вероятностей [53].

По Н.П. Тихомирову [118] выделено семь степеней неопределенности:

1. Нулевая степень неопределенности – строгая детерминированность ситуации, что предопределяет возможность выбора решения на основе прямых расчетов эффективности различных вариантов.

2. Квазидетерминистская неопределенность – развитие ситуации контролируется, но сроки проявления событий и их сила определены в некоторых диапазонах (например, при наводнениях).

3. Стохастическая неопределенность классического типа – известны законы распределения вероятностей ожидаемого негативного события и ущерба от него

(например, территория находится под влиянием выбросов химического завода, расположенного на ней).

4. Неопределенность с известным распределением событий, но недостаточной выборкой для установления параметров – характерна для редких, но значительных по силе природных и техногенных катастроф, частота которых и возможный ущерб определяется в некотором диапазоне.

5. Незвестное распределение событий при достаточно большой выборке – характерно при оценках ущерба от загрязнения, определенных на основании потерь рыночной стоимости и упущенной выгоды.

6. Сильно выраженная случайность событий и малая выборка – характерна для событий, не имеющих накопленной статистики (например, техногенные катастрофы на новых предприятиях с новой технологией).

7. Нестохастическая неопределенность, исключаяющая какие-либо вероятностные закономерности – характерна для крайне редких событий (например, авария на ЧАЭС).

Для оценки влияния неопределенности в определенной экологической ситуации и необходимости учета ее при оценивании экологического риска можно использовать метод анализа чувствительности [194]. С этой целью производят оценку риска при наиболее характерных состояниях экологической ситуации (например, наиболее возможные, наименее возможные и наиболее правдоподобные). Если результаты оценки рисков не сильно отличаются, то делается вывод о незначительном влиянии рассматриваемой неопределенности на оценку риска. В противном случае, при существенной разнице, следует обязательно ввести в рассмотрение данный тип неопределенности и учесть в дальнейшем анализе рисков.

Существуют различные неопределенности и их влияние на процессы оценки экологического риска. Можно также выделить группы неопределенностей, степень неопределенности которых можно оценить: а) вероятностными методами; б) невероятностными методами.

Источниками неопределенности первой группы являются [20]:

- отсутствие понимания важных причинно-следственных взаимодействий, отсутствие удовлетворительной научной теории;
- использование моделей, не соответствующих реальным условиям из-за отсутствия данных и необходимости их упрощения, а также вследствие недостаточного знания предмета;
- необходимые допущения, на которых основывается анализ экологического риска и чувствительность получаемых результатов к изменениям этих допущений;
- вариабельности многих природных параметров, определяющих трансформацию и миграцию загрязняющих веществ в окружающей среде;
- недостоверности экспериментальных данных вследствие трудностей, возникающих при полевом мониторинге и т.д.

Оценка неопределенностей с помощью вероятностного метода возможна при статистически достаточном числе наблюдений; теоретико-вероятностными методами при оценке рисков от редких событий, когда статистика практически отсутствует; эвристическими методами с использованием субъективных вероятностей. Например, при оценке риска наводнений в г. Керчь неопределенность, связанная с возможностью развития наводнений оценивается статистически, поскольку имеются обширные материалы по статистическим наблюдениям за паводковыми ситуациями в регионе [189]. В то время как оценка техногенной нагрузки на Керченском полуострове производится эвристическими методами ввиду отсутствия регулярных наблюдений, репрезентативных для всего полуострова.

Вторая группа неопределенностей имеет своим источником недостаточность данных, связанную с их временной и пространственной отрывочностью и отсутствием научной истории рассматриваемой опасности (например, опасность, связанная с дефицитом воды при использовании источников различных типов при различных условиях внутреннего и внешнего

управления). В этом случае должны использоваться альтернативные подходы: теория нечетких множеств [197], теория возможностей [69], теория очевидностей Демпстера-Шафера, байесовский подход [172] и др.

Таким образом, возможность события, в отличие от вероятности события, которая оценивает частоту его появления в регулярном стохастическом эксперименте, ориентирована на относительную оценку истинности данного события, его предпочтительности в сравнении с любым другим. Вместе с тем возможность не всегда имеет событийно-частотную интерпретацию в отличие от вероятности, которая связывает её с экспериментом. Тем не менее, теория возможностей позволяет математически моделировать реальность на основе опытных фактов, знаний, гипотез, суждений исследователей [158].

Мера последствий опасности (ущерб). Последствия от реальных опасностей оцениваются количественно «ущербом» в широком смысле, в качестве которого могут выступать:

- натуральные оценки (денежные средства, жизни людей, заболеваемость, разрушение экосистем и т.д.) [27,31,77];
- качественные оценки (балльные, лингвистические переменные и т.д.) [40,74,77];
- относительные оценки, отражающие степень тяжести последствий, наступающих при реализации определенных опасностей [12,23,25,52,77,117].

Применение относительных оценок является оправданным при отсутствии возможности оценить ущерб в натуральных оценках, выраженных традиционно в денежной форме, количестве погибших и т.д. В частности, риск на скрининговом уровне использует относительный ущерб, с помощью которого можно сравнить значения экотоксичности со значениями конкретного воздействия [52]. Согласно ГОСТ Р14.09-2005 для каждого загрязнения или типа окружающей среды относительный ущерб может быть выражен в виде отношения потенциально возможного воздействия к высшему уровню воздействия, при котором неблагоприятный эффект не проявляется.

Таким образом, оценке риска предшествуют исследования возможности возникновения опасного события и меры его последствий в конкретной ситуации.

Оценка экологического риска. В общем виде последовательность оценки экологического риска представлена на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 - Блок-схема последовательности оценки экологического риска

Оценка риска может выполняться как покомпонентно, так и интегрально в различных комбинациях в зависимости от полноты данных и задачи исследования.

Возможными вариантами оценки риска являются:

1. Оценка вероятности или возможности нежелательного события (P).
2. Оценка «ущерба» последствий в результате реализации данного события (Y).
3. Свертка (в классическом варианте произведение $R = P \cdot Y$) вероятности (возможности) и «ущерба».

4. Оценка риска в двумерных координатах (P;Y).

Четвертый подход интересен тем, что его использование является более информативным, имеет больший охват различных экологических ситуаций. Кроме того этот подход позволяет оценить и различить маловероятное событие со значительным ущербом и более вероятное событие с меньшим ущербом.

Количественная оценка экологического риска является основой для принятия управленческих решений. В практике оценки рисков сложились традиционные подходы, среди которых следует выделить работы следующих авторов:

В.А. Боков и его соавторы выделяют несколько уровней оценки риска: оценка вероятности опасного события (без последующего анализа и оценки ущерба); оценка вероятности ущерба (учитывается вероятность опасного события и вероятность ущерба); оценка вероятности ущерба по конечному результату (расчет индивидуального риска) и определение опасности различных событий путем усреднения вероятностей их проявления по пространственным и временным параметрам. Особый характер имеют риски от крайне редких, но очень опасных событий, которым обычно приписывают некие условные вероятности в соответствии с заключениями экспертов, основанных на интуиции и выводах по аналогии. При этом авторы отмечают, что использование теории вероятностей в науках о Земле затруднено из-за большой амплитуды многих явлений, их редкости (что затрудняет получение длинного однородного ряда) [27].

П.А. Ваганов с соавторами утверждает: «...риск нельзя рассматривать в отрыве от последствий проявления данной опасности. Оценка риска должна быть двумерной: величина риска равна произведению вероятности рассматриваемого события или процесса на меру ожидаемых последствий (ущерба). Важно, чтобы мера ожидаемого ущерба включала в себя все возможные последствия данного события или процесса. Полная мера последствий должна включать в себя различные виды ущерба - социального, экологического, экономического,

морального и т.д.». Все виды ущерба тесно связаны друг с другом, при этом социальный, экологический и моральный ущербы также могут иметь денежное выражение [31].

А.Г. Шмаль утверждает, что структура экологического риска определяется вероятностью проявления факторов экологической опасности по отношению к конкретному объекту оценки и возможным ущербом окружающей среде. В этом случае количественная мера экологического риска представляет собой математическое ожидание ущерба, определяемого для всего комплекса экологически опасных факторов, проявляющихся на данной территории. В соответствии с таким толкованием в качестве количественной меры риска целесообразно использовать показатель, одновременно учитывающий две характеристики неблагоприятного события - вероятность его наступления и возможную величину причиняемого им ущерба [194].

В.В. Яковлев применяет мультипликативный подход, в котором мера риска определяется как произведение вероятности реализации аварии и вероятного относительного ущерба [198].

В настоящее время концепция экологического риска является весьма актуальной, что в свою очередь приводит к появлению большого количества новых подходов к расчету риска. Это объясняется, с одной стороны, отсутствием четко сформированной теории экологического риска и однозначной методологии его расчета, с другой стороны – разноплановостью имеющихся данных, особенностями объекта исследования, неоднозначностью условий и т.д.

Важная роль в разработке методологии оценки природных рисков принадлежит специалистам Института геоэкологии РАН, в том числе В.И. Осипову [131,132,157], А.Л. Рагозину [156,159], И.В. Галицкой [38] и др.

Риск загрязнения подземных вод из наземных источников загрязнения А.П. Белоусовой рассматривается как произведение уязвимости подземных вод к внешнему загрязнению и возможного удельного ущерба от загрязнения. Защищенность и техногенная нагрузка выражаются через индексы,

раскрывающие индикаторы воздействия и состояния подземных вод. Предложенный метод позволяет проводить комплексные оценки экологического состояния подземных вод в различных масштабах с целью обеспечения устойчивого развития подземной гидросферы как компонента окружающей среды [22-25].

В.Г. Дмитриев провел анализ публикаций по теме экологических рисков и отметил разнообразие подходов к их оценке. Так, во многих зарубежных работах мерой экологического риска считается отношение уровня концентрации к токсичности в детерминированной трактовке. В вероятностной трактовке мерой риска является вероятность превышения концентрации по отношению к ПДК [62,63].

Для европейского проекта ARAMIS по разработке сценарного подхода к оценке рисков был использован детерминированный подход и введено понятие индекса риска, которое определяется как мера совокупности факторов, представляющих угрозу для системы. Важной характеристикой риска, служит индекс серьезности риска, который определяется как сумма произведений вероятностей реализации факторов опасности и специфических для каждого фактора индексов серьезности риска. Специфические индексы измеряются в баллах от 0 до 100 для четырех уровней эффекта (незначительного, обратимого, необратимого и катастрофического). Общий индекс серьезности риска вычисляется суммированием по числу критических событий произведений вероятностей (частот) возникновения критических событий на соответствующие индексы серьезности риска и нормируется в пределах от 0 до 1000. Далее вводятся четыре градации общего индекса серьезности риска: при значениях в пределах более 750 риск экстремально высок, от 750 до 300 - риск высокий, от 300 до 50 - риск средний и для остальных значений – низкий [62].

Некоторые авторы в количественном выражении понимают под риском произведение вероятности на величину последствий, при этом вероятность оценивается при помощи шкалы от 0 до 5, а величина последствий от 0 до 25 [62].

Л.Н. Карлин и А.А. Музалевский предлагают индикаторно-рискологический подход количественной оценки экологического риска, основанный на идеологии индикаторов, индексов и индексов качества. В этом подходе экологический риск определяется несколько по иному, чем в традиционных подходах и трактуется как мера, описывающая часть шкалы качества контролируемого объекта, которая не удовлетворяет полностью или частично численным значениям набора параметров, привязанным к эталону качества. Т.е. экологический риск определяется как вероятность потери качества компонента природной среды, вследствие ее загрязнения хозяйственной деятельностью человека. Методология индикаторно-рискологического подхода имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционной, поскольку является простой, удобной в обращении и снижает неопределенность. Достоинствами этой методологии является применение безразмерных индексов, что, в свою очередь, упрощает процедуру свертки, интерпретацию и возможность сопоставления полученного результата с другими аналогичными показателями. Также при этом упрощается заключение диапазона количественных изменений величин между нулем и единицей, что позволяет связать индикаторы с распространенным вероятностным понятием риска и провести сопоставления в единой шкале [77].

А.А. Швыряев и В.В. Меньшиков используют детерминированный подход к оценке риска и рассчитывают его величину как отношение оценки концентрации привнесенного вещества к оценке безопасной концентрации. Величина концентрации вещества определяется на основе анализа воздействия, а величина безопасной концентрации оценивается на основе анализа производимого эффекта. Случай, когда риск больше единицы, означает, что привнесенное вещество может привести к вредным последствиям [191].

Эколого-рискологический подход широко применяется для оценки состояния различных объектов и территорий. Примером оценки экологического риска для экосистем малых рек может служить работа, в которой авторы предлагают производить оценку риска на основе анализа критических нагрузок по

зависимости «доза-эффект». При расчете риска был принят единый критерий приемлемости величины техногенного воздействия – 95% защищенность экосистем. Для характеристики экологического риска был проведен расчет и картирование величин превышений критической нагрузки, а также вычислена вероятность возможных негативных изменений в состоянии речной экосистемы [109].

Концепция оценки экологических рисков для малых городов Подмосковья при существующем уровне техногенного воздействия основана на том, что в качестве объекта воздействия рассматриваются и окружающая природная среда, и состояние здоровья человека. Экологические риски при этом рассматриваются с двуединой позиции: опасности наступления негативных событий для здоровья населения и опасности ухудшения качества окружающей среды. Степень выраженности экологических рисков оценивается по пятибалльной шкале, которая характеризует устойчивость природных компонентов к внешнему воздействию. Балльное значение доминирующего и дополнительных показателей является серединой оценочного балла, соответствующего установленной в ходе оценки степени выраженности экологического риска окружающей природной среды: очень слабая (0,5); слабая (1,5); средняя (2,5); чрезвычайная (3,5); катастрофическая (4,5) [76].

В работе [40] автором применяется термин «гидроэкологический риск», связанный с определенной степенью вероятного ущерба, который возникает в результате хозяйственного освоения водосборов и использования их водных ресурсов. Риск был рассчитан с помощью детерминированного подхода на основе балльных оценок. Итоговый балл, отражающий уровень гидроэкологического риска определяется по формуле (3.1):

$$B_p = \sqrt{B_1 \cdot B_2}, \quad (3.1)$$

где B_1 – оценка состояния речных вод по УКИЗВ; B_2 – балльная оценка плотности населения; B_p – балльная оценка уровня гидроэкологического риска.

В результате для Восточного Донбасса были выделены территории, соответствующие четырем уровням гидроэкологического риска: экстремально высокий, очень высокий, высокий и средний [40].

Аналогичный подход применялся с целью оценки уровня геоэкологического риска для морского побережья Ростовской области [74].

Таким образом, проведенный анализ публикаций показал отсутствие единой методологии оценки экологических рисков. Исследователи проблемы риска используют различные приемы для оценки степени неопределенности событий и возможных последствий. Использование этих приемов оправдано полнотой статистических данных, спецификой объектов оценки, прогнозируемостью и частотой явлений и т.д. Следовательно, для эффективной оценки экологического риска в конкретной области необходимо выработать системный методологический подход, на основании которого разработать методики, учитывающие особенности объектов, подвергающихся риску, источники риска, специфику проявления последствий от определенных опасностей с учетом региональных особенностей территории.

3.3 Подходы к оценке экологической ситуации при использовании подземных источников водоснабжения

Для оценки экологической ситуации на территориях, где подземные воды играют существенную роль в структуре водоснабжения, предложено использовать индикаторно-рискологический подход [22,23,25,77]. Он позволяет учитывать наиболее существенные факторы, формирующие экологическую ситуацию в

регионе, их разноплановость, разномасштабность и нелинейный характер синергетического взаимодействия [98,99].

С учетом цели и задач исследования в данной диссертационной работе под экологической ситуацией понимается пространственно-временное сочетание условий и факторов, различных с точки зрения условий проживания и состояния здоровья человека и создающих определенную экологическую обстановку на территории при использовании подземных источников. Особенно актуальна разработка методики геоэкологической оценки и анализа территорий, которая позволяет произвести анализ взаимосвязей и отношений между природными, хозяйственными и социальными подсистемами, где существует сложная и неблагоприятная гидроэкологическая ситуация [56,57].

Разработанная методология геоэкологической оценки ситуации в регионе при использовании подземных вод предусматривает выполнение шести последовательных шагов [143]:

1. Выявление различных экологических условий, создающих определенную экологическую обстановку на территории при использовании подземных источников водоснабжения.

2. Определение классов состояния структурообразующих компонентов, которые формируют экологические условия.

3. Формирование информационной основы для оценки экологической ситуации при использовании подземных вод:

- определение приоритетных показателей, характеризующих состояние выявленных экологических условий в рассматриваемом регионе;

- сбор и статистическая обработка данных;

- отбор наиболее информативных показателей;

- оценивание экологической ситуации на основании частных показателей.

4. Создание системы унифицированных экологических индикаторов:

- обоснование и выбор шкалирующих функций для проведения унификации с учетом влияния частных показателей на уровень экологической опасности;

- определение параметров шкалирующих функций;
- расчет безразмерных экологических индикаторов для выделенных районов в пределах рассматриваемой территории.

5. Выполнение комплексной оценки экологического риска путем интеграции:

- построение трехуровневой системы количественной оценки экологического риска;
- покомпонентная интеграция последствий возможных опасностей, связанных с использованием подземных источников водоснабжения;
- оценка возможности развития опасностей и расчет соответствующих экологических рисков;
- построение моделей интегральной оценки экологического риска и его расчет для выделенных районов.

6. Оценка уровня остроты проявления экологической ситуации.

Рассмотрим предложенную методологию оценки экологической ситуации более детально.

3.3.1 Характеристика экологических условий и определение классов их состояния

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 (таблица 3.2).

Таблица 3.2 - Классификация экологической ситуации при использовании подземных вод по уровню остроты проявления

Критерии	Удовлетворительная	Напряженная	Критическая
Качество воды подземных источников	высокое (показатели качества воды находятся в пределах нормы и не превышают ПДК)	среднее (отдельные показатели качества воды превышают ПДК)	низкое (более 50% показателей качества воды превышают ПДК)
Водообеспеченность из подземных водозаборов	низкая (объем водопотребления более 190 л/сутки на чел.)	средняя (объем водопотребления 70-190 л/сутки на чел.)	высокая (объем водопотребления менее 70 л/сутки на чел.)
Уровень техногенной нагрузки в пределах территориальных единиц	низкая (источники техногенной нагрузки отсутствуют или их влияние незначительно)	средняя (присутствуют отдельные источники техногенной нагрузки и их влияние ощутимо)	высокая (присутствуют мощные источники техногенной нагрузки и их влияние значительно)
Пространственное распределение населения	низкая (плотность населения менее 100 чел/км ²)	средняя (плотность населения 100-1000 чел/км ²)	высокая (плотность населения более 1000 чел/км ²)

Выбор приоритетных показателей, характеризующих состояние выделенных экологических условий, и статистическая обработка результатов исследования определяется спецификой региона и зависит от особенностей природных условий, структуры водопользования, типов водозабора подземных вод, их количества и т.д.

При определении классов состояния экологических условий, применяется система двойной градации, представленная в виде таблицы 3.3, где классы характеризуют основное состояние условий, а подклассы различные уровни в пределах данных состояний [136].

Таблица 3.3 - Система градации состояний экологических условий

Основные классы	Подклассы	Состояние
А	A_1	хорошее состояние
	...	
	An_a	
В	B_1	допустимое
	...	
	Bn_b	
С	C_1	недопустимое
	...	
	Cn_c	

Примечание: n_a , n_b , n_c – количество подклассов в классах А, В и С соответственно, определяемые типом экологических условий.

В итоге были выделены классы состояния экологических условий:

- а) по качеству подземных вод;
- б) по водообеспеченности из подземных водозаборов;
- в) по техногенной нагрузке в пределах территориальных единиц;
- г) по пространственному распределению населения.

Рассмотрим более детально выделенные классы состояния экологических условий:

а) по качеству подземных вод. Качество воды, используемой для водоснабжения населения, является важным показателем экологического и санитарно-эпидемиологического благополучия территории [48,49,73,173]. В настоящее время в России единый комплексный интегральный показатель, предназначенный для ранжирования подземных вод по их качеству, законодательно не утвержден [30]. Так, в работе [46] оценка состояния подземных вод производится с учетом степени защищенности и уровня минерализации воды источников, времени подтягивания загрязненных вод к водозабору.

Учеными Института водных проблем РАН проводится большая работа по изучению закономерностей формирования и распределения естественных ресурсов подземных вод [59,70-72,152], по оценке современного состояния и прогнозирования изменения качества подземных вод [16,24], а также разработке методов оценки и картирования экологического состояния подземных вод в

условиях природного и антропогенного загрязнения [22-25,165]. Так, в работах [12,25] оценка экологического состояния подземных вод проводится с использованием индексов опасности загрязнения как одной из характеристик устойчивости подземных вод к негативному воздействию. Кроме того, для оценки качества подземных вод применяются различные показатели, которые являются аналогами соответствующих показателей качества поверхностных вод: индекс загрязнения воды (ИЗВ), удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ), показатель химического загрязнения (ПХЗ-10), показатель Эрисмана и др. [11,30,47]. Также используются методы биоиндикации и биотестирования [11,30,138].

В данной работе оценка качества подземных вод производилась на основании индекса загрязнения подземных вод (ИЗПВ), который является аналогом ИЗВ [30] и рассчитывается по формуле (3.2):

$$\text{ИЗПВ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}, \quad (3.2)$$

где C_i – концентрация i -того загрязняющего вещества; n – количество отобранных загрязняющих веществ; ПДК_i – предельно-допустимая концентрация i -того загрязняющего вещества.

Классификация качества воды подземных источников представлена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Классификация качества воды подземных источников (шкала A_1)

Класс	Подкласс	Значение ИЗПВ	Качественное состояние подземных вод
А	A_1	0-0,2	очень чистые
	A_2	0,2 - 1,0	чистые
В	B_1	1,0 - 2,0	умеренно-загрязненные
	B_2	2,0 - 4,0	загрязненные
С	C_1	4,0 - 6,0	грязные
	C_2	6,0 - 10,0	очень грязные
	C_3	$\geq 10,0$	чрезвычайно грязные

б) По водообеспеченности из подземных водозаборов. Классы состояния экологических условий по водообеспеченности из подземных водозаборов определялся на основании среднесуточных норм водопотребления, согласно установленным нормативам [33]. Распределение классов и подклассов водообеспеченности представлено в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Классификация водообеспеченности из подземных водозаборов (шкала A_2)

Класс	Подкласс	Общая среднесуточная водообеспеченность, м ³ /сутки на чел.	Качественное состояние водообеспеченности
А	A ₁	$\geq 0,25$	достаточная
	A ₂	0,21-0,25	
	A ₃	0,19-0,21	
В	B ₁	0,16-0,19	недостаточная
	B ₂	0,12-0,16	
	B ₃	0,1-0,12	
	B ₄	0,07-0,1	
С	C ₁	0,04-0,07	крайне недостаточная
	C ₂	0,002-0,04	
	C ₃	$\leq 0,002$	

в) По техногенной нагрузке в пределах территориальных единиц.

Существуют различные подходы к оценке техногенной нагрузки в регионе [186,200,201]. Во многом выбор метода оценки зависит от полноты имеющейся информации, на основании которой должен проводиться анализ, от целевого назначения оценки и территориальной организации хозяйства.

В данной работе классы состояния рассчитываются по наличию и интенсивности воздействия источников техногенной нагрузки на рассматриваемой территории. Уровень техногенной нагрузки определяется методом экспертных оценок [81] по шкале от 0 до 2 с учетом наличия основных отраслей хозяйства (промышленности, сельского хозяйства, транспорта, ЖКХ и т.д.). Для присвоения баллов (B_T) используются критерии, указанные в таблице 3.2. Интенсивность воздействия источника техногенной нагрузки регулируется

поправочным коэффициентом (K_T). Общая техногенная нагрузка (O_T) оценивается суммарным количеством баллов по всем отраслям хозяйства (от 0 до 12) и рассчитывается по формуле (3.3):

$$O_T = \sum_{j=1}^6 K_T^j \cdot B_T^j, \quad (3.3)$$

где $B_T \in [0;2]$ и $K_T \in [0;1]$.

Классификация уровней общей техногенной нагрузки представлена в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Классификация уровней общей техногенной нагрузки (шкала A_3)

Класс	Подкласс	Уровень общей техногенной нагрузки, в баллах	Качественная характеристика техногенной нагрузки
А	A_1	0-3	незначительная
	A_2	3-5	низкая
В	B_1	5-7	средняя
	B_2	7-9	значительная
С	C_1	9-10	высокая
	C_2	10-12	чрезвычайно высокая

г) По пространственному распределению населения. Рассчитываются на основании распределения плотности населения на данной территории. Плотность населения является важным критерием при оценке экологической ситуации, поскольку, чем она выше, тем больше риск развития неблагоприятных последствий, нанесения вреда здоровью населения и т.д. Плотность населения выступает показателем освоенности территории, интенсивности хозяйственной деятельности, территориальной структуры хозяйства. Расчет плотности населения производится для каждой административно-территориальной единицы на основании статистических данных о количестве населения и площади районов. Полученная классификация представлена в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Классификация плотности населения (шкала A₄)

Класс	Подкласс	Плотность, чел/км ²	Качественная характеристика плотности
А	A ₁	≤30	низкая
	A ₂	30-100	
В	B ₁	100-170	средняя
	B ₂	170-250	
	B ₃	250-350	
	B ₄	350-500	
	B ₅	500-700	
	B ₆	700-1000	
С	C ₁	1000-1600	высокая
	C ₂	≥1600	

Важным этапом предложенной методологии 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.

3.3.2 Формирование информационной основы для оценки экологической ситуации при использовании подземных вод

Поскольку выполнение комплексной оценки экологической ситуации при использовании подземных вод осуществляется на основе собранных статистических данных, входящих в разные группы анализа, первичный анализ и последующие расчеты также целесообразно проводить по каждой группе отдельно. Для этого необходимо сформировать информационную базу, содержащую экологические, социально-экономические, географические и другие первичные показатели, которые будут служить основой для оценки экологической ситуации при использовании подземных вод в различных районах исследуемого

региона. Построение иерархической структуры экологической ситуации выполняется поэтапно.

Этап 1. Сбор единичных показателей x_i в абсолютных измерительных шкалах, отражающих частные влияния тех или иных экологических факторов на исследуемую ситуацию; приведение качественных показателей к количественной форме. Использование количественных оценок в экологии связано с необходимостью приведения разнообразных показателей к единой системе оценок с возможностью осуществления последующей интеграции.

Этап 2. Анализ единичных показателей:

- первичный анализ (когнитивный, логический, статистический);
- проверка законов распределения показателей, построение соответствующих доверительных интервалов и удаление аномальных значений;
- простейшие преобразования показателей p_i к более информативной форме x_i , как, например, относительные безразмерные показатели (типа доли ПДК для показателей группы загрязняющих компоненты биосферы веществ);
- корреляционный и регрессионный анализ, выявление взаимосвязанных показателей в абсолютной и относительной формах. Анализ корреляционной матрицы позволяет выявить переменные, тесно связанные между собой и поставить вопрос об отборе информативных некоррелированных между собой показателей;
- укрупнение показателей и подготовка их к сравнительному анализу. Здесь могут применяться нелинейные преобразования, как например, переход к отношениям значений показателей к территориальной единице измерения (показатель плотности населения на 1 км^2), переход от абсолютных показателей к относительным (дефицит питьевой воды в сутки на чел.) и т.д.

Методология обработки первичного статистического материала для разных групп показателей отличаются как по диапазону статистических исследований, так и по их глубине, но схематически движение обработки информации представляются в однотипном виде и представлено на рисунке 3.2.

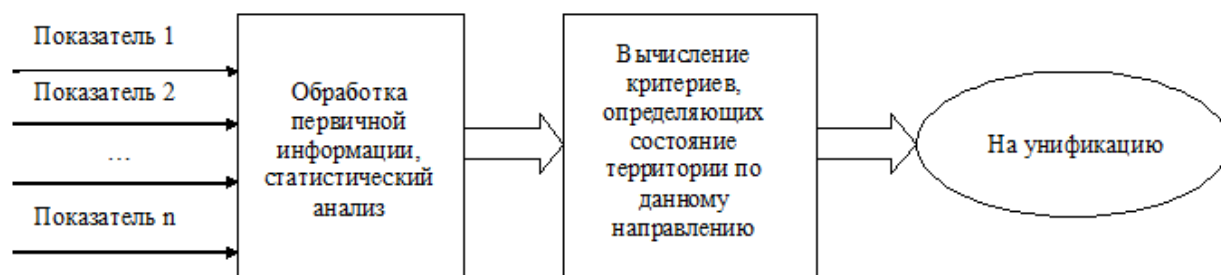


Рисунок 3.2 - Схема обработки информации

Объем и содержание обработки количественной информации по всем группам представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 - Объем и содержание обработки количественной информации

Входные показатели		Этапы первичной обработки	Частные показатели, размерность, шкала
название группы показателей	исходные показатели		
Группа 1. Качество воды подземных источников	органолептические, химические и санитарно-бактериологические показатели	для отдельных водозаборов: - приведение к среднегодовым показателям, переход к относительным единицам (в долях ПДК); - дескриптивная статистика по всему спектру химического анализа по всем ИПВ; - построение доверительных интервалов; - отбор приоритетных веществ; - анализ показателей по группам источников (скважины, колодцы, родники). для районов: - объединение источников в группы; - анализ показателей по сформированным группам с учетом объемов водозабора.	Индекс загрязнения подземных вод (ИЗПВ), безразмерная величина, шкала A_1 .
Группа 2. Водообеспеченность из подземных водозаборов	параметры водозаборных сооружений источников подземных вод (ИПВ), объемы утвержденных разрешенных водозаборов, нормы водозабора	- обработка результатов замеров параметров водозаборных сооружений ИПВ; - расчет дебита ИПВ; - расчет дефицита воды из источников по административным районам.	дефицит воды из подземных источников (D), $\text{м}^3/\text{сутки}$ на чел. шкала A_2 .
Группа 3. Техногенная нагрузка в пределах территориальных единиц	данные об источниках техногенной нагрузки	- установление интенсивности воздействия для каждого источника и в целом по территориальным единицам; - экспертное оценивание техногенной нагрузки.	уровень техногенной нагрузки (УТН), баллы, шкала A_3
Группа 4. Пространственное распределение населения	количество населения в населенных пунктах полуострова, площадь районов	- расчет площади административных районов; - расчет количества населения в каждом из выделенных районов; - расчет плотности населения.	плотность населения (ПН), чел/ км^2 , шкала A_4

Полученные согласно представленной схеме расчетные частные показатели на следующем этапе подвергаются унификации.

3.3.3 Унификация частных показателей и переход к экологическим индикаторам

Большое значение для унификации имеет рассмотрение значений показателей по отношению к экологическому состоянию изучаемого компонента окружающей природной среды, поскольку увеличение значений различных показателей по-разному соотносится со степенью их влияния на экологическую ситуацию. Например, увеличение концентрации нитратов приводит к ухудшению экологической ситуации, причем при более высоких значениях данного показателя опасность увеличивается в существенно нелинейной степени. При этом, некоторые показатели, такие как pH, характеризуются допустимым интервалом значений, в пределах которого опасность оценивается как минимальная.

Для унификации частных показателей используется проецирование показателей на единичную шкалу $[0,1]$ таким образом, что наименьшее влияние фактора опасности соответствует нулевому значению i -го унифицированного показателя, а наибольшее – значению унифицированного показателя, равного единице [102].

При этом возможно использование как линейных, так и нелинейных функций для перехода от x_i к унифицированным индикаторам I_i по формуле (3.4):

$$I_i = f(x_i), \quad (3.4)$$

При выборе типа функции перехода необходимо учитывать как назначение выходных индикаторов, так и возможности выбранной переходной функции. В зависимости от типа применяемых шкал различают [13]:

- а) линейные функции для равномерной шкалы;
- б) нелинейные функции для неравномерной шкалы.

Под шкалированием в данном случае понимается переход от одной (исходной) системы оценок в другую систему (от 0 до 1). Функция, с помощью которой осуществляется преобразование исходных показателей в унифицированные, называется шкалирующей. Линейное шкалирование работает хорошо в тех случаях, когда данные распределены равномерно по диапазону изменения [19]. Применение линейного шкалирования к данным, которые распределены неравномерно, или содержат выбросы, приводит к тому, что данные оказываются распределенными в очень узком диапазоне [202]. При этом линейные и кусочно-линейные шкалирующие функции находят наиболее широкое применение в виду простоты их вычисления и доступности интерпретации интервалов шкалирования и шкалирующих констант. Хотя существуют примеры использования нелинейных шкал для оценки экологических ситуаций [155]. Ниже представлены:

- известные линейные и кусочно-линейные шкалирующие функции [13] с авторской кластеризацией и интерпретацией уровней опасностей в зависимости от значений экологических показателей [174];
- нелинейные функции из класса гауссовских и экспоненциальных сигмoids [188] с параметрами, рассчитанными автором на основе системы шкалирующих констант, привязанных к признанным шкалам оценки экологических показателей по соответствующим компонентам.

Представим возможности линейных и кусочно-линейных шкал для оценки уровня опасности и градации зон схематически графиками (рисунок 3.3).

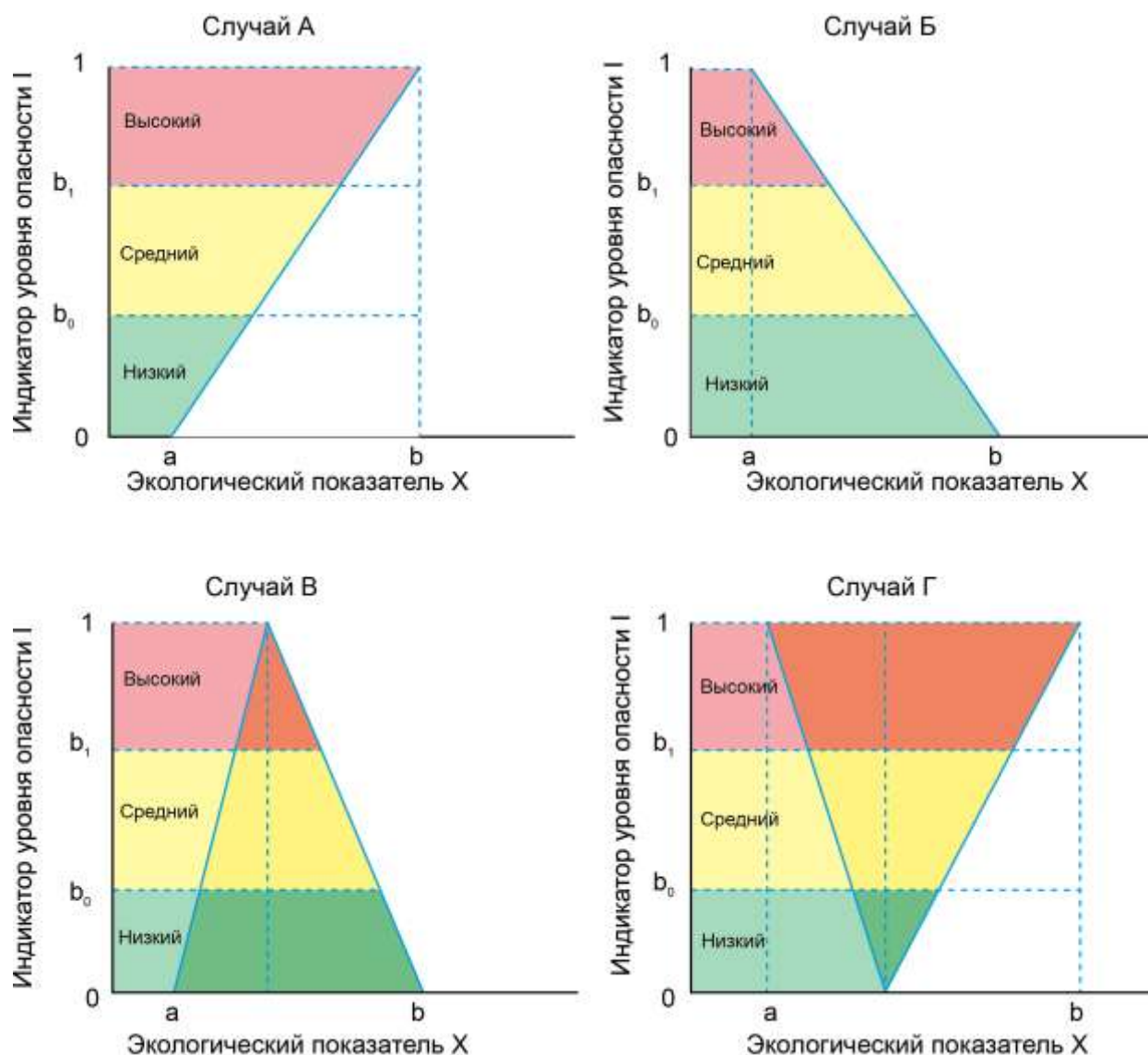


Рисунок 3.3 – Линейные (случаи А и Б) и кусочно-линейные (случаи В и Г) шкалы перехода к унифицированным индикаторам

По оси абсцисс представлены значения частного показателя, а по оси ординат - унифицированного экологического индикатора, уровни которого определенным образом характеризуют экологические условия и отражены на графиках областями: «низкий», «средний» и «высокий».

В основе нормирования показателей линейных и кусочно-линейных шкал лежат известные функции [13]. Опишем особенности применения

линейных шкал для оценки уровня опасности и дадим соответствующую экологическую трактовку.

Преобразование исходного показателя к унифицированному индикатору I_i выполняется:

– по формуле (3.5), если показатель x_i , значения которого принадлежат ограниченному интервалу $[a_i, b_i]$, связан с анализируемой интегральной характеристикой оценки ситуации монотонно возрастающей линейной зависимостью (т.е. чем больше значение x_i , тем выше уровень экологической опасности, рисунок 3.3, случай А):

$$I_i = \frac{x_i - a_i}{b_i - a_i}, \quad (3.5)$$

– по формуле (3.6), если показатель, значения которого принадлежат ограниченному интервалу $[a_i, b_i]$, связан с анализируемой интегральной характеристикой оценки ситуации монотонно убывающей линейной зависимостью (т.е. чем больше значение x_i , тем ниже уровень экологической опасности, рисунок 3.3, случай Б):

$$I_i = \frac{b_i - x_i}{b_i - a_i}, \quad (3.6)$$

– по формулам (3.7) или (3.8), если показатель из интервала $[a_i, b_i]$, связан с анализируемой характеристикой экологической опасности немонотонной кусочно-линейной зависимостью, причем между a_i и b_i существует такое значение показателя c_i , соответствующее максимальному уровню экологической опасности (рисунок 3.3, случай В):

$$I_i = \begin{cases} \frac{x_i - a_i}{c_i - a_i}, & \text{если } a_i \leq x_i \leq c_i \\ \frac{b_i - x_i}{b_i - c_i}, & \text{если } c_i < x_i \leq b_i \end{cases}, \quad (3.7)$$

или минимальному уровню экологической опасности (рисунок 3.3, случай Г):

$$I_i = \begin{cases} \frac{c_i - x_i}{c_i - a_i}, & \text{если } a_i \leq x_i \leq c_i \\ \frac{x_i - c_i}{b_i - c_i}, & \text{если } c_i < x_i \leq b_i \end{cases}. \quad (3.8)$$

Необходимо заметить, что использование линейных шкал имеет существенный недостаток, связанный с равномерностью результирующей шкалы, что не всегда приемлемо при оценке конкретных реальных экологических ситуаций. Например, при оценке качества подземных вод Керченского полуострова было рассмотрено 26 показателей химического состава воды [106]. Большой разброс значений наблюдался по величине общей жесткости, при этом наибольшая экологическая опасность по данному показателю имеет место при значениях существенно превышающих ПДК. Поэтому, в подобных случаях предпочтительно применять нелинейное шкалирование, причем вид выбираемой для этих целей функции перехода (3.4) нужно соотносить с особенностями оцениваемого показателя. Здесь большое применение находят расширяющаяся, сужающаяся и в некоторой степени немонотонная шкалы [13].

Расширяющаяся шкала обычно используется в том случае, когда колебания интенсивности явления играют особенно большую роль при слабых его проявлениях, а по мере его усиления его изменения играют меньшую роль. Сужающаяся шкала, наоборот, может быть использована, когда колебания интенсивности явления играют особенно большую роль при сильных его проявлениях, а по мере его ослабления его изменения играют

меньшую роль. Таким образом, сгущение оценок следует производить в той части опорной шкалы, где она дает наибольшую информацию [13].

В данной работе предложены к рассмотрению новые нелинейные шкалы, которые могут использоваться для неравномерного преобразования при неограниченных слева (рисунок 3.4 А), или справа (рисунок 3.4 Б), входных интервалах $[a_i, b_i]$:

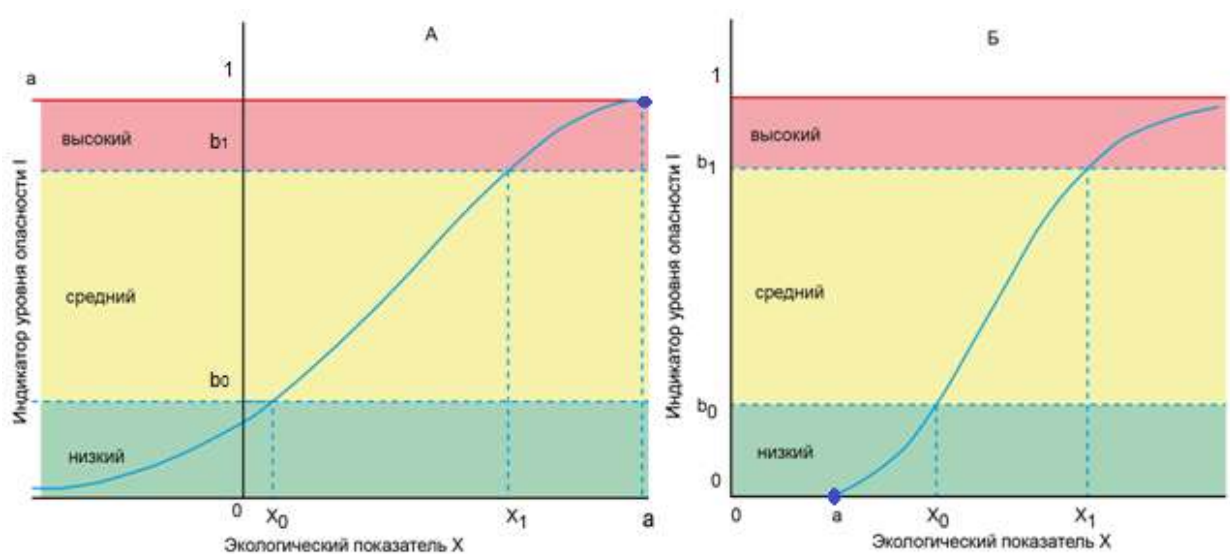


Рисунок 3.4 - Нелинейные шкалы перехода к унифицированным показателям

Предпосылкой выбора вида шкалирующих функций является характер зависимости выходного индикатора уровня опасности от входного экологического показателя. По характеру зависимости подбирается соответствующая нелинейная функция, параметры которой рассчитываются с использованием шкалирующих констант. В результате применения представленного алгоритма и модификации известных функций (гауссовских и сигмоид) были введены следующие нелинейные шкалирующие функции:

1. Гауссовская функция (рисунок 3.4 А, соответствует левой половине кривой Гаусса):

$$I_i = c \cdot e^{-r(x_i - a)^2}, \quad (3.9)$$

где параметры r и c находим из условия привязки функции шкалирования к результирующей оценочной шкале (3.10):

$$\begin{cases} I(x_0) = b_0 \\ I(a) = 1. \end{cases}, \quad (3.10)$$

В результате получаем формулы (3.11) и (3.12) для расчета параметров r и c :

$$r = \frac{-\ln b_0}{(x_0 - a)^2}, \quad (3.11)$$

$$c = 1. \quad (3.12)$$

Особенностью данной функции является неограниченность по оси абсцисс слева, конечная точка кривой характеризуется координатами $(a; 1)$, которой соответствует наивысший уровень опасности (индикатор I равен 1).

2. Экспоненциальная сигмоида (модифицированная логистическая функция) (3.13). График функции представлен на рисунке 3.4 Б:

$$I_i = \frac{(x_i - a) \cdot e^{r \cdot (x_i - a)}}{(x_i - a) \cdot e^{r \cdot (x_i - a)} + d}, \quad (3.13)$$

где a – начало исходного интервала значений показателя x (шкалирующая константа), а параметры r и d находятся из условия привязки функции шкалирования к результирующей оценочной шкале в двух точках (3.14):

$$\begin{cases} I(x_0) = b_0 \\ I(x_1) = b_1 \end{cases}, \quad (3.14)$$

В результате решения системы (3.14) с учетом вида функции (3.13) получаем формулы для расчета параметров r (3.13) и d (3.14):

$$r = \frac{1}{x_1 - x_0} \ln \left(\frac{1-b_0}{1-b_1} \cdot \frac{b_1}{b_0} \cdot \frac{x_1 - a}{x_0 - a} \right), \quad (3.15)$$

$$d = \frac{1-b_0}{b_0} \cdot (x_0 - a) \cdot e^{r \cdot (x_0 - a)}, \quad (3.16)$$

Введенная модифицированная экспоненциальная сигмоида отличается от классической [188] наличием множителя $(x-a)$ перед экспонентой. Это позволяет установить начальное значение индикатора I в точке a , равное нулю, которое соответствует самому низкому уровню опасности. В результате данная функция становится неограниченной по оси абсцисс справа.

Выбор вида шкалирующей функции зависит как от самих показателей, так и от объекта оценивания. Применение представленных шкалирующих функций позволяет получить унифицированные показатели – индикаторы, характеризующие состояние различных экологических условий при использовании подземных вод. Далее произведен подбор шкалирующих функций с учетом особенностей выделенных в п.п. 3.1.1. условий:

1. Индикатор качества воды (ИКВ). ИКВ определялся путем унификации индекса загрязнения подземных вод (3.2) при помощи логистической функции (3.13), поскольку имеет место неограниченный справа интервал значений показателя (таблица 3.4), причем по мере его увеличения оценка опасности увеличивается со сгущением значений.

Начало a исходного интервала значений показателя равно нулю (таблица 3.4), а параметры r и d находятся из условия привязки функции шкалирования к результирующей оценочной шкале в двух точках (3.17):

$$\begin{cases} I(1) = 0,2 \\ I(4) = 0,8 \end{cases}, \quad (3.17)$$

С использованием формулы (3.15), (3.16) и (3.13) получена шкалирующая функция (3.18) (график представлен на рисунке 3.5):

$$\text{ИКВ} = \frac{\text{ИЗПВ} \cdot e^{0,4621 \cdot \text{ИЗПВ}}}{\text{ИЗПВ} \cdot e^{0,4621 \cdot \text{ИЗПВ}} + 6,3496}, \quad (3.18)$$

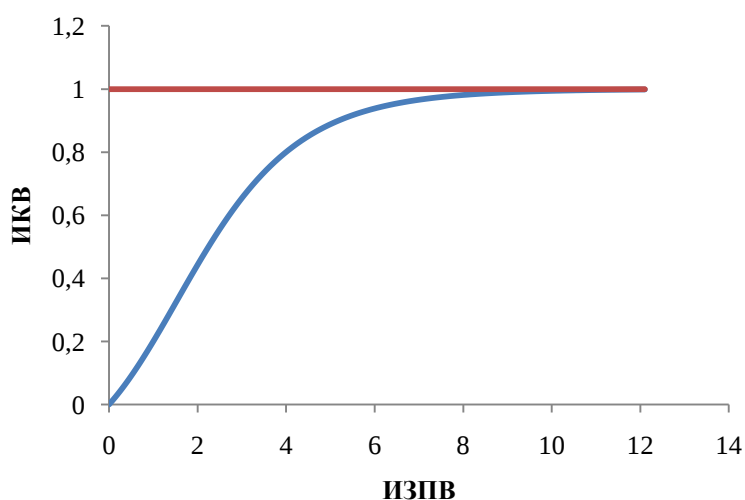


Рисунок 3.5 - Шкала перехода от ИЗПВ к ИКВ

Классификационная шкала значений ИКВ представлена на рисунке 3.6 и в таблице 3.9.

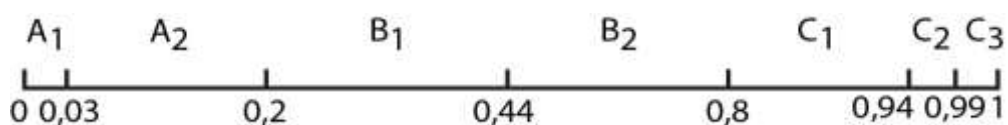


Рисунок 3.6 - Выходная шкала значений ИКВ

Таблица 3.9. Классификация ИКВ

Интервалы значений ИКВ	Класс	Подкласс
$\leq 0,03$	А	A ₁
0,03-0,2		A ₂
0,2-0,44	В	B ₁
0,44-0,8		B ₂
0,8-0,94	С	C ₁
0,94-0,99		C ₂
$\geq 0,99$		C ₃

2. Индикатор дефицита воды (ИДВ). Показателем водообеспеченности из подземных водозаборов является дефицит воды. Расчет дефицита воды на одного человека производится по формуле (3.19):

$$D = \frac{Q \cdot N - V}{N}, \quad (3.19)$$

где D – дефицит воды, м³/сутки; Q – норма водопотребления, м³/сутки; V – норма водозабора, м³/сутки; N – количество населения в районе, чел.

Поскольку дефицит имеет ограниченный справа интервал значений показателя (таблица 3.5), необходимо провести нелинейное преобразование при помощи гауссовской шкалирующей функции (3.9). С использованием (3.10), (3.11), (3.12) получена шкалирующая функция (3.20) (график представлен на рисунке 3.7):

$$\text{ИДВ} = e^{-44,583(D-0,19)^2} \quad (3.20)$$

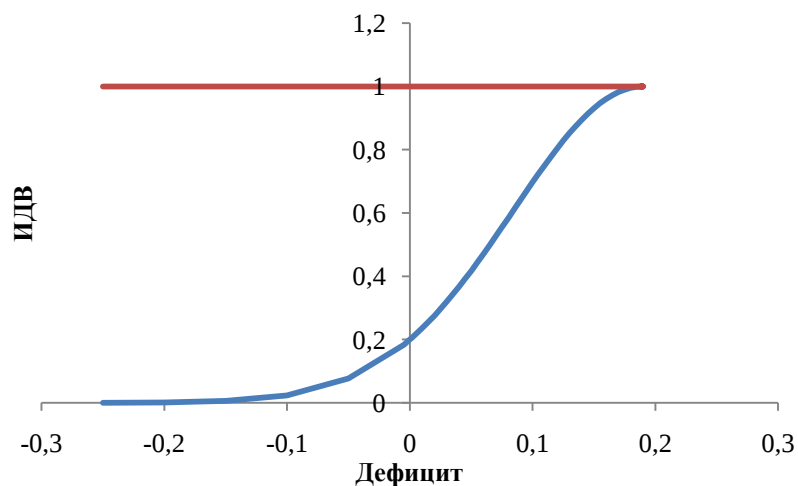


Рисунок 3.7 - График перехода от дефицита воды к ИДВ

Выходная шкала значений ИДВ представлена на рисунке 3.8 и в таблице 3.10.



Рисунок 3.8 - Выходная шкала значений ИДВ

Таблица 3.10 - Классификация ИДВ

Интервалы значений ИКВ	Класс	Подкласс
$\leq 0,062$	А	A ₁
0,062-0,14		A ₂
0,14-0,2		A ₃
0,2-0,32	В	B ₁
0,32-0,526		B ₂
0,526-0,64		B ₃
0,64-0,81		B ₄
0,81-0,93	С	C ₁
0,93-0,9997		C ₂
$\geq 0,9997$		C ₃

3.Индикатор техногенной нагрузки (ИТН). Показатель уровня техногенной нагрузки (УТН) имеет ограниченный слева и справа интервал

значений (таблица 3.6), следовательно, необходимо провести нелинейное преобразование с помощью гауссовской шкалирующей функции (3.9). С использованием (3.10), (3.11), (3.12) получена шкалирующая функция (3.21) (график представлен на рисунке 3.9):

$$\text{ИТН} = e^{-0,027167 (\text{УТН}-12)^2} \quad (3.21)$$

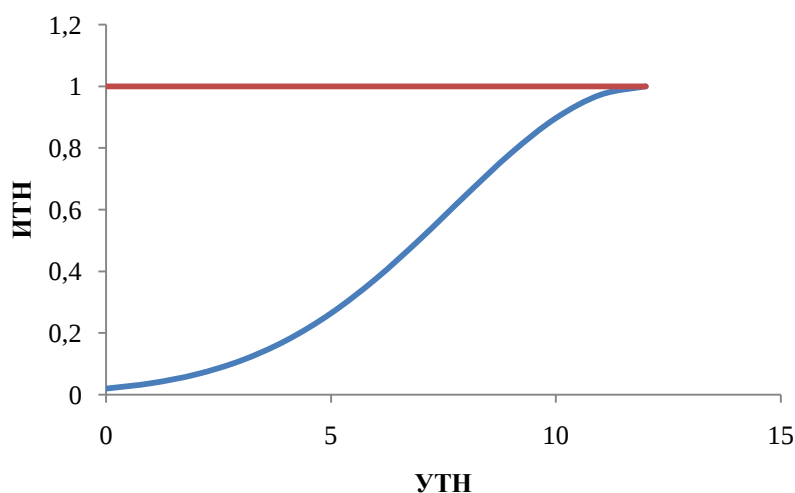


Рисунок 3.9 - График перехода от УТН к ИТН

Выходная шкала значений ИДВ представлена на рисунке 3.10 и в таблице 3.11.

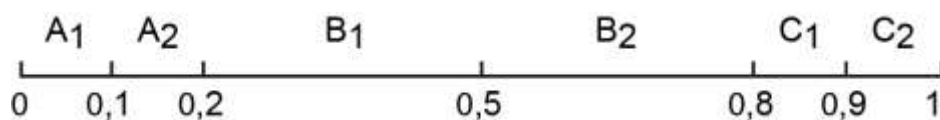


Рисунок 3.10 - Выходная шкала значений ИТН

Таблица 3.11 - Классификация ИТН

Интервалы значений ИТН	Класс	Подкласс
$\leq 0,1$	А	A ₁
0,1 -0,2		A ₂
0,2-0,5	В	B ₁
0,5-0,8		B ₂
0,8-0,9	С	C ₁
$\geq 0,9$		C ₂

4.Индикатор плотности населения (ИПН). Показатель плотности населения (ПН) имеет неограниченный справа интервал значений показателя (таблица 3.5). Следовательно, необходимо провести нелинейное преобразование при помощи логистической функции (3.13). Начало a исходного интервала значений показателя равно нулю (таблица 3.6), а параметры r и d находятся из условия привязки функции шкалирования к результирующей оценочной шкале в двух точках (3.22):

$$\begin{cases} I(100) = 0,2 \\ I(1000) = 0,8 \end{cases}, \quad (3.22)$$

С использованием формул (3.15), (3.16) и (3.13) получена шкалирующая функция (3.23) (график представлен на рисунке 3.11):

$$\text{ИПН} = \frac{\text{ПН} \cdot e^{0,000522 \cdot \text{ПН}}}{\text{ПН} \cdot e^{0,000522 \cdot \text{ПН} + 421,4441}} \quad (3.23)$$

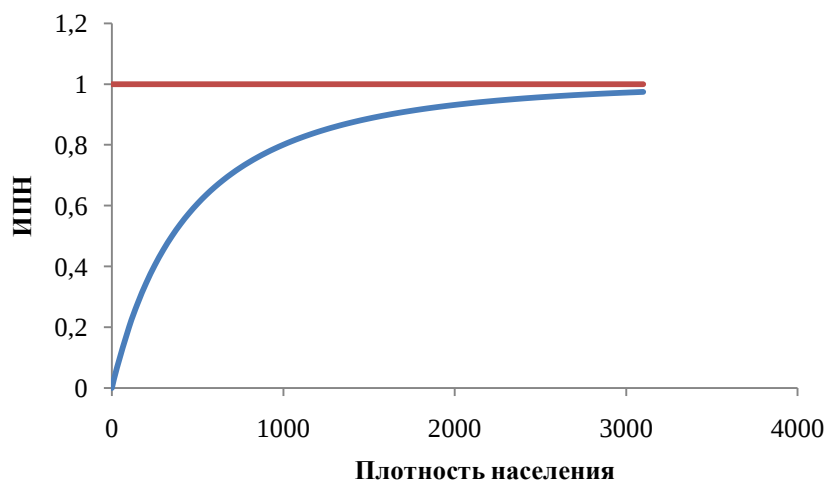


Рисунок 3.11 - График перехода от плотности населения к ИПН

Шкала значений ИПН представлена на рисунке 3.12 и в таблице 3.12.

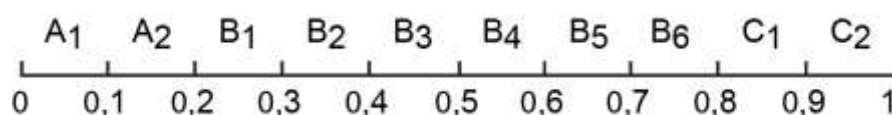


Рисунок 3.12 - Выходная шкала значений ИПН

Таблица 3.12 - Классификация ИПН

Интервалы значений ИПН	Класс	Подкласс
$\leq 0,1$	А	A ₁
0,1 -0,2		A ₂
0,2-0,3	В	B ₁
0,3-0,4		B ₂
0,4-0,5		B ₃
0,5-0,6		B ₄
0,6-0,7		B ₅
0,7-0,8		B ₆
0,8-0,9	С	C ₁
$\geq 0,9$		C ₂

На основании проведенных исследований сформируем сводную таблицу, которая информационно отображает основные компоненты представленной унификации частных показателей и переход к экологическим индикаторам (рисунок 3.13).

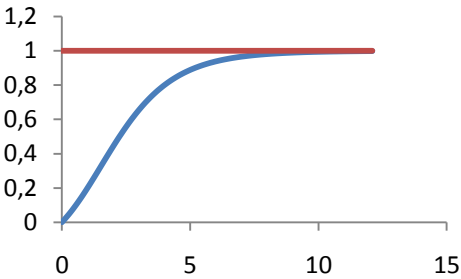
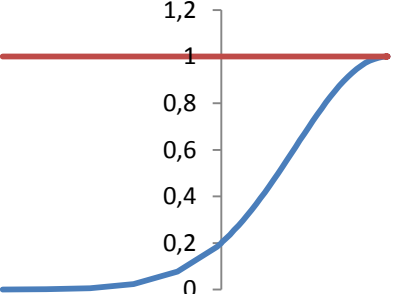
Исходные показатели	Факторы	Модель унификации интегральных показателей	Индикатор
Окисляемость	Химический состав	 Логистическая функция $I = \frac{x \cdot e^{r \cdot (x-a)}}{x \cdot e^{r \cdot (x-a)} + d}$	Индикатор качества воды ИКВ
Аммиак			
Нитраты			
Общая жесткость			
Минерализация			
Сульфаты			
Хлориды			
Железо общее			
Численность населения	Плотность населения		Индикатор плотности населения ИПН
Площадь			
Норма водозабора	Дефицит	 Гауссовская функция $I = c \cdot e^{-r(x-a)^2}$	Индикатор дефицита воды ИДВ
Норма водопотребления			
Численность населения			
Промышленность	Техногенная нагрузка		Индикатор техногенной нагрузки ИТН
Сельское хозяйство			
Транспорт			
Котельные, ТЭЦ			
ЖКХ			
Рекреация			

Рисунок 3.13 – Схема перехода к системе унифицированных показателей

Из рисунка видно, что 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 (столб.3) 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 формируется 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.

3.3.4 Разработка моделей количественной оценки экологического риска при использовании подземных вод

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 качестве приоритетного объекта при оценке экологического риска нами рассматривается население определенной территории. При этом оценка экологического риска выступает в качестве интегрального критерия напряженности экологической ситуации в регионе [145], сформированной экологическими условиями, проанализированными в п.п. 3.3.1.

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. Оценка риска может производиться, как для территории в целом, так и по ее отдельным районам для целей дальнейшего ранжирования.

Расчет экологического риска включает: определение меры возможности (или вероятности) появления события, представляющего опасность; определение меры последствий реализации опасности [145].

Опасные события S_1 - S_4 (таблица 3.13) приводят к экологическим ситуациям различной степени напряженности. Оценка последствий реализации опасных событий (в виде относительного ущерба от 0 до 1) выполнена на основании полученных индикаторов: ИКВ, ИДВ, ИТН, ИПН, разработанных в п.п. 3.3.3.

Таблица 3.13 - Характеристика опасных событий

Обозначение	Описание	Индикатор оценки последствий ситуации
S_1	опасность потребления воды низкого качества населением	ИКВ
S_2	опасность дефицита воды из подземных водозаборов	ИДВ
S_3	опасность, связанная с техногенной нагрузкой в районе использования подземных источников	ИТН
S_4	опасность, обусловленная высокой плотностью населения	ИПН

В основе построения моделей количественной оценки экологического риска лежит принцип интеграции, согласно которому система оценок экологической опасности различного уровня представляются 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 3.14).

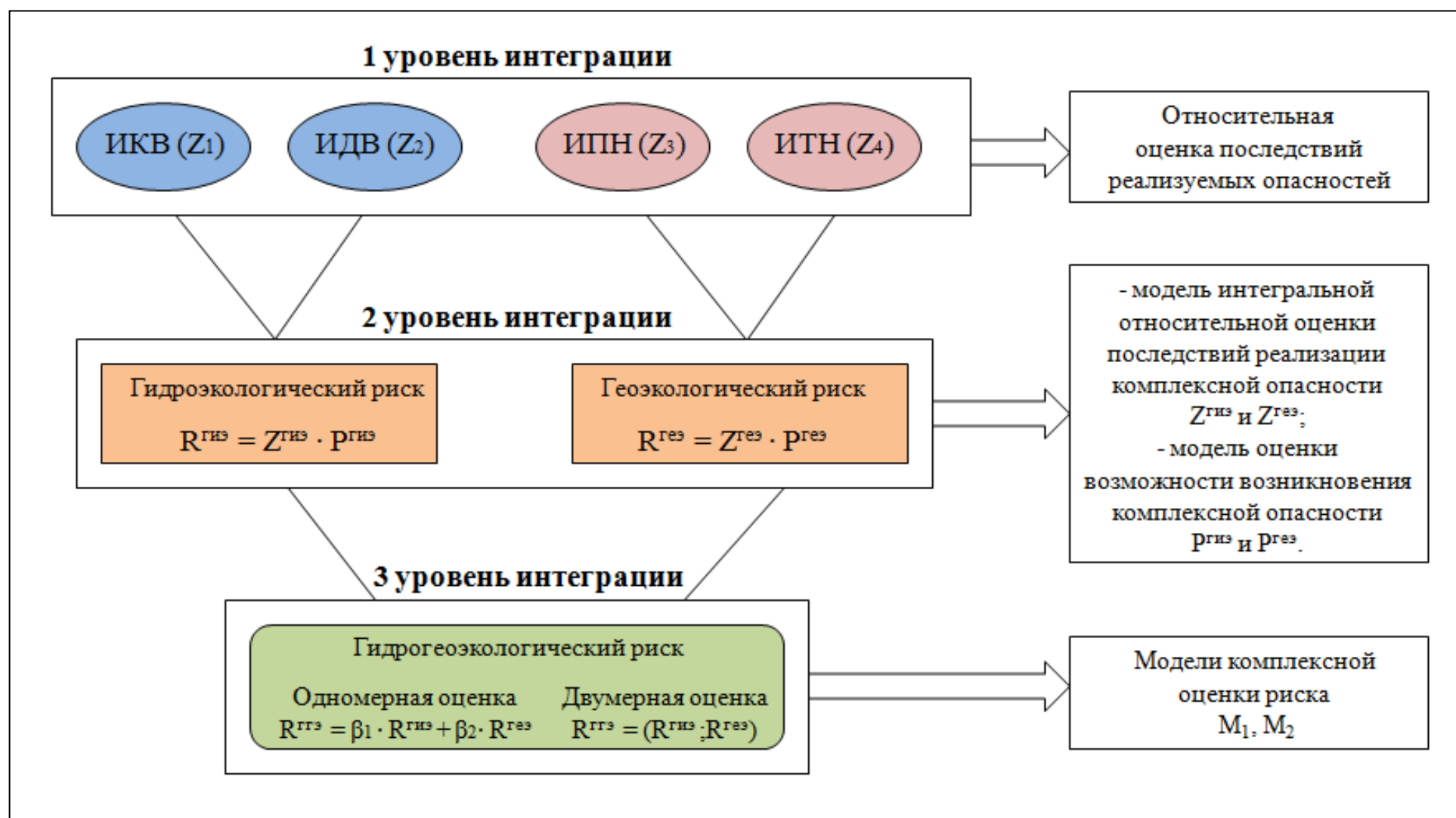


Рисунок 3.14 - Трехуровневая система комплексной количественной оценки экологического риска

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 источников водоснабжения 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 гидроэкологического риска (3.24) [137]:

$$Z_i^{\text{ГИЭ}} = \alpha_1 Z_{1i} + \alpha_2 Z_{2i}, \quad (3.24)$$

где Z_{1i} , Z_{2i} – значения индикаторов ИКВ и ИДВ для i -района, весовые коэффициенты интеграции α_1 и α_2 вычисляются по формулам (3.25), (3.26):

$$\alpha_2 = \frac{Z_{2i} \cdot e^{2,3105 \cdot Z_{2i}}}{Z_{2i} \cdot e^{2,3105 \cdot Z_{2i}} + 1,2699}, \quad (3.25)$$

$$\alpha_1 = 1 - \alpha_2 \quad (3.26)$$

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 $Z^{\text{гиз}}$ за счет применения нелинейных весовых коэффициентов α_1 и α_2 , которые определяются через экспоненциальную сигмоиду (рисунок 3.15).

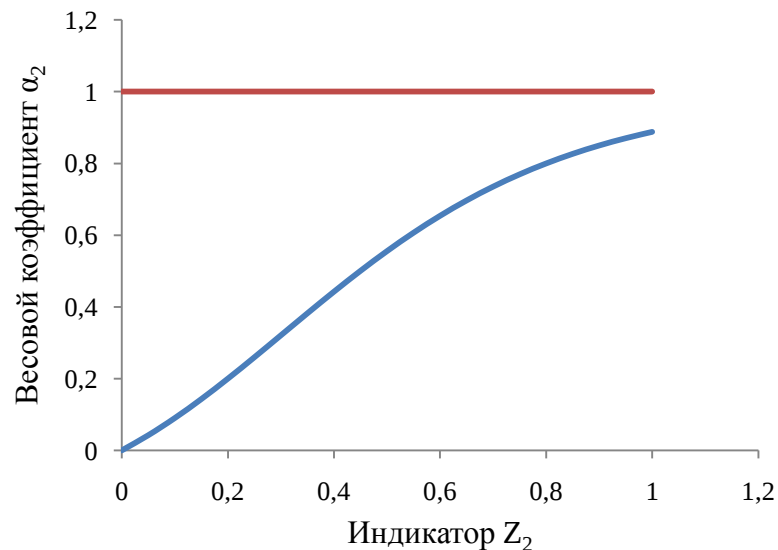


Рисунок 3.15 – График функции весового коэффициента α_2

Предлагаемые весовые коэффициенты действуют в интегральной формуле таким образом, что при незначительном дефиците воды на первое место в интегральном показателе $Z^{\text{гиз}}$ выходит качество подземных вод, а при увеличении дефицита вод – большую значимость приобретает индикатор дефицита подземных вод.

2. Линейная аддитивная модель оценки последствий для геоэкологического риска (3.27):

$$Z_i^{\text{геэ}} = 0,5 \cdot Z_{3i} + 0,5 \cdot Z_{4i} \quad (3.27)$$

характеризует равнозначное влияние составляющих индикаторов техногенной нагрузки Z_{3i} и плотности населения Z_{4i} на интегральный индикатор $Z^{\text{геэ}}$.

После проведения оценки последствий возможных опасностей с помощью вышеуказанных моделей перейдем к определению второй составляющей риска – оценке возможностей (или вероятностей) реализации событий S_1 - S_4 (таблица 3.12), 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 (3.28):

$$P_i^{\text{гиз}} = \frac{Q_{1i}}{Q_{1i} + Q_{2i} + Q_{3i}}, \quad (3.28)$$

где $P_i^{\text{гиз}}$ – 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.

Следует отметить, что бесконтрольное изъятие подземных вод приводит к значительному ухудшению их качества за счет истощения и подтягивания соленых морских вод [46,196]. При расчете показатели качества подземных вод закладываются в виде постоянных величин, однако методика позволяет учесть

изменение их качественного состава путем перерасчета индикатора ИКВ (3.18), что, в конечном счете, приводит к ухудшению последствий.

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

На завершающей стадии второго уровня интеграции с учетом моделей (3.24), (3.27) и оценок $P_i^{гиз}$ и $P_i^{геэ}$ рассчитываются значения гидроэкологического ($R_i^{гиз}$) (3.29) и геоэкологического ($R_i^{геэ}$) (3.30) рисков:

$$R_i^{гиз} = Z_i^{гиз} \cdot P_i^{гиз}, \quad (3.29)$$

$$R_i^{геэ} = Z_i^{геэ} \cdot P_i^{геэ}. \quad (3.30)$$

Третий уровень интеграции. Является заключительным и включает расчет гидрогеоэкологического риска, под которым понимается интегральная характеристика экологической опасности ситуации, связанной с уровнем геоэкологического и гидроэкологического риска.

Оценка гидрогеоэкологического риска производится с помощью следующих моделей:

1. Нелинейная аддитивная модель гидрогеоэкологического риска (M_1) (3.31):

$$R_i^{ггэ} = \beta_1 \cdot R_i^{гиз} + \beta_2 \cdot R_i^{геэ}, \quad (3.31)$$

где весовые коэффициенты интеграции гидроэкологического и геоэкологического рисков вычисляются по формулам (3.32), (3.33):

$$\beta_1 = \frac{R_i^{гиз} \cdot e^{2,3105 \cdot R_i^{гиз}}}{R_i^{гиз} \cdot e^{2,3105 \cdot R_i^{гиз}} + 1,2699}, \quad (3.32)$$

$$\beta_2 = 1 - \beta_1, \quad (3.33)$$

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

2. Модель оценки гидрогеоэкологического риска по наихудшему сценарию (M_2) (3.34):

$$R_i^{ггэ} = \max \{R_i^{гиз}; R_i^{геэ}\}, \quad (3.34)$$

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.

3.3.5 Оценка уровня 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. Для градации районов используются шкалы, разработанные в п.п. 3.3.1. 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. Двухкомпонентная оценка на основании рассчитанных значений гидро- и геоэкологических рисков. Для ранжирования районов используется принцип классификации, представленный в таблицах 3.14 и 3.15 соответственно. В основу выделения классов экологических ситуаций положен принцип классификации Б.И. Кочурова [89].

Таблица 3.14 - Классификация экологической ситуации по уровню гидроэкологического риска

Шкала значений	Класс	Риск	Характеристика экологической ситуации
0 - 0,2	А	низкий	удовлетворительная – дефицит воды из подземных источников практически отсутствует, водообеспеченность «достаточная», превышений ПДК не выявлено, вода относится к категориям «очень чистая» и «чистая».
0,2 – 0,8	В	средний	напряженная – частичный дефицит воды из подземных источников, водообеспеченность «недостаточная», по ряду показателей выявлены превышения ПДК, вода относится к категориям «умеренно-загрязненная» и «загрязненная».
0,8 – 1,0	С	высокий	критическая – полное или практически полное отсутствие воды из подземных источников, водообеспеченность «крайне недостаточная» и/или практически по всем показателям выявлены превышения ПДК, вода относится к категориям «грязная», «очень грязная» и «чрезвычайно грязная».

Таблица 3.15 - Классификация экологической ситуации по уровню геоэкологического риска

Шкала значений	Класс	Риск	Характеристика экологической ситуации
0 - 0,2	А	низкий	удовлетворительная – малонаселенная территория с незначительной/низкой техногенной нагрузкой, не оказывающей заметного влияния на состояние подземных вод.
0,2 – 0,8	В	средний	напряженная – средненаселенная территория со значительной/средней техногенной нагрузкой, оказывающей заметное влияние на состояние подземных вод.
0,8 – 1,0	С	высокий	критическая – густонаселенная территория с высокой/чрезвычайно высокой техногенной нагрузкой, оказывающей существенное влияние на состояние подземных вод.

3. Интегральная одномерная и двумерная оценка. Одномерная оценка выполняется на основании значений гидрогеоэкологического риска, классификация экологической ситуации представлена в таблице 3.16.

Таблица 3.16 - Классификация экологической ситуации по уровню гидрогеоэкологического риска

Шкала значений	Класс	Риск	Характеристика экологической ситуации
0 - 0,2	А	низкий	удовлетворительная – наблюдаются незначительные изменения качественного и количественного состава подземных вод, которые практически не ухудшают условий проживания населения.
0,2 – 0,8	В	средний	напряженная - отмечаются изменения качественного и количественного состава подземных вод, что приводит к их истощению и загрязнению, и как следствие, к ухудшению условий проживания населения. При проведении стабилизирующих мероприятий напряженность ситуации, как правило, спадает.
0,8 – 1,0	С	высокий	критическая - возникают значительные и слабокомпенсируемые изменения качественного и количественного состава подземных вод, происходит быстрое нарастание угрозы их истощения, наблюдается резкое ухудшение условий проживания населения. При уменьшении или прекращении антропогенных воздействий и проведении мероприятий возможна частичная нормализация экологической обстановки, улучшение условий проживания населения, повышение качества воды подземных источников и частичное восстановление запасов подземных вод.

Двумерная оценка включает построение матриц, по вертикали которой размещают значения геоэкологического риска для отдельных районов, а по горизонтали – гидроэкологического риска. Такой анализ позволяет выполнить кластеризацию районов с различными группами экологических проблем, осуществить двумерное ранжирование территорий по уровню остроты проявления экологической ситуации, выявить группы экологических рисков при различных сценариях внешних воздействий с последующей выработкой управленческих решений по оптимизации экологической ситуации.

Таким образом, предложенная методология является инструментом геоэкологической оценки экологической ситуации на различных территориях при использовании подземных вод в качестве источника водоснабжения. Достоинствами данной методологии являются:

1. Оценка экологической ситуации при использовании подземных вод осуществляется по существенным и наиболее типичным с точки зрения региональных особенностей критериям, характеризующих степень благополучия условий проживания для населения (особенно для районов, испытывающих дефицит пресной воды): качество и дефицит воды, уровень техногенной нагрузки и плотности населения.

2. Унификация разнородных частных показателей с применением нелинейных шкалирующих функций (гауссовской и экспоненциальной сигмоиды) дает возможность сформировать систему экологических индикаторов с безразмерной шкалой оценок в интервале от 0 до 1.

3. Интеграция экологических индикаторов с использованием нелинейных весовых коэффициентов, рассчитанных с помощью экспоненциальной сигмоиды, позволяет управлять значимостью отдельных компонент в итоговой оценке риска по степени соответствующих им экологических опасностей.

4. Пирамидальная структура интеграции от отдельных экологических индикаторов к комплексному показателю 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.

5. Разработанный методологический подход (в части унификации и интеграции с применением нелинейных функций описанного в работе вида) может быть расширен как за счет увеличения числа экологических показателей в

каждой отдельной группе, так и введением новых критериев, характеризующих определенные экологические условия с учетом региональных особенностей. Кроме того, данная методология может быть адаптирована к оценке экологических ситуаций на территориях не только при условии использования подземных вод для водоснабжения, но и при других значимых для региона экологических проблемах.

Выводы

1. Под экологической ситуацией в данной работе понимается пространственно-временное сочетание условий и факторов, различных с точки зрения проживания и состояния человека и создающих определенную экологическую обстановку на территории при использовании подземных источников водоснабжения.

2. Разработанная методология геоэкологической оценки экологической ситуации при использовании подземных вод 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; их унификация; интеграция унифицированных показателей и оценка уровня остроты проявления экологической ситуации.

3. Необходимым этапом предложенной методологии является обработка экспериментальных данных, в которой ключевым аспектом является определение унифицированных показателей состояния объекта и приведение их к единой системе оценок. В результате применения предложенной технологии унификации частных показателей формируется система стандартных значений экологических индикаторов со значениями в интервале от 0 до 1. При этом каждый из них

характеризует свою сторону экологической ситуации, являясь при этом оценкой последствий реализации соответствующей опасности.

4. Разработанная трехуровневая система интеграции экологических показателей основана на теории риска. Под гидрогеоэкологическим риском понимается интегральная характеристика экологической опасности ситуации, связанной с уровнем геоэкологического и гидроэкологического рисков. Расчет риска включает оценку опасности негативного события в виде размеров ущерба и определение меры возможности появления события, представляющего опасность. Опасными ситуациями выступают события S_1 - S_4 , а оценка последствий их проявления выполнена на основании полученных индикаторов: ИКВ, ИДВ, ИТН, ИПН.

ГЛАВА 4 ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА КЕРЧЕНСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

На основании предложенной методологии был разработан алгоритм геоэкологической оценки территории при использовании подземных вод (рисунок 4.1).

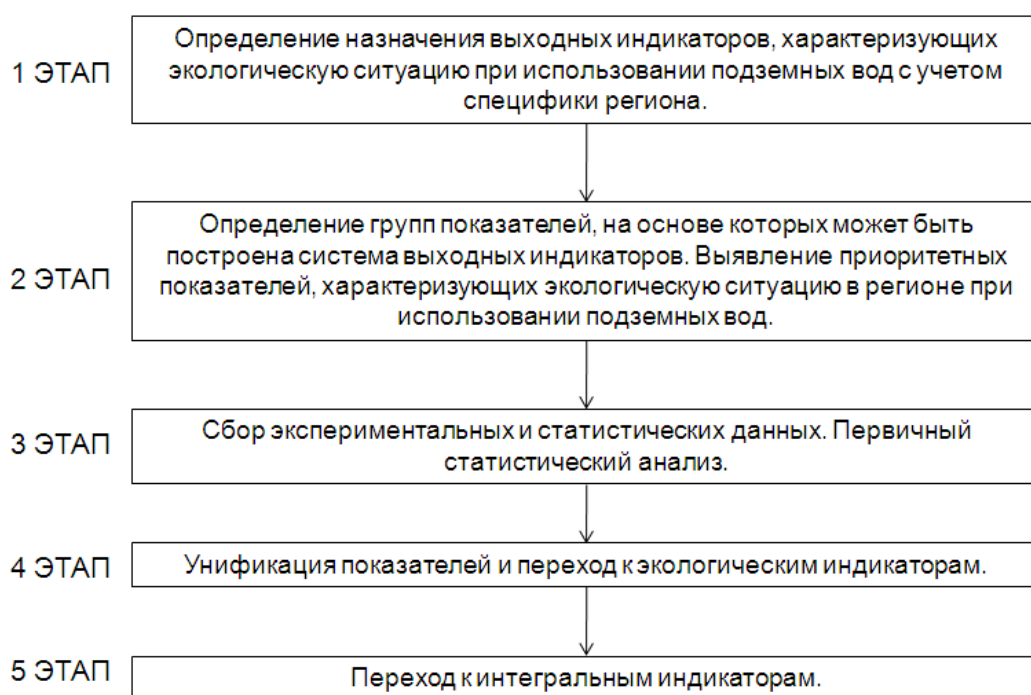


Рисунок 4.1 - Алгоритм оценки экологической ситуации при использовании
подземных вод

Представленный алгоритм может быть использован для оценивания экологической ситуации, как на локальном, так и на региональном уровне.

Для выполнения расчетов был создан комплекс программ, представляющий систему взаимосвязанных файлов прикладного программного обеспечения, каждый из которых выполнял определенные задачи согласно предложенной методологии (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Перечень файлов прикладного программного обеспечения, использованных при проведении исследования (комплекс «Подземные воды Керченского полуострова»)

Название файла	Программное средство	Содержание работ
Результаты химического анализа	MS Excel	систематизация исходных данных, приведение значений к относительным единицам в долях ПДК
Гидрогеологические показатели	MS Excel	систематизация исходных данных, расчет дебита шахтных колодцев и родников
Статистическая обработка	Statistica	первичная статистическая обработка, дескриптивная статистика по всему спектру химического анализа по всем типам источников подземных вод, построение доверительных интервалов, корреляционный и регрессионный анализ
Вывод формул индикаторов	MS Excel	расчет параметров нелинейных функций (логистической и гауссовской) для экологических индикаторов
Унификация	MS Excel	расчет значений ИКВ, ИДВ, ИПН, ИТН
Интеграция	MS Excel	расчет гидроэкологического, геоэкологического и гидрогеоэкологического рисков по отдельным водозаборам и по районам
Ранжирование	MS Excel	составление сводной таблицы значений индикаторов, рисков и их ранжирование по различным критериям
База данных	MS Access	формирование базы данных исходных, промежуточных и конечных результатов исследования
Геоэкологическое моделирование	Quantum Gis	построение геоэкологических карт, анализ пространственной информации

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».

Для создания ГИС-проекта, предназначенного для сбора, обработки, хранения, преобразования, моделирования данных, связанных географически с территорией Керченского полуострова, выполнялись следующие работы:

1. Подготовка картографической основы для создания векторных карт в проекте. Использовались картографические ресурсы OpenStreetMap (OSM) [124].

В результате на основе загрузки XML-файлов из OSM в QGIS и их обработки создавались первичные векторные линейные и полигональные слои.

2. Сбор и систематизация данных по геоэкологической оценке Керченского полуострова. На этом этапе производилась статистическая обработка данных, выполнялся поиск критериев состояния экологических условий, выполнялось построение моделей интегральной оценки экологической ситуации в регионе.

3. Разработка принципов кодировки экологической информации, составление предметного классификатора и таблиц атрибутивных данных по разделам: регионы Керченского полуострова; административно-территориальные единицы; водные объекты; источники подземных вод (скважины, родники, колодцы); плотность населения; источники техногенной нагрузки (автодороги, промышленные предприятия, полигоны ТБО и промышленных отходов); результаты геоэкологической оценки отдельных экологических условий и интегральные оценки синтетического характера и др.

4. Формирование базы данных в MS Access и подготовка к экспорту в QGIS-проект.

5. Присоединение базы данных и работа с таблицами в ГИС.

6. Обработка атрибутивной информации, работа с пространственными объектами проекта, анализ различных компонент комплексной оценки и их компоновка. Подготовка макетов карт к выводу в графических форматах.

Результатом этой работы стала цифровая схема геоэкологической оценки территории Керченского полуострова, куда вошли все перечисленные слои и принадлежащие каждому слою заполненные атрибутивные таблицы (рисунок 4.2).

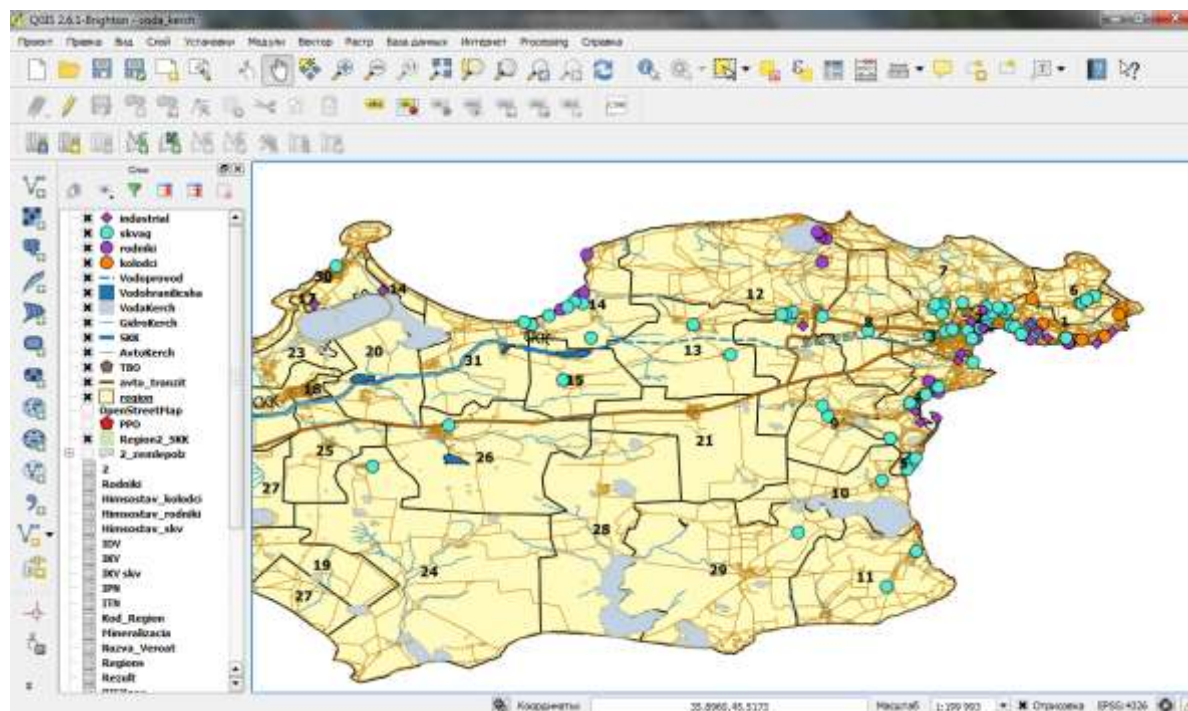


Рисунок 4.2 – Цифровая схема геоэкологической оценки территории Керченского полуострова

Таким образом, созданный ГИС-проект позволил оперативно визуализировать и анализировать существующую экологическую информацию и ее использовать для эффективной оценки экологической ситуации на Керченском полуострове.

4.1 Выделение групп показателей геоэкологического состояния региона и подготовка их к унификации

В ходе обследования территории Керченского полуострова были получены и сгруппированы данные:

- по отдельным типам источников подземных вод (родники, колодцы и артезианские скважины);
- по отдельным населенным пунктам полуострова (села, поселки, города);

- по административно-территориальным единицам (сельские и поселковые советы, городские округа).

Общий объем и содержание проведенных работ представлены в п.1.3. Полученные данные были объединены в четыре группы, согласно таблице 3.2.

Группа 1. Качество воды подземных источников. Включала данные химического анализа проб воды из трех типов водозаборов по 26 показателям, из них:

- семь органолептических: запах при 20°C и 60°C, привкус при 20°C, окраска, мутность, осадок, прозрачность;

- семнадцать химических: водородный показатель, окисляемость, азот аммиачный, азот нитритный, азот нитратный, общая жесткость, сухой остаток, хлориды, сульфаты, железо, медь, мышьяк, фтор, марганец, щелочность, кальций, калий+магний;

- два санитарно-бактериологических: общие колиформы и общее микробное число.

Группа 2. Водообеспеченность из подземных водозаборов. Включала информацию о дислокации подземных источников, их государственный номер, сведения о водопользователях, о глубине залегания водоносных горизонтов, о возрасте водовмещающих пород, об объемах нормативного (разрешенного) водозабора, о дебите источников, об инженерно-техническом состоянии водозаборных сооружений, о наличии и соблюдении режима зон санитарной охраны (ЗСО).

Группа 3. Техногенная нагрузка в пределах территориальных единиц. Включала сведения о промышленных предприятиях, объектах малой энергетики, сельского хозяйства, ЖКХ, транспортной инфраструктуры, а также об объектах рекреации.

Группа 4. Пространственное распределение населения. Включала данные о количестве населения в отдельных населенных пунктах полуострова и площади

административно-территориальных единиц. Полученные данные представлены в Приложение А.

На данном этапе производилась первичная обработка данных по каждой группе показателей (таблица 3.2):

Группа 1. Качество воды подземных источников. Для всех показателей, согласно нормативным документам, устанавливались значения ПДК [169,171]. Deskриптивная статистика по всему спектру химического анализа и по всем подземным источникам выполнялась при помощи программы Excel. Основные результаты представлены в таблицах 4.2, 4.3, 4.4.

Поскольку по санитарно-бактериологическим показателям отклонений от значений ПДК не было выявлено, в дальнейшем расчете они не использовались. Остальные показатели были пересчитаны в долях ПДК.

Таблица 4.2 - Результаты статистического анализа по показателям качества воды артезианских скважин

№ п/п	Название	Обозначение	Объем выборки	Среднее значение	Доверительный интервал средних значений		Min	Max	СКО	ПДК
					нижний предел	верхний предел				
1	Запах при 20°C	X ₁	72	1,44	1,33	1,56	1,0	3,0	0,5	2
2	Запах при 60°C	X ₂	72	1,44	1,32	1,55	1,0	3,0	0,49	2
3	Привкус при 20°C	X ₃	71	1,53	1,38	1,68	1,0	4,0	0,63	2
4	Окраска	X ₄	37	10,51	8,39	12,63	1,0	32,0	6,35	30
5	Мутность	X ₅	71	1,71	1,23	2,2	0,0	12,5	2,03	2
6	Прозрачность	X ₇	51	28,81	27,61	30,01	5,0	35,0	4,28	≥30
7	Ph	X ₈	77	7,21	7,13	7,3	6,46	8,2	0,37	6-9
8	Окисляемость	X ₉	45	2,94	2,01	3,87	0,0	15,4	3,1	5-7
9	Азот аммиачный	X ₁₀	75	1,52	0,47	2,56	0,002	26,1	4,55	2
10	Азот нитритный	X ₁₁	75	0,24	0,0	0,53	0,001	10,8	1,27	3
11	Азот нитратный	X ₁₂	74	21,26	10,43	32,09	0,015	225,0	46,75	45
12	Общая жесткость	X ₁₃	79	18,66	15,17	22,16	0,3	95,0	15,6	7
13	Сухой остаток	X ₁₄	68	2094,62	1636,02	2553,22	460,0	12212,0	1894,64	1000
14	Хлориды	X ₁₅	80	688,13	479,96	896,3	52,47	6217,2	935,43	350
15	Сульфаты	X ₁₆	70	530,2	413,1	647,3	24,75	3120,0	491,1	500
16	Железо	X ₁₇	62	0,26	0,16	0,37	0,002	2,0	0,4	0,3
17	Медь	X ₁₈	21	0,18	0,07	0,29	0,02	1,0	0,25	1
18	Мышьяк	X ₁₉	9	0,01	0,0	0,01	0,005	0,0	0,0	0,05
19	Фтор	X ₂₀	49	0,36	0,25	0,47	0,01	1,4	0,39	1,5
20	Марганец	X ₂₁	20	0,02	0,01	0,03	0,01	0,1	0,02	0,1
21	Щелочность	X ₂₂	17	7,68	4,58	10,77	0,7	24,1	6,02	6,5
22	Кальций	X ₂₃	28	202,48	125,52	279,43	4,0	800,0	198,47	130
23	K+Na	X ₂₄	6	164,93	76,09	253,77	29,5	257,5	84,65	200

Таблица 4.3 - Результаты статистического анализа по показателям качества воды шахтных колодцев

№ п/п	Название	Обозначение	Объем выборки	Среднее значение	Min	Max	СКО	ПДК
1	Запах при 20°C	X ₁	14	1,145	1,0	2,0	0,284	2
2	Запах при 60°C	X ₂	14	1,145	1,0	2,0	0,284	2
3	Привкус при 20°C	X ₃	6	1,222	1,0	2,0	0,39	2
4	Окраска	X ₄	13	7,372	4,0	14,0	3,045	30
5	Мутность	X ₅	13	0,663	0,017	1,97	0,556	2
6	Прозрачность	X ₇	10	30,0	30,0	30,0	0,0	≥30
7	Ph	X ₈	10	7,486	6,95	7,825	0,249	6-9
8	Окисляемость	X ₉	3	2,213	0,24	6,08	3,349	5-7
9	Азот аммиачный	X ₁₀	14	0,448	0,05	2,11	0,795	2
10	Азот нитритный	X ₁₁	14	0,021	0,003	0,135	0,042	3
11	Азот нитратный	X ₁₂	19	12,326	1,131	48,0	15,802	45
12	Общая жесткость	X ₁₃	7	15,508	5,38	49,65	15,772	7
13	Сухой остаток	X ₁₄	1	2280,0	2280,0	2280,0		1000
14	Хлориды	X ₁₅	11	1143,845	83,11	9000,0	2644,057	350
15	Сульфаты	X ₁₆	1	422,4	422,4	422,4		500

Таблица 4.4 - Результаты статистического анализа по показателям качества воды родников

№ п/п	Название	Обозначение	Объем выборки	Среднее значение	Min значение	Max значение	СКО	ПДК
1	Запах при 20°C	X ₁	5	1,0	1,0	1,0	0,0	2
2	Запах при 60°C	X ₂	5	1,0	1,0	1,0	0,0	2
3	Привкус при 20°C	X ₃	4	1,0	1,0	1,0	0,0	2
4	Окраска	X ₄	4	7,563	4,0	10,25	3,071	30
5	Мутность	X ₅	5	0,446	0,07	1,44	0,592	2
6	Прозрачность	X ₇	3	30,0	30,0	30,0	0,0	≥30
7	Ph	X ₈	6	7,72	7,06	8,1	0,363	6-9
8	Окисляемость	X ₉	3	5,227	1,68	12,32	6,143	5-7
9	Азот аммиачный	X ₁₀	7	0,051	0,042	0,063	0,006	2
10	Азот нитритный	X ₁₁	7	0,011	0,002	0,052	0,018	3
11	Азот нитратный	X ₁₂	8	61,594	0,1	244,56	86,039	45
12	Общая жесткость	X ₁₃	6	14,064	5,2	32,0	10,772	7
13	Сухой остаток	X ₁₄	1	2532,0	2532,0	2532,0		1000
14	Хлориды	X ₁₅	7	573,926	18,3	2474,75	868,334	350
15	Сульфаты	X ₁₆	1	230,4	230,4	230,4		500
16	Железо	X ₁₇	2	0,16	0,12	0,2	0,057	0,3

Для сравнительного анализа уровней превышения ПДК и закономерностей их распределения, как по всем веществам, так и по типам источников, выполнен графический анализ (рисунок 4.3).

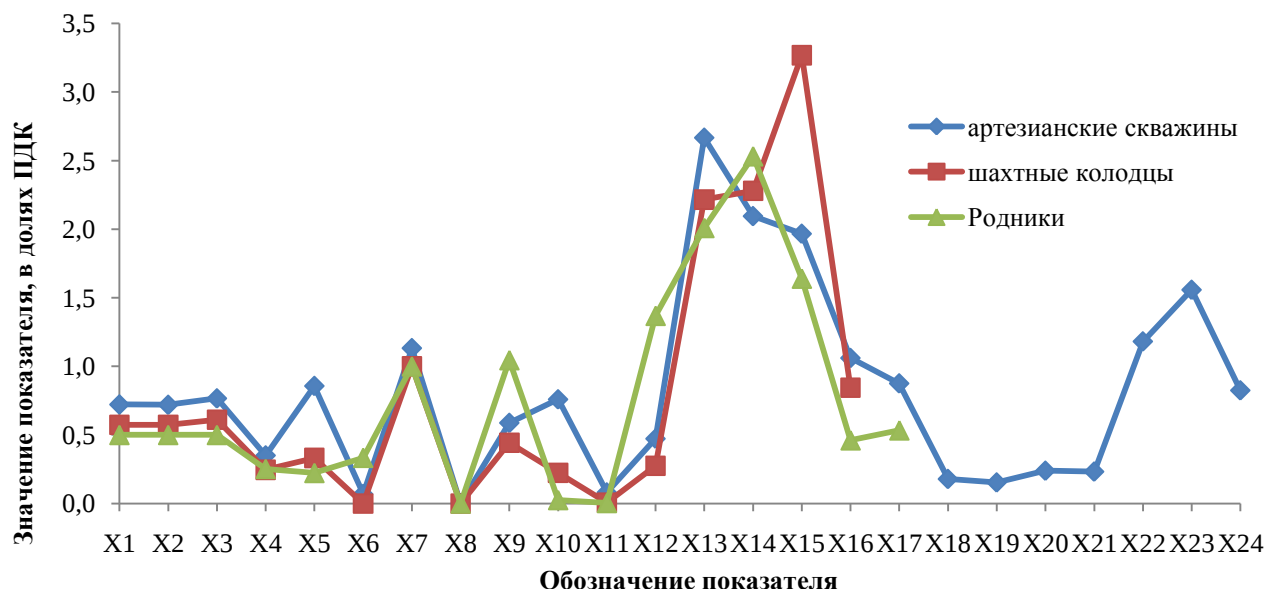


Рисунок 4.3 - Распределение значений показателей по типам водозаборов, в долях ПДК

Значение показателей в долях ПДК показывает, что, несмотря на различия в типах водозаборов, наблюдается общая закономерность распределения значений показателей по результатам химического анализа. Превышений ПДК по органолептическим показателям не выявлено. Водородный показатель находится в пределах нормы, концентрация азотсодержащих веществ не превышает ПДК. Все воды высоко минерализованы. Максимальные превышения ПДК наблюдаются по показателям общая жесткость, сухой остаток, хлориды, сульфаты и железо [95,139,140], что обусловлено гидрогеологическими особенностями территории [154]. Также отмечено высокое содержание хлоридов в воде шахтных колодцев, что связано с хлорированием воды.

В ходе статистической обработки [110] было выявлено, что доля шахтных колодцев и родников в общем водозаборе подземных вод составляет 0,71% и 0,54% соответственно. Кроме того, шахтные колодцы и родники в целом характеризуются низким дебитом, водоносные горизонты вскрыты на небольших глубинах, т.е. являются незащищенными, кроме того, они зачастую используются нецентрализованно и на правах общего водопользования [104]. Следовательно, шахтные колодцы и родники имеют незначительное влияние на изменение гидроэкологической безопасности региона [107]. Поэтому дальнейший анализ и моделирование проводились только по данным отбора проб воды артезианских скважин.

Для выбора приоритетных показателей для дальнейшего анализа и определения индекса загрязнения подземных вод (ИЗПВ) рассчитывался доверительный интервал для средних значений показателей X_1 - X_{24} . Затем производилось ранжирование показателей по среднему значению, результаты представлены на рисунке 4.4.

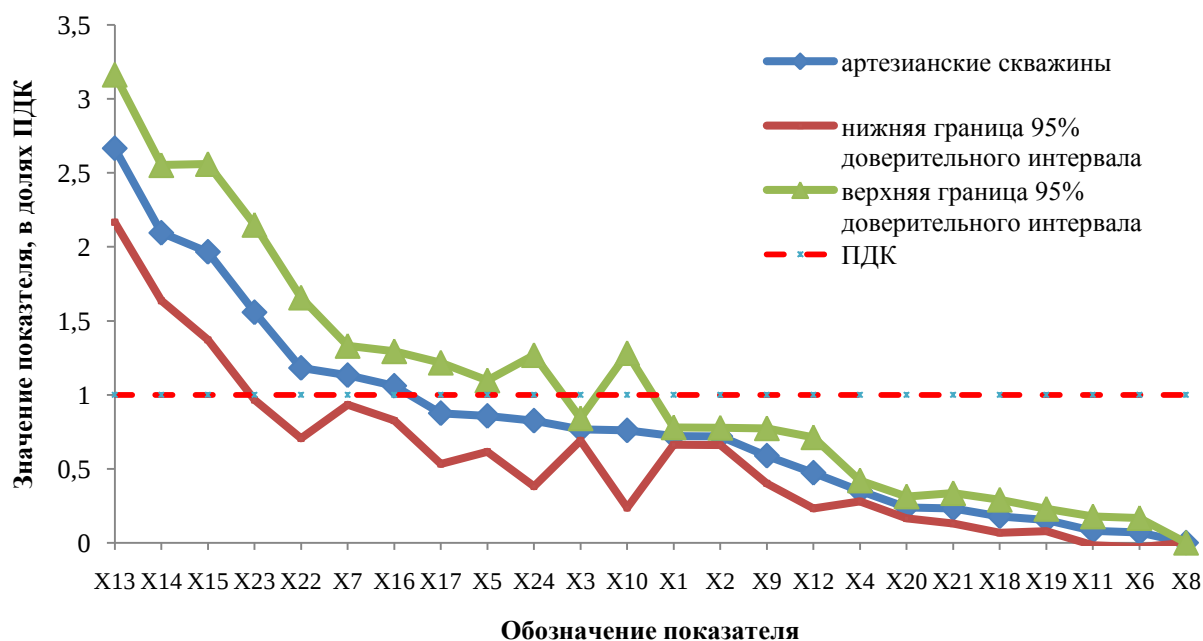


Рисунок 4.4 -Ранжирование показателей качества воды по среднему значению

С целью дальнейшего отбора показателей выполнялся корреляционный анализ. По его результатам были обнаружены сильные корреляционные связи, которые использовались для оптимизации числа приоритетных показателей. В ходе анализа с учетом доверительного интервала, коэффициентов корреляции, частоты превышений ПДК, а также гидрогеологических условий региона из общего числа показателей качества подземных вод были выделены приоритетные, а именно: окисляемость, азот аммиачный, азот нитратный, общая жесткость, сухой остаток, хлориды, сульфаты, железо общее. Затем определялся индекс загрязнения подземных вод (ИЗПВ), как среднее значение долей ПДК приоритетных показателей по формуле (3.2). При этом для каждой скважины ИЗПВ рассчитывался с поправкой на коэффициент, учитывающий объем водозабора. Аналогично производился расчет ИЗПВ по районам с учетом дислокации артезианских скважин. Затем каждый район был отнесен к определенному классу и подклассу согласно разработанной шкале A_1 (таблица 3.4). Результаты расчета представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Распределение ИЗПВ по районам Керченского полуострова

№п/п	Районы	ИЗПВ	Качественное состояние подземных вод	Подкласс	Класс
1	м-н Маячное	0,716	чистые	A_2	A
2	м-н Войково	1,3	умеренно-загрязненные	B_1	B
3	Центральный м-н	1,119			
4	м-н Аршинцево	1,796			
5	м-н Героевское	3,409	загрязненные	B_2	
6	Глазовское/п	0,62	чистые	A_2	A
7	Войковское/п	0,62			
8	Октябрьское с/п	0,76			
9	Приозёрновское/п	1,103	умеренно-загрязненные	B_1	B
10	Челядиновское/п	1,245			
11	Заветненское/п	1,102			
12	Багеровское/п	1,316			
13	Чистопольское/п	0,706	чистые	A_2	A
14	Белинское с/п	0,908			
15	Новониколаевское/п	1,344	умеренно-загрязненные	B_1	B
16	Семисотское/п	1,407			
17	г. Щёлкино	4,09	грязные	C_1	C

Примечание – м-н – микрорайон; с/п – сельское поселение

Группа 2. Водообеспеченность из подземных водозаборов. В качестве исходных данных для определения водообеспеченности использовались результаты расчета дебита и объемов нормативного водозабора из подземных источников. На основании полученных результатов каждый район был отнесен к определенному классу и подклассу согласно разработанной шкале A_2 (таблица 3.5). Распределение административных районов Керченского полуострова по обеспеченности водой из подземных источников представлено в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Распределение административных районов по водообеспеченности

№ п/п	Районы	Общая среднесуточная водообеспеченность, m^3 /сутки на чел.	Качественное состояние водообеспеченности	Подкласс	Класс
1	м-н Маячное	0,01	крайне недостаточная	C_2	С
2	м-н Войково	0,02			
3	Центральный м-н	0,0			
4	м-н Аршинцево	0,0			
5	м-н Героевское	0,02			
6	Глазовское с/п	0,38	достаточная	A_1	А
7	Войковское с/п	0,06	крайне недостаточная	C_1	С
8	Октябрьское с/п	0,17	недостаточная	B_1	В
9	Приозёрновское с/п	0,04	крайне недостаточная	C_2	С
10	Челядиновское с/п	0,12	недостаточная	B_3	В
11	Заветненское с/п	0,09		B_4	
12	Багеровское с/п	0,14		B_2	
13	Чистопольское с/п	0,16		B_1	
14	Белинское с/п	0,08		B_4	
15	Новониколаевское с/п	0,03	крайне недостаточная	C_2	С
16	Семисотское с/п	0,11	недостаточная	B_3	В
17	г. Щёлкино	0,0	крайне недостаточная	C_3	С
18	Лениново с/п	0,0			
19	Батальненское с/п	0,0			
20	Виноградненское с/п	0,0			
21	Горностаевское с/п	0,0			
22	Ильичёвское с/п	0,0			
23	Калиновское с/п	0,0			
24	Кировское с/п	0,0			
25	Красногорское с/п	0,0			
26	Ленинское с/п	0,0			
27	Луговской с/п	0,0			
28	Марфовское с/п	0,0			
29	Марьевское с/п	0,0			
30	Мысовской с/п	0,0			
31	Останинское с/п	0,0			
32	Уваровское с/п	0,0			

Примечание – м-н – микрорайон; с/п – сельское поселение

Расчет дефицита вод подземных источников производился по формуле (3.19). Для территории Керченского полуострова, с учетом суточных потребностей в удовлетворении хозяйственно-бытовых и питьевых нужд, была принята величина нормы водопотребления, равная $0,19 \text{ м}^3/\text{сутки}$ на человека [33]. Результаты расчета дефицита воды подземных источников представлены на рисунке 4.5.

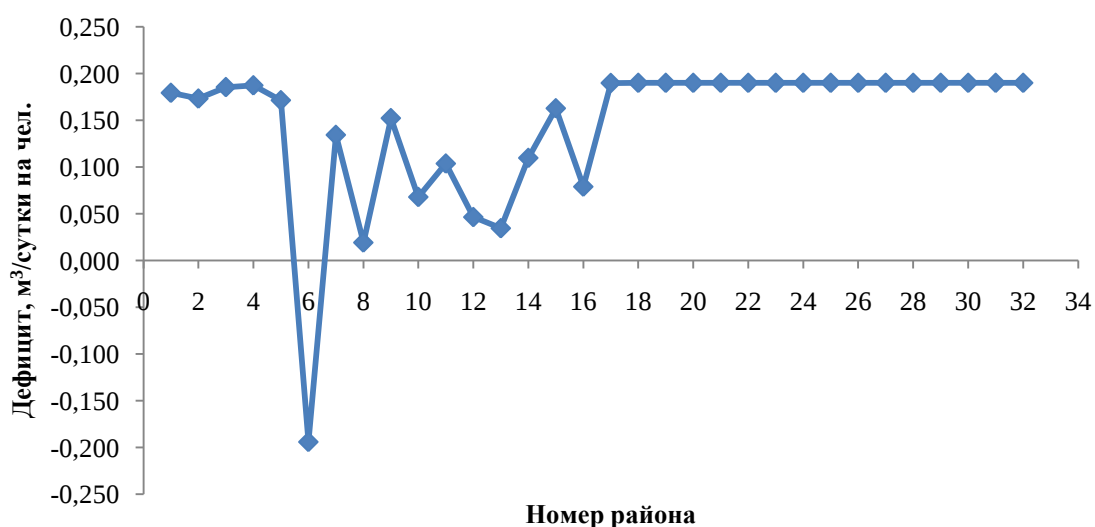


Рисунок 4.5 - Распределение административных районов Керченского полуострова по дефициту воды подземных источников

В отдельных районах полуострова отсутствие водоносных горизонтов обусловлено особенностями гидрогеологических условий. В частности, к таким районам относятся районы, расположенные в юго-западной части Керченского полуострова: Батальненское, Кировское и Луговское сельские поселения. В остальных районах достоверные данные о наличии подземных источников водоснабжения отсутствуют. Следовательно, условно принимаем, что водообеспеченность в данных районах равна нулю и дефицит воды из подземных источников максимальный ($0,19 \text{ м}^3/\text{сутки}$ на чел.).

Группа 3. Техногенная нагрузка в пределах административно-территориальных единиц. Несмотря на то, что большинство водоносных

горизонтов Керченского полуострова являются защищенными, наличие источников антропогенного загрязнения обуславливает риск попадания специфических загрязняющих веществ в подземные воды. Отнесение районов к определенному классу и подклассу производилось согласно разработанной шкале A_3 (таблица 3.6). Результаты оценки уровня техногенной нагрузки на территории Керченского полуострова представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Результаты оценки уровня техногенной нагрузки на территории Керченского полуострова

№ п/п	Районы	Уровень общей техногенной нагрузки (УТН), в баллах	Качественная характеристика техногенной нагрузки	Подкласс	Класс
1	м-н Маячное	7	средняя	B_1	В
2	м-н Войково	7			
3	Центральный м-н	6			
4	м-н Аршинцево	8	значительная	B_2	
5	м-н Героевское	6	средняя	B_1	А
6	Глазовское с/п	5	низкая	A_2	
7	Войковское с/п	6	средняя	B_1	В
8	Октябрьское с/п	5	низкая	A_2	А
9	Приозёрновское с/п	6	средняя	B_1	В
10	Челядиновское с/п	4	низкая	A_2	А
11	Заветненское с/п	3	незначительная	A_1	
12	Багеровское с/п	7	средняя	B_1	В
13	Чистопольское с/п	5	низкая	A_2	А
14	Белинское с/п	7	средняя	B_1	В
15	Новониколаевское с/п	5	низкая	A_2	А
16	Семисотское с/п	8	значительная	B_2	В
17	г. Щёлкино	6	средняя	B_1	
18	Лениново с/п	4	низкая	A_2	А
19	Батальненское с/п	5			
20	Виноградненское с/п	6	средняя	B_1	В
21	Горностаевское с/п	6			
22	Ильичёвское с/п	5	низкая	A_2	А
23	Калиновское с/п	4			
24	Кировское с/п	4			
25	Красногорское с/п	5			
26	Ленинское с/п	4			
27	Луговской с/п	5			
28	Марфовское с/п	5			
29	Марьевское с/п	5			
30	Мысовской с/п	6	средняя	B_1	В
31	Останинское с/п	6			
32	Уваровское с/п	5			

Примечание – м-н – микрорайон; с/п – сельское поселение

Группа 4. Пространственное распределение населения. Для расчета плотности населения (ПН) использовались данные о численности населения и площади административно-территориальных единиц Керченского полуострова. Затем каждый район был отнесен к определенному классу и подклассу согласно разработанной шкале A_4 (таблица 3.7). Результаты расчета плотности населения на Керченском полуострове представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Результаты расчета плотности населения по районам полуострова

№ п/п	Районы	Плотность населения, в чел/км ²	Качественная характеристика плотности населения	Подкласс	Класс
1	м-н Маячное	149,38	средняя	B ₁	В
2	м-н Войково	1838,39	высокая	C ₂	С
3	Центральный м-н	813,14	средняя	B ₆	В
4	м-н Аршинцево	944,93		B ₃	
5	м-н Героевское	330,42			
6	Глазовское с/п	35,35	низкая	A ₂	А
7	Войковское с/п	52,35		A ₁	
8	Октябрьское с/п	16,28		A ₂	
9	Приозёрновское с/п	81,19		A ₁	
10	Челядиновское с/п	10,98			
11	Заветненское с/п	13,16			
12	Багеровское с/п	19,25			
13	Чистопольское с/п	21,7			
14	Белинское с/п	20,14			
15	Новониколаевское с/п	20,51			
16	Семисотское с/п	11,35			
17	г. Щёлкино	326,58	средняя	B ₃	В
18	Лениново с/п	931,67		B ₆	
19	Батальненское с/п	13,37	низкая	A ₁	А
20	Виноградненское с/п	8,91		A ₂	
21	Горностаевское с/п	22,17			
22	Ильичёвское с/п	42,29		A ₁	
23	Калиновское с/п	38,56			
24	Кировское с/п	4,02			
25	Красногорское с/п	18,03			
26	Ленинское с/п	11,48			
27	Луговской с/п	6,72			
28	Марфовское с/п	5,34			
29	Марьевское с/п	3,26			
30	Мысовской с/п	25,47			
31	Останинское с/п	25,76			
32	Уваровское с/п	24,69			

Примечание – м-н – микрорайон; с/п – сельское поселение

Таким образом, 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. Поскольку показатели разнородны и имеют различные размерности, необходимо провести их унификацию с целью дальнейшей интеграции.

4.2 Унификация частных показателей

Полученные частные показатели подвергались дальнейшей унификации по формулам (3.18), (3.20), (3.21) и (3.23). Результаты расчета экологических индикаторов ИКВ, ИДВ, ИТН и ИПН для районов Керченского полуострова представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Результаты расчета экологических индикаторов для районов Керченского полуострова

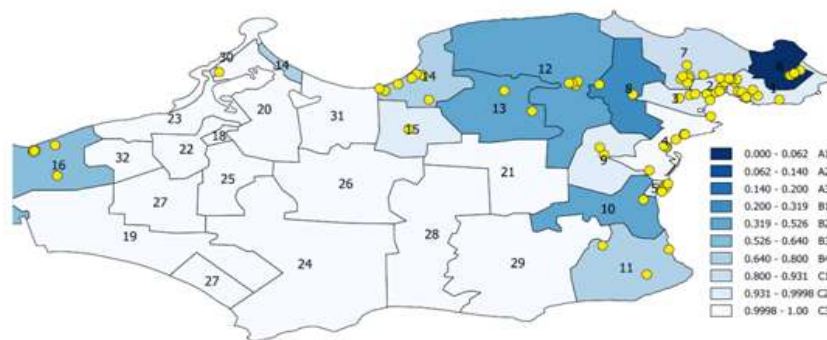
№	Районы	ИКВ	ИДВ	ИТН	ИПН
1	2	3	4	5	6
1	м-н Маячное	0,136	0,995	0,507	0,277
2	м-н Войково	0,272	0,987	0,507	0,919
3	Центральный м-н	0,228	0,999	0,376	0,747
4	м-н Аршинцево	0,393	1,0	0,647	0,786
5	м-н Героевское	0,722	0,985	0,376	0,482
6	Глазовское с/п	0,115	0,001	0,264	0,079
7	Войковское с/п	0,115	0,871	0,507	0,113
8	Октябрьское с/п	0,145	0,272	0,264	0,038
9	Приозёрновское с/п	0,224	0,938	0,376	0,167
10	Челядиновское с/п	0,258	0,515	0,176	0,026
11	Заветненское с/п	0,224	0,717	0,111	0,03
12	Багеровское с/п	0,276	0,399	0,507	0,044
13	Чистопольское с/п	0,133	0,34	0,264	0,05
14	Белинское с/п	0,179	0,75	0,507	0,046
15	Новониколаевское с/п	0,283	0,967	0,264	0,047
16	Семисотское с/п	0,298	0,577	0,647	0,026
17	г. Щёлкино	0,81	0,998	0,376	0,479
18	Лениново с/п	-	1,0	0,176	0,782

Продолжение таблицы 4.9

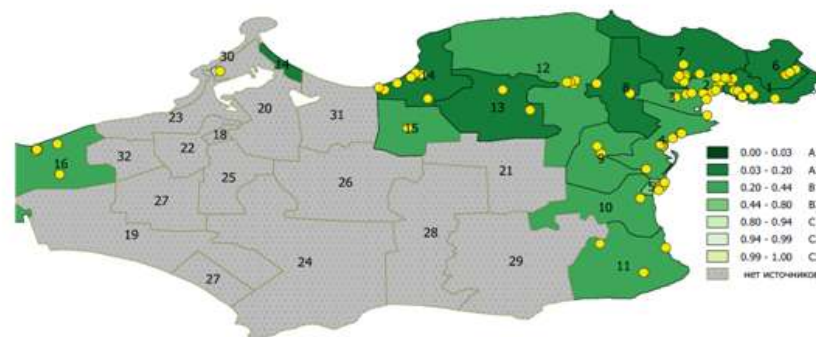
1	2	3	4	5	6
19	Батальненское с/п	-	1,0	0,264	0,031
20	Виноградненское с/п	-	1,0	0,376	0,021
21	Горностаевское с/п	-	1,0	0,376	0,051
22	Ильичёвское с/п	-	1,0	0,264	0,093
23	Калиновское с/п	-	1,0	0,176	0,085
24	Кировское с/п	-	1,0	0,176	0,009
25	Красногорское с/п	-	1,0	0,264	0,041
26	Ленинское с/п	-	1,0	0,176	0,027
27	Луговской с/п	-	1,0	0,264	0,016
28	Марфовское с/п	-	1,0	0,264	0,013
29	Марьевское с/п	-	1,0	0,264	0,008
30	Мысовской с/п	-	1,0	0,376	0,058
31	Останинское с/п	-	1,0	0,376	0,058
32	Уваровское с/п	-	1,0	0,264	0,056

Примечание - прочерк в столбце ИКВ соответствует случаю отсутствия в данном районе водозабора из подземных источников; м-н – микрорайон; с/п – сельское поселение

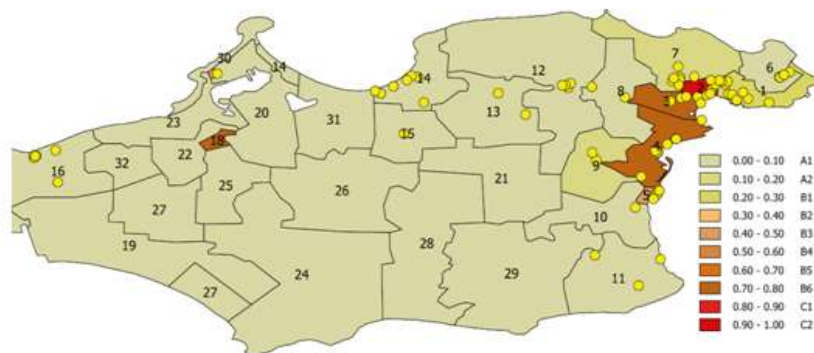
Экологические индикаторы и их пространственное распределение на территории Керченского полуострова показаны на рисунке 4.6 в виде геоэкологических карт. В ходе графического анализа карты ИДВ (рисунок 4.6 А) установлено, что единственным районом, в котором отсутствует дефицит воды из подземных источников, является Глазовское с/п, районы № 8,10-14,16 характеризуются недостаточной водообеспеченностью. В остальных районах значение ИДВ близко к единице, что свидетельствует о крайне недостаточной водообеспеченности. Согласно карте ИКВ (рисунок 4.6 Б), районами с чистыми подземными водами являются Глазовское, Войковское, Октябрьское, Чистопольское, Белинское сельские поселения и микрорайон Маячное. К районам с грязными водами отнесен г. Щелкино, с загрязненными – микрорайон Героевское, в районах № 2-4,9-12,15,16 подземные воды характеризуются как умеренно-загрязненные. В остальных районах водозабор из подземных источников отсутствует. Анализ карты ИПН (рисунок 4.6 В) показывает, что в целом территория полуострова характеризуется низкой плотностью населения, за исключением территории Городского округа Керчь, г. Щелкино и Лениново с/п. Согласно карте ИТН (рисунок 4.6 Г) большинство районов характеризуется средним и низким уровнем общей техногенной нагрузки.



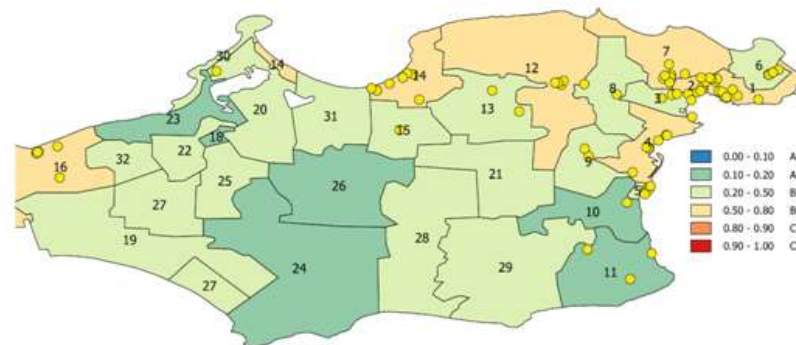
А. Индикатор дефицита воды (ИДВ)



Б. Индикатор качества воды (ИКВ)



В. Индикатор плотности населения (ИПН)



Г. Индикатор техногенной нагрузки (ИТН)

Административно-территориальные единицы Керченского полуострова

1 м-н Маячное
2 м-н Войково
3 Центральный м-н
4 м-н Аршинцево
5 м-н Героевское
6 Глазовское С/П
7 Войковское С/П
8 Октябрьское С/П

9 Приозёрновское С/П
10 Челядиновское СС
11 Заветненское С/П
12 Багеровское П/С
13 Чистопольское С/П
14 Белинское С/П
15 Новониколаевское С/П
16 Семисотское С/П

17 г. Щёлкино
18 Лениново С/П
19 Батальненское С/П
20 Виноградненское С/П
21 Горностаевское С/П
22 Ильичёвское С/П
23 Калиновское С/П
24 Кировское С/П

25 Красногорское С/П
26 Ленинское С/П
27 Луговское С/П
28 Марфовское С/П
29 Марьевское С/П
30 Мысовской С/П
31 Останинское С/П
32 Уваровское С/П

● артезианские скважины

Примечание: С/П - сельское поселение

Рисунок 4.6 - Распределение значений экологических индикаторов на территории Керченского полуострова

Таким образом, анализ геоэкологических карт показал, что административные районы Керченского полуострова характеризуются большим количеством комбинаций значений индикаторов, что затрудняет сравнительный анализ районов с учетом интегрального действия всех индикаторов. Следовательно, возникает необходимость произвести комплексную оценку экологической ситуации на Керченском полуострове с учетом особенностей выделенных экологических условий и их значимости в интегральной оценке.

4.3 Оценка гидрогеоэкологического риска на территории Керченского полуострова

Оценка риска производилась на основе нелинейной модели M_1 по двум сценариям:

Сценарий 1. «Поверхностные и подземные воды». Этот случай соответствует ситуации, когда структура водопользования представлена поверхностными и подземными водами. Гидрогеоэкологический риск определяется степенью использования подземных вод в общем балансе водопользования на полуострове. Расчет производился по формулам (3.24), (3.27) и (3.29)-(3.31), результаты представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Результаты расчета рисков по сценарию 1

№ п/п	Районы	Гидроэкологический риск, $R^{гиз}$		Геоэкологический риск, $R^{гез}$		Гидрогеоэкологиче ский риск, $R^{ггэ}$	
		значение	класс	значение	класс	значение	класс
1	2	3	4	5	6	7	8
1	м-н Маячное	0,09	А	0,392	В	0,368	В
2	м-н Войково	0,009		0,713		0,708	
3	Центральный м-н	0,009		0,561		0,557	
4	м-н Аршинцево	0,009		0,717		0,711	
5	м-н Героевское	0,859	С	0,429		0,786	
6	Глазовское с/п	0,113	А	0,171	А	0,172	А
7	Войковское с/п	0,601	В	0,31	В	0,501	В

Продолжение таблицы 4.10

1	2	3	4	5	6	7	8
8	Октябрьское с/п	0,164	А	0,151	А	0,153	А
9	Приозёрновское с/п	0,838	С	0,272	В	0,737	В
10	Челядиновское с/п	0,052	А	0,101	А	0,101	А
11	Заветненское с/п	0,273	В	0,071		0,131	
12	Багеровское с/п	0,339		0,276	В	0,302	В
13	Чистопольское с/п	0,109	А	0,157	А	0,155	А
14	Белинское с/п	0,434	В	0,277	В	0,356	В
15	Новониколаевское с/п	0,089	А	0,156	А	0,152	А
16	Семисотское с/п	0,055		0,337	В	0,325	В
17	г. Щёлкино	0,01		0,427		0,424	
18	Лениново с/п	0,01		0,479	А	0,477	А
19	Батальненское с/п	0,0		0,148		0,15	
20	Виноградненское с/п	0,0		0,198	А	0,2	А
21	Горностаевское с/п	0,1		0,213		0,205	
22	Ильичёвское с/п	0,0		0,179		0,179	
23	Калиновское с/п	0,0		0,131		0,134	
24	Кировское с/п	0,0		0,093		0,093	
25	Красногорское с/п	0,0		0,153		0,153	
26	Ленинское с/п	0,1		0,101		0,102	
27	Луговской с/п	0,0		0,14		0,141	
28	Марфовское с/п	0,0		0,138		0,141	
29	Марьевское с/п	0,0		0,136	А	0,136	В
30	Мысовской с/п	0,0		0,217	В	0,22	
31	Останинское с/п	0,1		0,217		0,21	
32	Уваровское с/п	0,1		0,16	А	0,157	А

Примечание – м-н – микрорайон; с/п – сельское поселение

Анализ таблицы 4.10 показал, что 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» (таблица 3.16). Двумерный анализ составляющих гидрогеоэкологического риска (рисунок 4.7) показал, что основная часть районов (81%) характеризуется низким уровнем гидроэкологического риска (на графике эта группа риска представлена точками соответствующих районов, лежащими ниже биссектрисы матрицы составляющих гидрогеоэкологического риска). Доля районов с удовлетворительной экологической ситуацией составляет 13%, с напряженной ситуацией – 6%. Такое распределение обусловлено особенностями современной

структуры водоснабжения полуострова, представленной поверхностными и подземными источниками, а также уровнем социально-экономического развития региона.

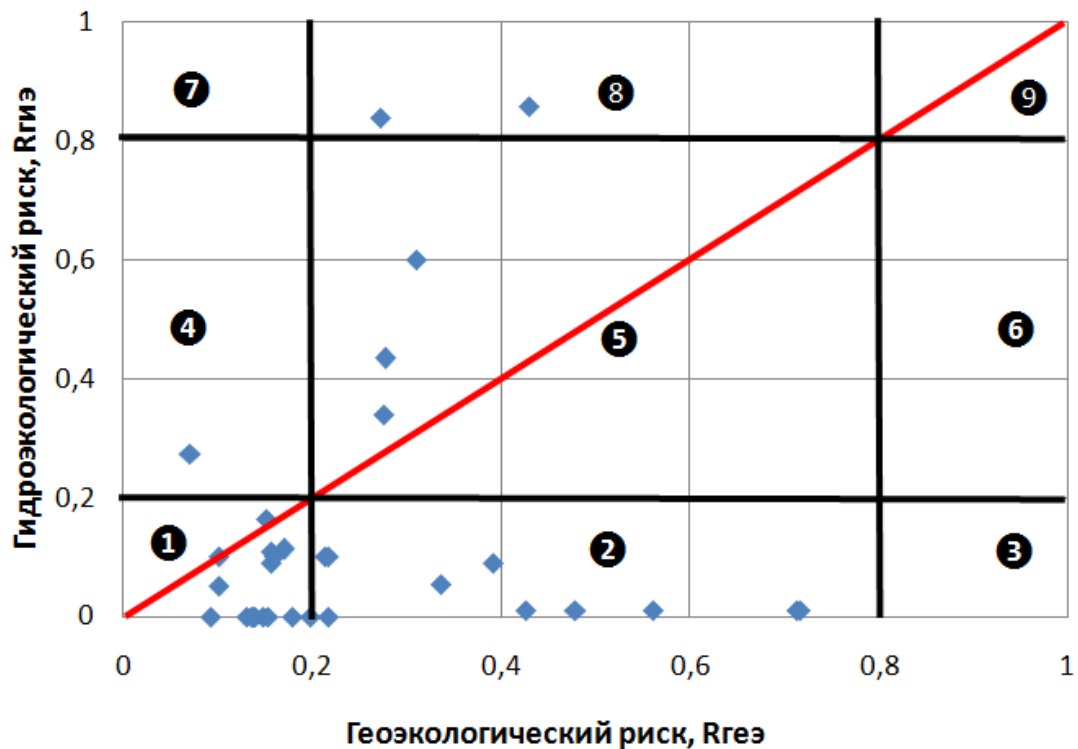


Рисунок 4.7 -Матрица составляющих гидрогеоэкологического риска для районов Керченского полуострова по сценарию 1

Сценарий 2. «Отсутствие поверхностных вод». Этот случай соответствует чрезвычайной ситуации прекращения водоснабжения из поверхностных источников и исключительного использования существующих подземных источников. Расчет производился по формулам (3.24), (3.27) и (3.29)-(3.31), результаты представлены в таблице 4.11.

Согласно полученным данным уровень гидрогеоэкологического риска в большинстве районов (66%) Керченского полуострова характеризуется как высокий (класс С) с критической экологической ситуацией (таблица 3.16). Одна четвертая часть районов (25%) характеризуется средним риском с напряженной

экологической ситуацией (класс В) и лишь 10% составляют районы с удовлетворительной ситуацией (класс А).

Таблица 4.11 - Результаты расчета рисков по сценарию 2

№ п/п	Районы	Гидроэкологический риск, $R^{гиз}$		Геоэкологический риск, $R^{гез}$		Гидрогеоэкологиче ский риск, $R^{ггз}$	
		значение	класс	значение	класс	значение	класс
1	м-н Маячное	0,897	С	0,392	В	0,821	С
2	м-н Войково	0,904		0,713		0,876	
3	Центральный м-н	0,913		0,561		0,862	
4	м-н Аршинцево	0,932		0,717		0,902	
5	м-н Героевское	0,954		0,429		0,887	
6	Глазовское с/п	0,115	А	0,171	А	0,172	А
7	Войковское с/п	0,748	В	0,31	В	0,65	В
8	Октябрьское с/п	0,182	А	0,151	А	0,156	А
9	Приозёрновское с/п	0,843	С	0,272	В	0,747	В
10	Челядиновское с/п	0,405	В	0,101	А	0,346	
11	Заветненское с/п	0,593		0,071		0,514	
12	Багеровское с/п	0,33		0,276	В	0,348	
13	Чистопольское с/п	0,21		0,157	А	0,192	А
14	Белинское с/п	0,619		0,277	В	0,615	В
15	Новониколаевское с/п	0,883	С	0,156	А	0,775	
16	Семисотское с/п	0,475	В	0,337	В	0,468	С
17	г. Щёлкино	0,979	С	0,427		0,913	
18	Лениново с/п	1,0		0,479	А	0,942	
19	Батальненское с/п	1,0		0,148		0,905	
20	Винограденское с/п	1,0		0,198	В	0,911	
21	Горностаевское с/п	1,0		0,213		0,912	
22	Ильичёвское с/п	1,0		0,179	А	0,908	
23	Калиновское с/п	1,0		0,131		0,903	
24	Кировское с/п	1,0		0,093		0,898	
25	Красногорское с/п	1,0		0,153		0,905	
26	Ленинское с/п	1,0		0,101		0,9	
27	Луговской с/п	1,0		0,14	А	0,904	
28	Марфовское с/п	1,0		0,138		0,904	
29	Марьевское с/п	1,0		0,136	А	0,903	
30	Мысовской с/п	1,0		0,217	В	0,913	
31	Останинское с/п	1,0		0,217		0,913	
32	Уваровское с/п	1,0		0,16	А	0,906	

Примечание – м-н – микрорайон; с/п – сельское поселение

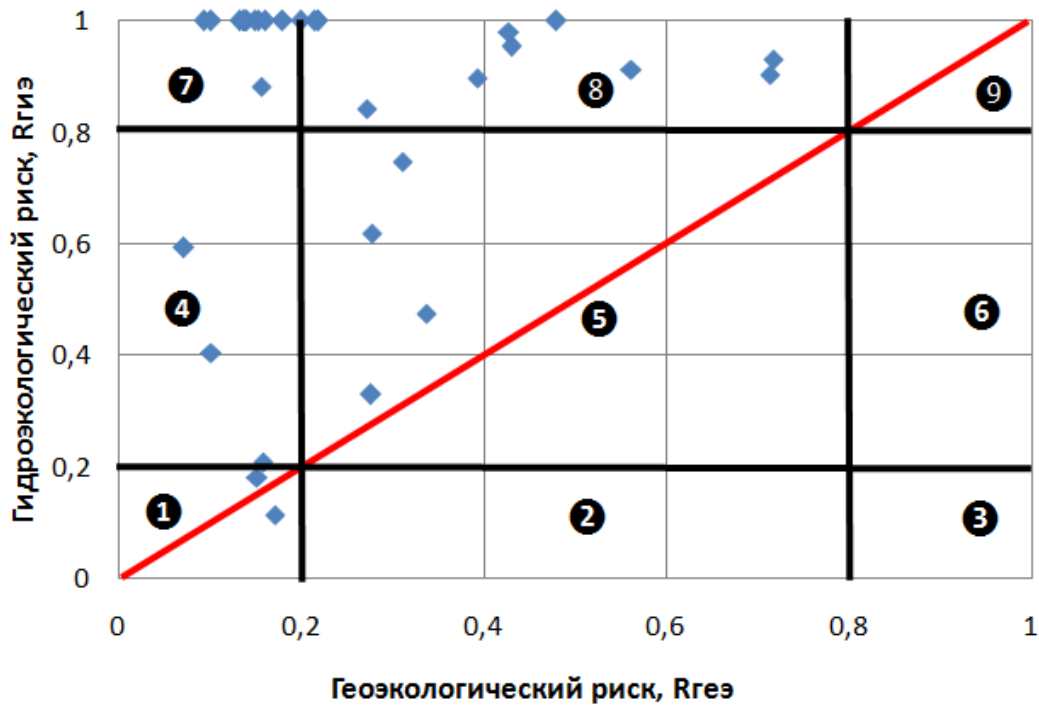
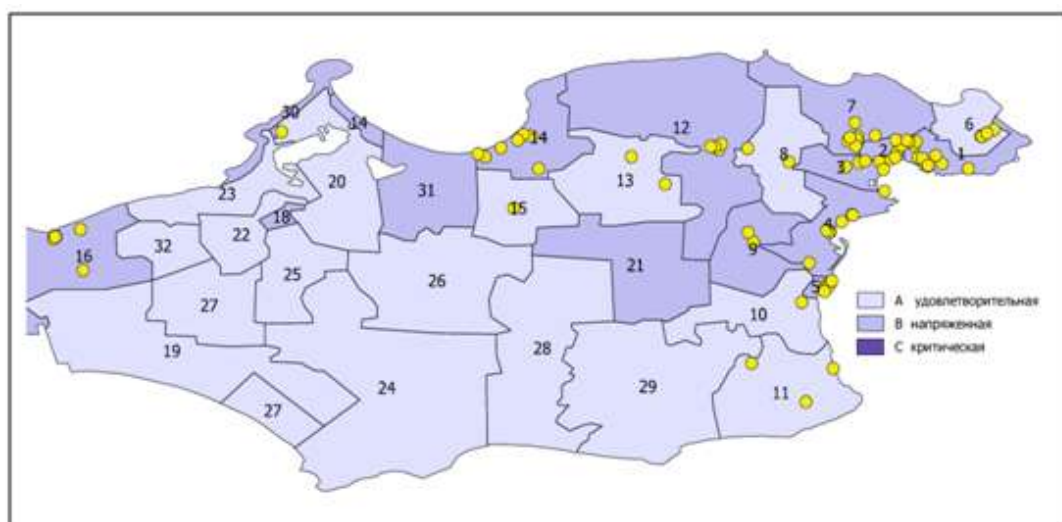


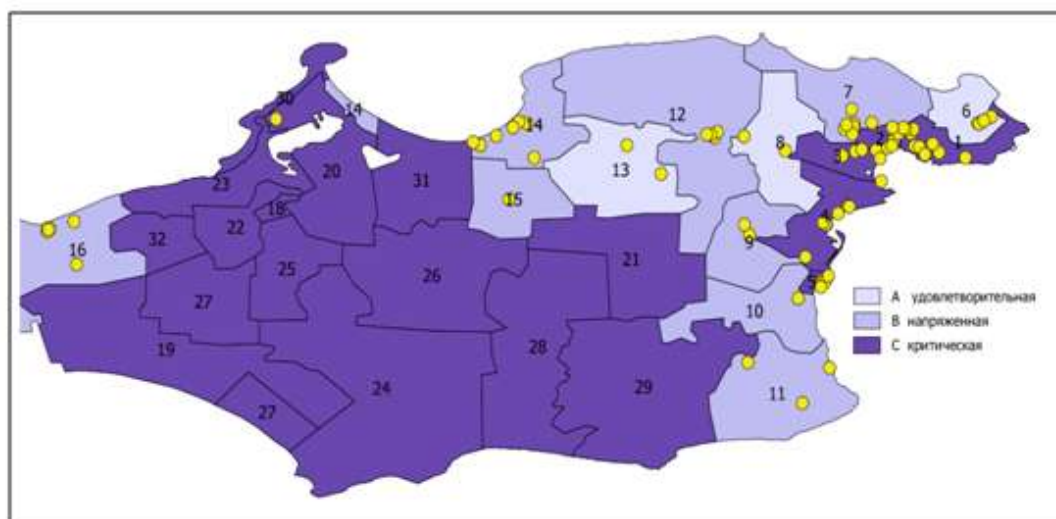
Рисунок 4.8 -Матрица составляющих гидрогеоэкологического риска для районов Керченского полуострова по сценарию 2

Сопоставление полученных оценок и анализ их соотношений (рисунок 4.8) показал, что большинство (94%) административных районов полуострова в значительной степени подвержены гидроэкологическому риску (на графике эта группа риска представлена точками соответствующих районов, лежащими выше биссектрисы матрицы составляющих гидрогеологического риска). Следовательно, основным фактором дестабилизации экологической ситуации в регионе в случае чрезвычайной ситуации является дефицит воды из подземных источников водоснабжения.

Распределение районов Керченского полуострова по напряженности экологической ситуации по двум сценариям представлено на рисунке 4.9 (А, Б).



А. Сценарий 1



Б. Сценарий 2

Административно-территориальные единицы Керченского полуострова

1 м-н Маячное	9 Приозёрновское С/П	17 г. Щёлкино	25 Красногорское С/П
2 м-н Войково	10 Челядиновское СС	18 Лениново С/П	26 Ленинское С/П
3 Центральный м-н	11 Заветненское С/П	19 Батальненское С/П	27 Луговой С/П
4 м-н Аршинцево	12 Багеровское П/С	20 Виноградненское С/П	28 Марфовское С/П
5 м-н Героевское	13 Чистопольское С/П	21 Горностаевское С/П	29 Марьевское С/П
6 Глазовское С/П	14 Белинское С/П	22 Ильичёвское С/П	30 Мысовской С/П
7 Войковское С/П	15 Новониколаевское С/П	23 Калиновское С/П	31 Останинское С/П
8 Октябрьское С/П	16 Семисотское С/П	24 Кировское С/П	32 Уваровское С/П

● артезианские скважины

Примечание: С/П - сельское поселение

Рисунок 4.9 - Районирование Керченского полуострова по напряженности экологической ситуации

Результаты расчета гидрогеоэкологического риска по модели M_2 по двум сценариям представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 - Распределение уровня гидрогеоэкологического риска на Керченском полуострове по модели M_2

№ п/п	Районы	$R^{ГЭ}$, сценарий 1		$R^{ГЭ}$, сценарий 2	
		значение	класс	значение	класс
1	м-н Маячное	0,392	В	0,897	С
2	м-н Войково	0,713		0,904	
3	Центральный м-н	0,561		0,913	
4	м-н Аршинцево	0,717		0,932	
5	м-н Героевское	0,859	С	0,954	
6	Глазовское с/п	0,171	А	0,171	А
7	Войковское с/п	0,601	В	0,748	В
8	Октябрьское с/п	0,164	А	0,182	А
9	Приозёрновское с/п	0,838	С	0,843	С
10	Челядиновское с/п	0,101	А	0,405	В
11	Заветненское с/п	0,273	В	0,593	
12	Багеровское с/п	0,339		0,33	
13	Чистопольское с/п	0,157	А	0,21	
14	Белинское с/п	0,434	В	0,619	
15	Новониколаевское с/п	0,156	А	0,883	С
16	Семисотское с/п	0,337	В	0,475	В
17	г. Щёлкино	0,427		0,979	С
18	Лениново с/п	0,479	А	1,0	
19	Батальненское с/п	0,148		1,0	
20	Виноградненское с/п	0,198	В	1,0	
21	Горностаевское с/п	0,213		1,0	
22	Ильичёвское с/п	0,179	А	1,0	
23	Калиновское с/п	0,131		1,0	
24	Кировское с/п	0,093		1,0	
25	Красногорское с/п	0,153		1,0	
26	Ленинское с/п	0,101		1,0	
27	Луговской с/п	0,14		1,0	
28	Марфовское с/п	0,138		1,0	
29	Марьевское с/п	0,136		1,0	
30	Мысовской с/п	0,217	В	1,0	
31	Останинское с/п	0,217		1,0	
32	Уваровское с/п	0,16	А	1,0	

Примечание – м-н – микрорайон; с/п – сельское поселение

Анализ таблицы 4.12 показал, что при развитии ситуации по модели M_2 по двум сценариям наблюдается увеличение уровня гидрогеоэкологического риска в отдельных районах, что связано со значимостью «худшей» составляющей итогового риска:

- по сценарию 1 - 47% составили районы с удовлетворительной ситуацией (класс А), 47% - с напряженной (класс В) и 6% - с критической (класс С) экологической ситуацией.

- по сценарию 2 - 6% - районы с удовлетворительной ситуацией (класс А), 22% - с напряженной (класс В) и 72% - с критической (класс С) экологической ситуацией.

Данные, полученные в ходе расчета комплексной оценки экологической ситуации при использовании подземных вод, являются исходными для проведения ранжирования районов Керченского полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска.

4.4 Ранжирование территории Керченского полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска

Завершающим этапом оценки риска является управление, которое включает разработку мероприятий по повышению экологической безопасности в рискованных районах. 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 [142].

За основу выполнения ранжирования территории Керченского полуострова была выбрана нелинейная аддитивная модель гидрогеоэкологического риска (3.31). Распределение районов полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска по двум сценариям представлено на рисунке 4.10.

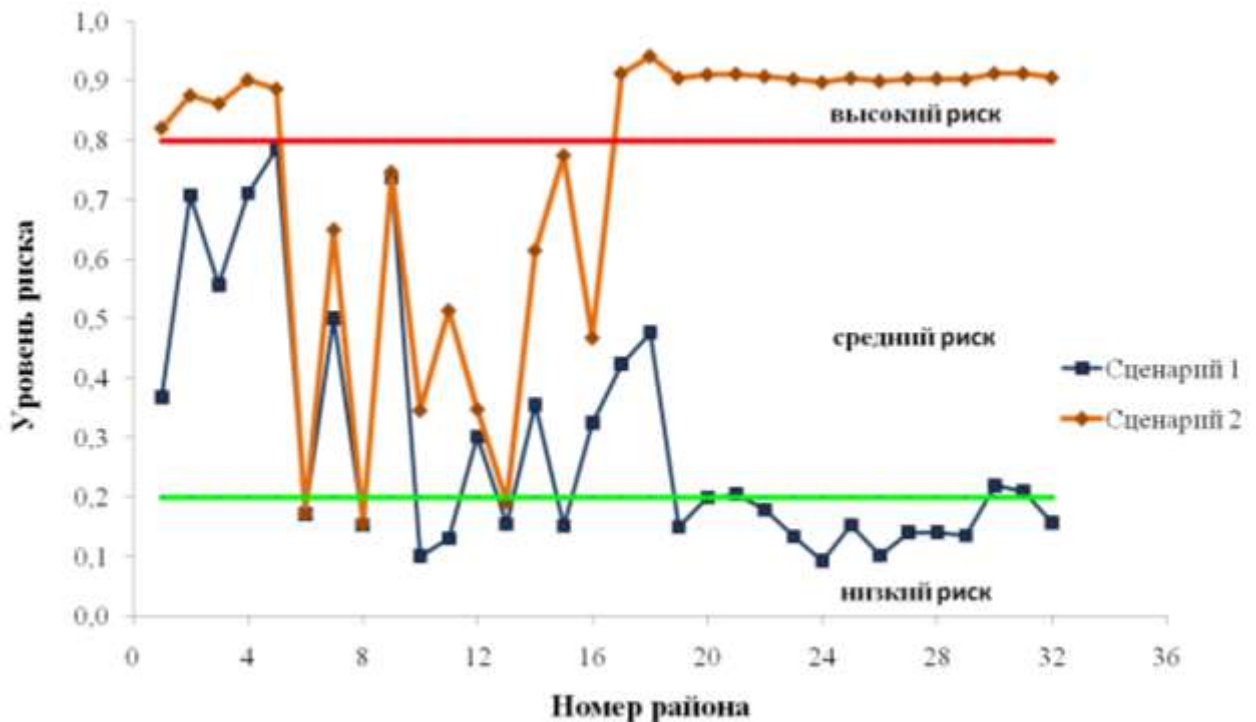


Рисунок 4.10 - Распределение районов полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска по двум сценариям

В ходе графического анализа были выявлены следующие закономерности:

1. В случае развития ситуации по сценарию 1 «Поверхностные и подземные воды» районы полуострова характеризуются низкими средним уровнями риска. Основным фактором, который обуславливает сложившуюся ситуацию, является доля подземных вод в общей структуре водопользования района. Поскольку при наличии поверхностных источников водоснабжения, которые во многих районах являются основным источником питьевой воды, уровень гидрогеоэкологического риска снижается. Так, в г. Керчь основным источником водоснабжения является вода Северо-Крымского канала, доля подземных вод составляет 1% от общего объема водопользования, следовательно, при всех прочих экологических условиях уровень гидрогеоэкологического риска – средний. В случае отсутствия источников подземных вод в районе (№ 19,20,22-25,27-30) уровень риска определяется лишь значением геоэкологического риска и характеризуется как низкий.

2. 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. В частности, смена экологической ситуации на критическую произошла в районах № 1-5, 17-32, в которых подземные воды отсутствуют или же дефицитны. Следовательно, в случае возникновения чрезвычайной ситуации, при условии недоступности поверхностного источника, эти районы являются наиболее подверженными риску. В данном случае наиболее устойчивыми являются районы, в которых основную долю в структуре водопользования составляют подземные воды и они не дефицитны (Глазовское с/п).

По результатам проведенного ранжирования районы полуострова были объединены в группы с различным уровнем гидрогеоэкологического риска, разница между рангами составляла 0,1. При реализации сценария 1 районы по уровню гидрогеоэкологического риска объединяются в семь кластеров (таблица 4.13).

Таблица 4.13 - Результаты ранжирования территории Керченского полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска по сценарию 1

№	Районы	ИКВ	ИДВ	ИТН	ИПН	$R^{гиз}$	$R^{гез}$	$R^{гтэ}$	Класс	Ранг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
24	Кировское с/п	-	1	0,176	0,009	0	0,093	0,093	А	1
10	Челядиновское с/п	0,258	0,515	0,176	0,026	0,052	0,101	0,101		2
26	Ленинское с/п	-	1	0,176	0,027	0,1	0,101	0,102		
11	Заветненское с/п	0,224	0,717	0,111	0,03	0,273	0,071	0,131		
23	Калиновское с/п	-	1	0,176	0,085	0	0,131	0,134		
29	Марьевское с/п	-	1	0,264	0,008	0	0,136	0,136		
27	Луговской с/п	-	1	0,264	0,016	0	0,14	0,141		
28	Марфовское с/п	-	1	0,264	0,013	0	0,138	0,141		
19	Батальненское с/п	-	1	0,264	0,031	0	0,148	0,15		
15	Новониколаевское/п	0,283	0,967	0,264	0,047	0,089	0,156	0,152		

Продолжение таблицы 4.13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	Октябрьское с/п	0,145	0,272	0,264	0,038	0,164	0,151	0,153	А	2
25	Красногорское с/п	-	1	0,264	0,041	0	0,153	0,153		
13	Чистопольское с/п	0,133	0,34	0,264	0,05	0,109	0,157	0,155		
32	Уваровское с/п	-	1	0,264	0,056	0,1	0,16	0,157		
6	Глазовское с/п	0,115	0,001	0,264	0,079	0,113	0,171	0,172		
22	Ильичёвское с/п	-	1	0,264	0,093	0	0,179	0,179		
20	Виноградненское с/п	-	1	0,376	0,021	0	0,198	0,2	В	3
21	Горностаевское с/п	-	1	0,376	0,051	0,1	0,213	0,205		
31	Останинское с/п	-	1	0,376	0,058	0,1	0,217	0,21		
30	Мысовской с/п	-	1	0,376	0,058	0	0,217	0,22		
12	Багеровское с/п	0,276	0,399	0,507	0,044	0,339	0,276	0,302		4
16	Семисотское с/п	0,298	0,577	0,647	0,026	0,055	0,337	0,325		
14	Белинское с/п	0,179	0,75	0,507	0,046	0,434	0,277	0,356		5
1	м-н Маячное	0,136	0,995	0,507	0,277	0,09	0,392	0,368		
17	г. Щёлкино	0,81	0,998	0,376	0,479	0,01	0,427	0,424		6
18	Лениново с/п	-	1	0,176	0,782	0,01	0,479	0,477		
7	Войковское с/п	0,115	0,871	0,507	0,113	0,601	0,31	0,501		7
3	Центральный м-н	0,228	0,999	0,376	0,747	0,009	0,561	0,557		
2	м-н Войково	0,272	0,987	0,507	0,919	0,009	0,713	0,708		
4	м-н Аршинцево	0,393	1	0,647	0,786	0,009	0,717	0,711		
9	Приозёрновское с/п	0,224	0,938	0,376	0,167	0,838	0,272	0,737		
5	м-н Героевское	0,722	0,985	0,376	0,482	0,859	0,429	0,786		

Примечание – м-н – микрорайон; с/п – сельское поселение

Следует отметить, что при осуществлении ранжирования территории большое значение имеет анализ каждой составляющей в итоговой оценке риска. Для этого в таблице 4.13 были приведены значения показателей, формирующих итоговую интегральную оценку. Так, Кировское сельское поселение (ранг 1) характеризуется значением гидрогеоэкологического риска, равным 0,093. Анализируя данные таблицы 4.13, видим, что значение итогового риска сформировалось на основе лишь одной составляющей (геоэкологического риска - $R^{\text{гео}}$), а вторая составляющая (гидроэкологический риск - $R^{\text{гид}}$) равна нулю, что обусловлено отсутствием подземных источников водоснабжения. Следовательно, в случае реализации сценария 1 уровень гидрогеоэкологического риска будет минимальным. Значение гидрогеоэкологического риска в районе №9 Приозерновское сельское поселение (ранг 7) составляет 0,737. Высокий уровень риска обусловлен влиянием двух составляющих, причем определяющим в данном

случае является гидроэкологический риск ($R^{гиз}$), который равен 0,838. Анализируя значения индикаторов ИДВ и ИКВ, делаем вывод, что недопустимый уровень гидроэкологического риска обусловлен дефицитом подземных вод и их низким качеством.

Разработанная система ранжирования является эффективным механизмом управления, поскольку позволяет не только выявить ареалы острых экологических проблем, но и проводить их системный анализ с целью выработки управленческих решений (рисунок 4.11).

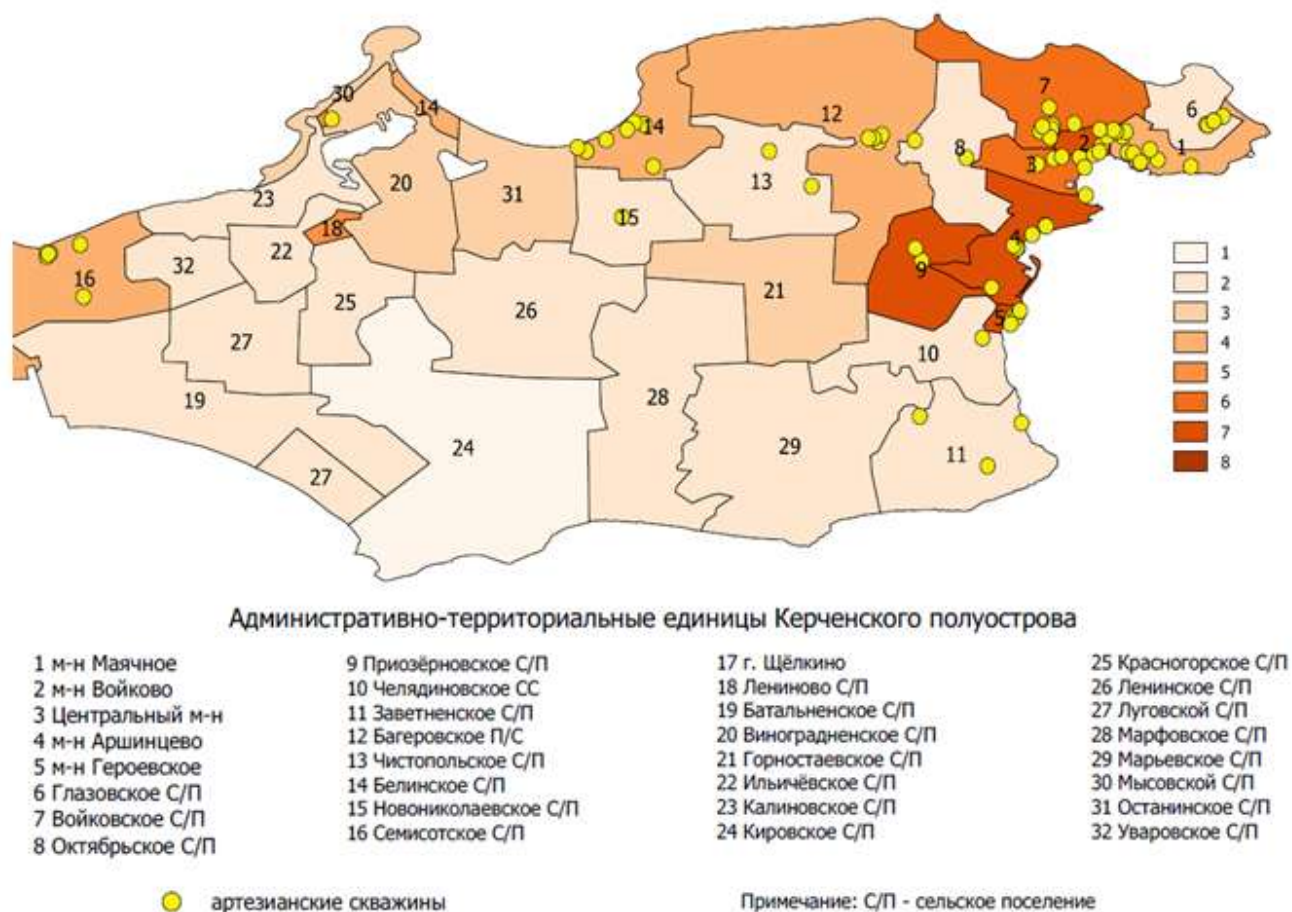


Рисунок 4.11 - Ранжирование территории Керченского полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска по сценарию 1

Графически результаты проведенного ранжирования представлены на рисунке 4.12.

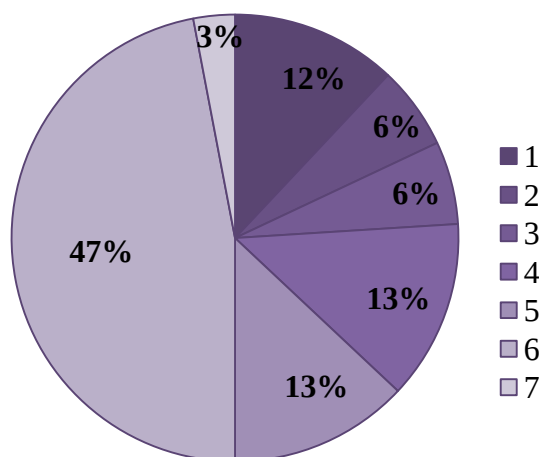


Рисунок 4.12 -Распределение районов полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска по сценарию 1, в %

Следовательно, в случае реализации сценария 1 самой многочисленной является группа ранга 2 со значением риска 0,1-0,2, которая объединила 47% всех районов полуострова. На втором месте находятся группы ранга 3,4 и 7, доля районов в их составе - 13 и 12% соответственно. Доля районов в группах рангов 5 и 6 составила 6%. Самой малочисленной является группа ранга 1 (3%), которая включила один район.

Аналогичная процедура ранжирования проводилась для сценария 2, в итоге районы были объединены в восемь кластеров, результаты представлены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 - Результаты ранжирования территории Керченского полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска по сценарию 2

№	Районы	ИКВ	ИДВ	ИТН	ИПН	R ^{ГПЭ}	R ^{ГЕЭ}	R ^{ГТЭ}	Класс	Ранг
8	Октябрьское с/п	0,145	0,272	0,264	0,038	0,182	0,151	0,156	А	1
6	Глазовское с/п	0,115	0,001	0,264	0,079	0,115	0,171	0,172		
13	Чистопольское с/п	0,133	0,34	0,264	0,05	0,21	0,157	0,192		
10	Челядиновское с/п	0,258	0,515	0,176	0,026	0,405	0,101	0,346	В	2
12	Багеровское с/п	0,276	0,399	0,507	0,044	0,33	0,276	0,348		
16	Семисотское с/п	0,298	0,577	0,647	0,026	0,475	0,337	0,468		3
11	Заветненское с/п	0,224	0,717	0,111	0,03	0,593	0,071	0,514		4
14	Белинское с/п	0,179	0,75	0,507	0,046	0,619	0,277	0,615		5
7	Войковское с/п	0,115	0,871	0,507	0,113	0,748	0,31	0,65		6
9	Приозёрновское с/п	0,224	0,938	0,376	0,167	0,843	0,272	0,747		
15	Новониколаевское с/п	0,283	0,967	0,264	0,047	0,883	0,156	0,775	С	7
1	м-н Маячное	0,136	0,995	0,507	0,277	0,897	0,392	0,821		
3	Центральный м-н	0,228	0,999	0,376	0,747	0,913	0,561	0,862		
2	м-н Войково	0,272	0,987	0,507	0,919	0,904	0,713	0,876		
5	м-н Героевское	0,722	0,985	0,376	0,482	0,954	0,429	0,887		
24	Кировское с/п	-	1	0,176	0,009	1	0,093	0,898		8
26	Ленинское с/п	-	1	0,176	0,027	1	0,101	0,9		
4	м-н Аршинцево	0,393	1	0,647	0,786	0,932	0,717	0,902		
23	Калиновское с/п	-	1	0,176	0,085	1	0,131	0,903		
29	Марьевское с/п	-	1	0,264	0,008	1	0,136	0,903		
27	Луговой с/п	-	1	0,264	0,016	1	0,14	0,904		
28	Марфовское с/п	-	1	0,264	0,013	1	0,138	0,904		
19	Батальненское с/п	-	1	0,264	0,031	1	0,148	0,905		
25	Красногорское с/п	-	1	0,264	0,041	1	0,153	0,905		
32	Уваровское с/п	-	1	0,264	0,056	1	0,16	0,906		
22	Ильичёвское с/п	-	1	0,264	0,093	1	0,179	0,908		
20	Виноградненское с/п	-	1	0,376	0,021	1	0,198	0,911		
21	Горностаевское с/п	-	1	0,376	0,051	1	0,213	0,912		
17	г. Щёлкино	0,81	0,998	0,376	0,479	0,979	0,427	0,913		
30	Мысовской с/п	-	1	0,376	0,058	1	0,217	0,913		
31	Останинское с/п	-	1	0,376	0,058	1	0,217	0,913		
18	Лениново с/п	-	1	0,176	0,782	1	0,479	0,942		

Примечание – м-н – микрорайон; с/п – сельское поселение

Ранжирование территории Керченского полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска по сценарию 2 представлено на рисунке 4.13.

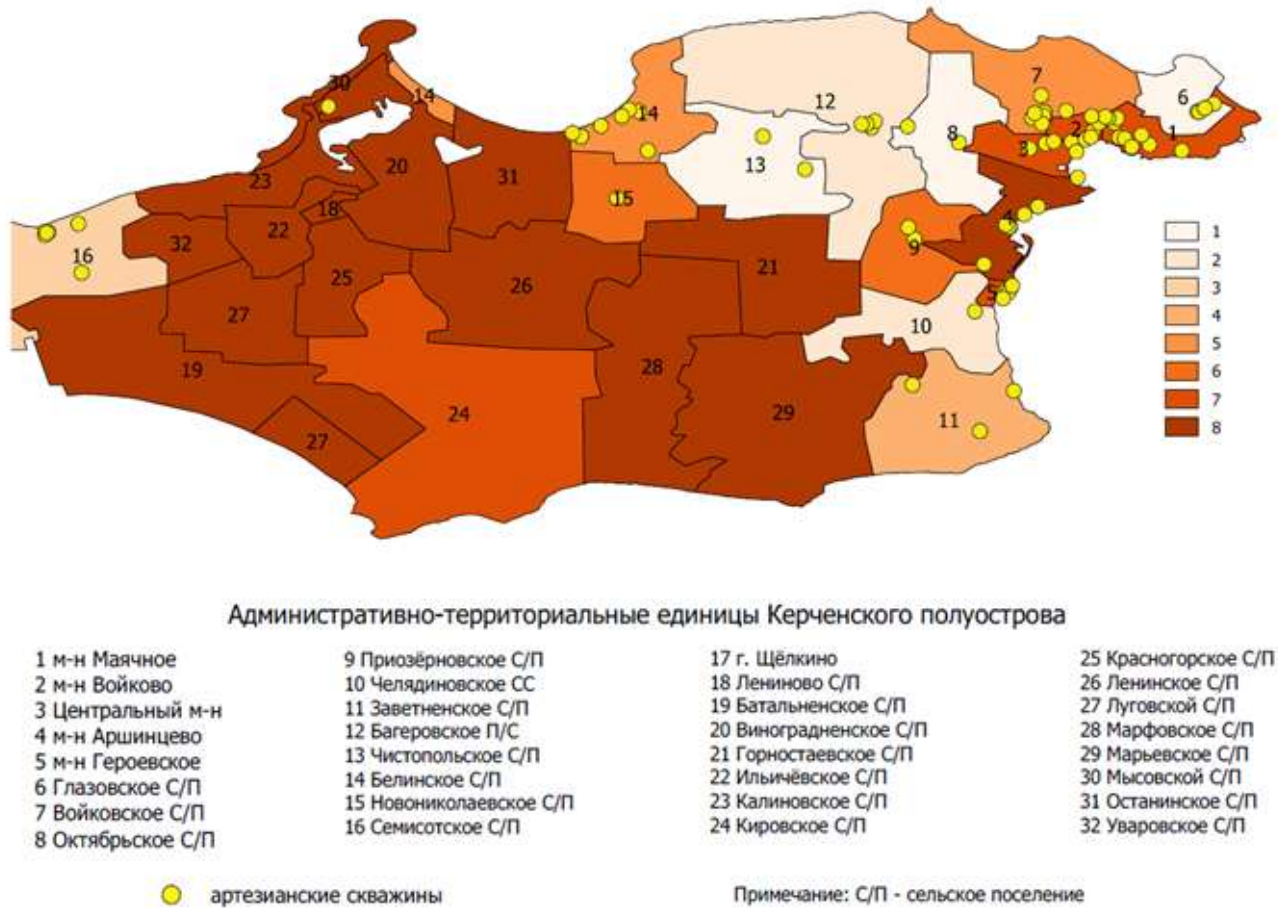


Рисунок 4.13 - Ранжирование территории Керченского полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска по сценарию 2

Следовательно, в случае развития ситуации по сценарию 2 районы полуострова распределятся следующим образом: 50% - группа ранга 8 (риск 0,9-1); 16% - группа ранга 7 (риск 0,8-0,9); 10% - группа ранга 1 (риск 0,1-0,2); 6% - группы рангов 2 (риск 0,2 -0,3), 5 (риск 0,5-0,6), 6 (риск 0,6-0,7) и 3% - группы рангов 3 (риск 0,3-0,4) и 4 (риск 0,4-0,5). Графически результаты проведенного ранжирования по сценарию 2 представлены на рисунке 4.14.

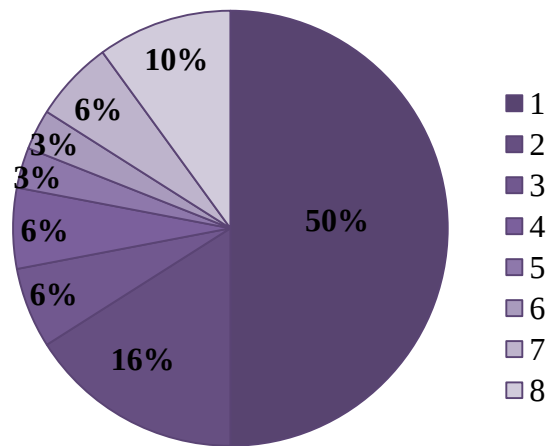


Рисунок 4.14 - Ранжирование районов полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска по сценарию 2, в %

Разработанная система ранжирования позволяет производить управление сложившейся ситуацией в случае реализации какого-либо одного из рассмотренных сценариев. При этом для обеспечения экологической безопасности Керченского полуострова важным аспектом является двумерный рейтинг районов, учитывающий их устойчивость к действию опасностей, возникающих при использовании подземных источников водоснабжения, а также определяющий последовательность оперативного реагирования в случае перехода ситуации от сценария 1 к сценарию 2 при возникновении чрезвычайной ситуации. Для проведения ранжирования все районы полуострова были объединены в пять кластеров по двумерному рейтингу, первая буква соответствует индексу состояния по сценарию 1, а вторая – по сценарию 2 [142]. Каждая из выделенных групп характеризуется определенным уровнем напряженности ситуации и степенью ее устойчивости (таблица 4.15).

Таблица 4.15 - Двумерный рейтинг районов Керченского полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска при переходе от сценария 1 к сценарию 2

№ района	Наименование района	Двумерный рейтинг	Характеристика устойчивости ситуации при переходе от сценария 1 к сценарию 2
6	Глазовское с/п	АА	- удовлетворительная ситуация, - стабильно устойчивая, - переход в другой класс отсутствует
8	Октябрьское с/п		
13	Чистопольское с/п		
7	Войковское с/п	ВВ	- напряженная ситуация, - стабильно устойчивая, - переход в другой класс отсутствует
9	Приозёрновское с/п		
12	Багеровское с/п		
14	Белинское с/п		
16	Семисотское с/п		
10	Челядиновское с/п	АВ	- смена удовлетворительной ситуации на напряженную, - неустойчивая, - одноступенчатый переход в класс В
11	Заветненское с/п		
15	Новониколаевское с/п		
1	м-н Маячное	ВС	- смена напряженной ситуации на критическую, - неустойчивая, - одноступенчатый переход в класс С
2	м-н Войково		
3	Центральный м-н		
4	м-н Аршинцево		
5	м-н Героевское		
17	г. Щёлкино		
18	Лениново с/п		
21	Горностаевское с/п		
30	Мысовской с/п		
31	Останинское с/п		
19	Батальненское с/п	АС	- смена удовлетворительной ситуации на критическую, - крайне неустойчивая, - двухступенчатый переход в класс С
20	Виноградненское с/п		
22	Ильичёвское с/п		
23	Калиновское с/п		
24	Кировское с/п		
25	Красногорское с/п		
26	Ленинское с/п		
27	Луговской с/п		
28	Марфовское с/п		
29	Марьевское с/п		
32	Уваровское с/п		

Примечание – м-н – микрорайон; с/п – сельское поселение

Распределение кластеров устойчивости экологической ситуации на территории Керченского полуострова при переходе от сценария 1 к сценарию 2 показано на рисунке 4.15.



Рисунок 4.15 - Распределение кластеров устойчивости экологической ситуации на территории Керченского полуострова при переходе от сценария 1 к сценарию 2

Двумерный рейтинг районов Керченского полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска представлен на рис 4.16.

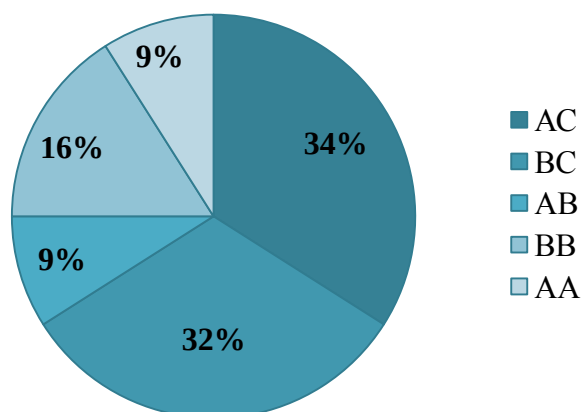


Рисунок 4.16 - Двумерный рейтинг районов Керченского полуострова по уровню гидрогеоэкологического риска, в %

Рассмотрим более подробно каждый из выделенных кластеров:

1. Кластер АА включает три района Керченского полуострова (№ 6,8,13), что составляет 9 % от общего количества ранжированных районов (рисунок 4.16), 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 (рисунок 4.16), и характеризуется устойчивой 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 использование систем 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 (рисунок 4.16). 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 (рисунок 4.16), 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 (рисунок 4.16). 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.

Проведенное ранжирование позволило классифицировать выделенные районы по степени устойчивости экологической ситуации и определить очередность решения проблем в области водоснабжения полуострова с учетом сложившейся ситуации. 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.

Поскольку проблема обеспечения экологической безопасности региона обуславливает необходимость комплексного решения, основанного на глубокой проработке всех вопросов в области водоснабжения, помимо представленных

ранее мер необходимо проведение следующих превентивных мероприятий на всей территории полуострова:

1. Провести инвентаризацию всех источников, колодцев и скважин с участием органов государственного управления и органов местного самоуправления с целью оценки целесообразности их использования и финансирования водоохраных мероприятий.

2. Определить порядок постановки бесхозных источников подземных вод на баланс органов местного самоуправления и хозяйствующих субъектов и обеспечить ведение кадастра.

3. Провести экологическую паспортизацию выявленных колодцев, источников и артезианских скважин [146].

4. При необходимости провести работы по благоустройству этих объектов.

5. Установить границы зон санитарной охраны колодцев с вынесением их в натуру.

6. Обеспечить проведение систематического санитарно-эпидемиологического надзора за качеством воды, используемой населением для питьевых нужд.

7. Обеспечить проведение постоянного экологического контроля и мониторинга.

8. Разработать государственную, региональную и местные программы по охране и рациональному использованию подземных водных ресурсов.

Успешная реализация мероприятий по улучшению обеспечения населения питьевой водой возможна только при взаимодействии органов власти на всех уровнях, а также концентрации научных, финансовых и технических ресурсов.

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.

Выводы

1. Алгоритм оценки экологической ситуации при использовании подземных вод на Керченском полуострове включал пять этапов. Данные, полученные в ходе сбора статистической информации, были объединены в четыре группы: качество воды, водообеспеченность, уровень техногенной нагрузки и плотность населения.

2. В ходе сбора статистических данных произведен всесторонний анализ водозаборов подземных вод. Собрана и систематизирована информация по химическому составу воды подземных источников водоснабжения по 26 показателям, данные о дислокации водозаборов, сведения о гидрогеологических условиях территории, информация об уровне техногенной нагрузки, плотности населения и т.д. Полученные данные подвергались статистической обработке, в результате были рассчитаны значения частных показателей: индекса загрязнения подземных вод (ИЗПВ), дефицита воды (D), уровня техногенной нагрузки (УТН) и плотности населения (ПН) для каждого района полуострова.

3. Полученные частные показатели подвергались дальнейшей унификации по предложенным расчетным формулам, в итоге для районов Керченского полуострова были рассчитаны ИКВ, ИДВ, ИТН и ИПН. Анализ геоэкологических карт, построенных на основе рассчитанных индикаторов, показал, что исследуемые районы Керченского полуострова характеризуются большим количеством комбинаций значений индикаторов, что затрудняет их сравнительный анализ с учетом интегрального действия всех индикаторов. Это, в свою очередь, обусловило необходимость проведения комплексной оценки экологической ситуации на Керченском полуострове.

4. Геоэкологическая оценка территории полуострова включала оценку уровня гидрогеоэкологического риска по двум сценариям. В случае развития ситуации по сценарию 1 «Поверхностные и подземные воды» районы полуострова характеризовались низким и средним уровнями риска. В случае реализации сценария 2 «Отсутствие поверхностных вод» ситуация значительно

ухудшилась – две трети районов полуострова переместились в зону с высоким уровнем риска, что обусловлено зависимостью от поверхностного источника водоснабжения и дефицитом воды из подземных источников.

5. По результатам проведенного ранжирования районы полуострова были объединены в группы с различным уровнем гидрогеоэкологического риска. При реализации сценария 1 районы по уровню гидрогеоэкологического риска объединяются в семь кластеров, в случае реализации сценария 2 – в восемь кластеров. Результаты проведенного исследования представлены в виде таблиц, карт и диаграмм. Разработанная система ранжирования позволяет производить управление сложившейся ситуацией в случае реализации какого-либо одного из рассмотренных сценариев.

6. Для обеспечения экологической безопасности Керченского полуострова важным аспектом является двумерный рейтинг районов, учитывающий их устойчивость к действию опасностей, возникающих при использовании подземных источников водоснабжения, а также определяющий последовательность оперативного реагирования в случае перехода ситуации от сценария 1 к сценарию 2 при возникновении чрезвычайной ситуации. Районы полуострова были объединены в пять кластеров по двумерному рейтингу. В кластер AA попали 9%, в кластер BB – 16%, в кластер AB – 9%, в кластер BC – 32% и AC – 34% районов. Кластерный анализ показал, что основным фактором опасности, существенно влияющим на уровень гидрогеоэкологического риска в различных районах полуострова, является дефицит воды подземных источников водоснабжения. Проведенное ранжирование позволило классифицировать выделенные районы по степени устойчивости экологической ситуации и определить очередность решения проблем в области водоснабжения полуострова с учетом сложившейся ситуации. Решение проблем водообеспечения должно носить планомерный, научно-обоснованный и систематический характер, при этом приоритетными районами являются зоны с критической экологической ситуацией.

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». Выделены группы следующих экологических условий: качество воды, водообеспеченность, уровень техногенной нагрузки и плотность населения, которые формируют экологическую ситуацию на Керченском полуострове при использовании подземных источников водоснабжения.

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. Произведена оценка техногенной нагрузки в регионе. 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. Подземные источники являются важным ресурсом для обеспечения потребностей населения, а также и стратегическим ресурсом в случае возникновения чрезвычайных ситуаций при условиях недоступности, недостаточности или же невозможности использования поверхностных вод.

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; их унификация; 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 с безразмерной шкалой оценок от 0 до 1: индикатор качества воды (ИКВ), индикатор дефицита воды (ИДВ), индикатор техногенной нагрузки (ИТН) и индикатор плотности населения (ИПН).

5. Сформирована трехуровневая пирамидальная структура интеграции отдельных экологических индикаторов (ИКВ, ИДВ, ИТН, ИПН) в комплексные показатели (гидро- и геоэкологический риски) и в итоговый показатель напряженности экологической ситуации в регионе (гидрогеоэкологический риск). 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 (сценарий «Поверхностные и подземные воды») и восемь кластеров (сценарий «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 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, Л.С. Контроль качества воды / Л.С. Алексеев. - М.: ИНФРА, 2007. - 154 с.
2. Альбов, С.В. Гидрогеология Крыма / С.В. Альбов. - К.: Изд-во АН УССР, 1956. - 280 с.
3. Альбов, С.В. К вопросу о нефтяных водах Керченского полуострова / С.В. Альбов // Тр. ИМР АН УССР. - 1959. - Вып. 1.
4. Альбов, С.В. Минеральные источники / С.В. Альбов. - Симферополь: Крым, 1966. - 45 с.
5. Альбов, С.В. Пресные воды Крыма и их использование / С.В. Альбов. - Симферополь: АН УССР, 1955. - 32 с.
6. Альбов, С.В. Углекислые минеральные источники Крыма / С.В. Альбов // Сб. Крымского филиала АН УССР. - 1954. - Вып. 5.
7. Альбов, С.В. Целебные источники Крыма / С.В. Альбов. - Симферополь: Таврия, 1991 - 49 с.
8. Аметов, Р.Ф. Региональные особенности развития хозяйственного комплекса Крыма: монография / Р.Ф. Аметов. - Донецк, 2001. - 283 с.
9. Андрусов, Н.И. Геологические исследования на Керченском полуострове, произведенные в 1882 и 1883 гг./ Н.И. Андрусов // Зап. Новорос. о-ва естествоиспытателей. - Т. 9. - Вып. 2. - С. 1-198.
10. Андрусов, Н.И. Геотектоника Керченского полуострова / Н.И. Андрусов // Материалы по геологии России. - 1893. - Т.16. - С. 63-336.
11. Антипов, М.А. Оценка качества подземных вод и методы их анализа: учеб. пособие / М.А. Антипов, И.В. Заикина, Н.А. Безденежных. - М.: РГАЗУ, 2010. - 136 с.
12. Антонов, К.А. Оценка динамики устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенной нагрузке / К.А. Антонов, К.А. Кирьякова, А.П. Белоусова // Сергеевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-

геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты). Выпуск 15. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, 21-22 марта 2013 г., г. Москва. - М.: РУДН, 2013. - С. 377-382.

13. Арманд, Д.Л. Наука о ландшафте /Д.Л. Арманд. – М.: Мысль, 1975. – 288 с.

14. Архангельский, А.Д. Краткий очерк геологического строения и нефтяных месторождений Керченского полуострова / А.Д. Архангельский // Тр. Главного геологоразв. упр. – 1930. – Вып.13.

15. Атлас Автономной Республики Крым / [Под ред. Н.В Багрова]. – Симферополь, 2003. – 80 с.

16. Ахметьева, Н.П. Экологическое состояние природных вод водосбора Иваньковского водохранилища и пути по сокращению их загрязнения / Н.П. Ахметьева, Е.Е. Лапина, М.В. Лола. – М.: Изд-во ЛКИ, 2015. – 240 с.

17. Багров, Н.В. Региональная геополитика устойчивого развития / Н.В. Багров. - К.: Лыбидь, 2002. - 256 с.

18. Багров, Н.В. Экология Крыма / Н.В. Багров, В.А. Боков. - Симферополь: Крымское учебно-педагогическое государственное издательство, 2003. - 360 с.

19. Бакуменко, Л.П. Интегральная оценка качества и степени экологической устойчивости окружающей среды региона (на примере Республики Марий Эл) / Л.П. Бакуменко, П.А. Коротков // Прикладная эконометрика. - № 1(9). – 2008. – С. 73-92.

20. Башкин, В.Н. Экологические риски: расчет управление, страхование: учеб. пособие/ В.Н. Башкин. – М.: Высш. шк., 2007. – 360 с.

21. Белицкий, А.С. Проектирование разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения / А.С. Белицкий, В.В. Дубровский. - М.: Недра, 1974. - 256 с.

22. Белоусова, А.П. Качество подземных вод: современные подходы к оценке / А.П. Белоусова. – М.: Наука, 2001. – 340 с.

23. Белоусова, А.П. Оценка рисков загрязнения подземных вод как одной из

характеристик устойчивости их качества / А.П. Белоусова // Водные Ресурсы. – 2006. – Т. 33. - № 2. – С. 239-252.

24. Белоусова, А.П. Ресурсы подземных вод и их защищенность от загрязнения в бассейне реки Днепр и отдельных его областях: Российская территория / А.П. Белоусова. - М.: ЛЕНАНД, 2005. – 168 с.

25. Белоусова, А.П. Экологическая гидрогеология: учебник для вузов / А.П. Белоусова, И.К. Гавич, А.Б. Лисенков, Е.В. Попов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 397 с.

26. Благоволин, Н.С. Геоморфология Керченско-Таманской области / Н.С. Благоволин. – Москва: Изд-во АН СССР, 1962. – 192 с.

27. Боков, В.А. Методология и методика оценивания экологических ситуаций / В.А. Боков, И.Г. Черванёв и др. – Симферополь: Таврия-Плюс, 2000 – 100 с.

28. Боков, В.А. Основы экологической безопасности: учеб пособие / В.А. Боков, А.В. Лущик. - Симферополь: Сонат, 1998 – 224 с.

29. Боков, В.А. Оценка экологических опасностей и рисков: учеб. пособие / В.А. Боков, Л.А. Багрова, А.С. Тихонов, В.О. Смирнов. – Симферополь: изд-во «Доля», 2012. – 248 с.

30. Буймова, С.А. Комплексная оценка качества родниковых вод на примере Ивановской области / С.А. Буймова, А.Г. Бубнов; под ред. А.Г. Бубнова. - Иваново: Иван. гос. хим.-технол., 2012. – 463 с.

31. Ваганов, П.А. Экологический риск: учебное пособие / П.А. Ваганов, Им. Ман-Сунг. - Спб.: Изд-во С.-Пб. университета, 2001. – 116 с.

32. Ванюшкин, А.С. Анализ концепций развития промышленных парков в Крыму / А.С. Ванюшкин // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия «Экономика и управление». - Том 27 (66). - 2014. - № 1. - С. 18-31.

33. ВНТП-Н-97. Нормы расходов воды потребителей систем сельскохозяйственного водоснабжения. – М.: инженерный центр

«Союзводпроект», 1997. – 19 с.

34. Вода для устойчивого развития и здоровья в Крыму. Оценка современной ситуации. Аналитический доклад / [под ред. В.С. Тарасенко]. – Симферополь: Крымская республиканская ассоциация «Экология и мир», 2003. – 110 с.

35. Вода для устойчивого развития общества. Интегрированное управление водными ресурсами: сборник научных трудов участников Международной научно-практической конференции 23-25 сентября 2003 г. – Симферополь: ЧП «Эльиньо», 2003. - 87 с.

36. Водное хозяйство Крыма: история развития, современное состояние / [сост. Заволодько Н.Н., Тимченко З.В., Новик В.А., Хромова Р.Н.]. – Симферополь: Изд-во «Доля», 2003. – 79 с.

37. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 19.06.2007).

38. Галицкая, И.В. Методологические исследования формирования геохимической опасности и риска на урбанизированных территориях / И.В. Галицкая // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2007. – № 3. – С. 225-237.

39. Геология СССР. Т. 8. Крым. Ч. 1. Геологическое описание / [под ред. М.В. Муратова]. - М.: Недра, 1969. - 576 с.

40. Гибков, Е.В. Эколого-географический анализ и оценка гидроэкологического риска на территории восточного Донбасса в связи с реструктуризацией угольной промышленности : автореф. дис. ...канд.геогр.наук: 25.00.36 / Евгений Викторович Гибков. – Ростов-на-Дону, 2011. – 21 с.

41. Гидрогеология и инженерная геология: словарь / [сост. А.А. Маккавеев, О.К. Ланге]. – М.: Гостоптехиздат, 1961 – 186 с.

42. Гидрогеология СССР, том VIII, Крым / [под ред. Сидоренко А.В.]. - М.: «Недра», 1971. - 364 с.

43. Головкинский, Н.А. Артезианские колодцы Таврической губернии / Н.А.

Головкинский // Новороссийский календарь. – Одесса, 1890.

44. Головкинский, Н.А. Гидрогеологические исследования в Таврической губернии / Н.А. Головкинский. – Симферополь, 1896.

45. Головкинский, Н.А. О современном положении артезианского дела и Таврической губернии / Н.А. Головкинский. – Симферополь, 1891.

46. Гольдберг, В.М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения / В.М. Гольдберг. – Москва: Недра, 1982. – 235 с.

47. Гончарук, В.В. Наука о воде / В.В. Гончарук. – К.: Наукова думка, 2010. – 511 с.

48. ГОСТ 17.1.1.04-80. Охрана природы. Гидросфера. Классификация подземных вод по целям водопользования. – М.: Госстандарт СССР, 1981. – 4 с.

49. ГОСТ 17.1.3.06-82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод. – М.: Госстандарт СССР, 1983. – 2 с.

50. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартинформ, 2013. – 64 с.

51. ГОСТ 31942-2012. Вода. Отбор проб для микробиологического анализа. – М.: Стандартинформ, 2013. – 27 с.

52. ГОСТ Р 14.09-2005 Экологический менеджмент. Руководство по оценке риска в области экологического менеджмента. – М.: Стандартинформ, 2010. – 36 с.

53. ГОСТ Р 51897-2011 Менеджмент риска. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2012. – 12 с.

54. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе в 2014 году». – Симферополь: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека в Республике Крым и городу федерального значения Севастополя, 2015. – 136 с.

55. Государственный комитет по водному хозяйству и мелиорации Республики Крым [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gkvod.rk.gov.ru>.

56. Грин, А.М. Геоэкологический анализ / А.М. Грин, Н.Н. Ключев, Л.И. Мухина // Известия РАН. Сер. географ. - 1995. - №1 - С. 21-30.
57. Грин, А.М. Теоретико-методические основы геоэкологического анализа / А.М. Грин, Н.Н. Ключев, Л.И. Мухина // Геоэкологический анализ. Принципы, методы, опыт применения. - М.: ИГРАН, 1995. - С. 6-24.
58. Гроздинский, М.Д. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий / М.Д. Гроздинский, В.А. Боков. – Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. – 672 с.
59. Данилов-Данильян, В.А. Экология. Охрана природы и экологическая безопасность / В.А. Данилов-Данильян. - М.: МНЭПУ, 1997. - 501 с.
60. Двойченко, П.А. Бурение артезианских колодцев в Таврической губернии / П.А. Двойченко. - Симферополь, 1913. - 128 с.
61. Двойченко, П.А. Условия водоснабжения селений Таврической губернии / П.А. Двойченко. - Симферополь, 1913. - 51 с.
62. Дмитриев, В.Г. К вопросу о понятии экологического риска. Аналитический обзор публикаций / В.Г. Дмитриев // Арктика и Север. – 2013. - №13. – С. 1-20.
63. Дмитриев, В.Г. Теоретический метод оценки экологического риска с учетом гидрометеорологических факторов / В.Г. Дмитриев // Арктика и Север. – 2014. - №15. – С. 1-9.
64. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Крым за 2013 год. – Симферополь: Министерство экологии и природных ресурсов Республики Крым, 2013. – 136 с.
65. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Крым за 2014 год. – Симферополь: Министерство экологии и природных ресурсов Республики Крым, 2014. – 230 с.
66. Ежов, В.В. Секреты крымского здоровья / В.В. Ежов, Д.Н. Тарасенко. - Симферополь: Бизнес-Информ, 2002. - 111 с.
67. Емельянов, А.Г. Геоэкологические основы природопользования / А.Г.

Емельянов. – Тверь: Изд-во Тверского ун-та, 1998. – 118 с.

68. Емельянов, А.Г. Основы природопользования: учеб. для студ. высш. учебн. заведений / А.Г. Емельянов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 304 с.

69. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. - М.: Мир, 1976. - 166 с.

70. Зекцер, И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды / И.С. Зекцер. – М.: Научный мир, 2001. - 329 с.

71. Зекцер, И.С. Подземные воды в водном балансе крупных регионов / И.С. Зекцер, Р.Г. Джамалов. – М.: Изд-во Наука, 1989. – 124 с.

72. Зекцер, И.С. Исследования подземного стока, режима и качества подземных вод / И.С. Зекцер, В.С. Ковалевский, Р.Г. Джамалов // Водные ресурсы. - 1999. - Т. 26. - № 5. - С. 612-623.

73. Зуев, Е.Т. Питьевая и минеральная вода: Требования мировых и европейских стандартов к качеству и безопасности / Е.Т. Зуев, Г.С. Фомин. - М.: Протектор, 2003. - 319 с.

74. Ивлиев, П.П. Геоэкологическая оценка развития опасных природных и техноприродных процессов побережья Азовского моря (в пределах Ростовской области): автореф. дис. ...канд.геогр.наук: 25.00.36 / Петр Павлович Ивлиев. – Ростов-на-Дону, 2012. – 24 с.

75. Исаченко, А.Г. Введение в экологическую географию: учеб. пособие / А.Г. Исаченко. - СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2003. - 192 с.

76. Каманина, И.З. Оценка экологических рисков на территории малых городов Московской области (на примере г. Дубны) / И.З. Каманина, О.А. Макаров, О.А. Савватеева // Поволжский экологический журнал. – 2005. – №2. – С. 128-136.

77. Карлин, Л.Н. Экологические риски: теория и практика / Л.Н. Карлин, А.А. Музалевский. – СПб.: РГГМУ, 2011. – 446 с.

78. Козловский, А.Н. Сведения о количестве и качестве воды в селениях,

деревнях и колониях Таврической губернии, собранные для приведения в известность местностей, крайне нуждающихся в мелкой пресной воде, и составления за тем систематического плана обводнения оных / А.Н. Козловский. – Симферополь: Тип. С.Г. Спиро, 1867. – 76 с.

79. Кондратьев, К.Я. Экодинамика и геополитика. Т.1. Глобальные проблемы / К.Я. Кондратьев, В.К. Донченко. – М.: Изд-во НИЦ Экологической безопасности РАН, 1999. – 1021 с.

80. Конради, А.В. Сельскохозяйственное водоснабжение горной части Крымского полуострова. - СПб, 1894.

81. Коробов, В.Б. Экспертные методы в географии и геоэкологии: монография / В.Б. Коробов. – Архангельск: Поморский университет, 2008. – 236 с.

82. Котляков, В.М. Моделирование экологических ситуаций / В.М. Котляков, А.М.Трофимов, Ю.П.Селиверстов, Н.М.Солодуха // Изв. РАН. Сер. Геогр. - 1995. – №1. - С.5-20.

83. Котляков, В.М. Подходы к составлению экологических карт СССР / В.М. Котляков, Б.И. Кочуров, Н.И. Коронкевич и др. // Изв. РАН. Сер. геогр. - 1990. - №4. - С. 61-70.

84. Кочуров, Б.И. География экологических ситуаций (экодиагностика территории) / Б.И. Кочуров. - М.: ИГРАН, НЦЭБП, 1997. – 132 с.

85. Кочуров, Б.И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории / Б.И. Кочуров. - Смоленск: СГУ, 1999. – 154 с.

86. Кочуров, Б.А. Подходы к определению и классификации экологического риска / Б.А. Кочуров, С.Г. Миронюк // География и природные ресурсы. – 1993. - №4. – С. 22-27.

87. Кочуров, Б.И. Разработка критериев и показателей оценки экологической обстановки территории / Б.И. Кочуров, Л.Л. Розанов // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. Обзорная информация. – М.: ВИНТИ. - 1994. - № 5. - С. 31-43.

88. Кочуров, Б.И. Современная экологическая обстановка в России и возможности ее прогнозирования / Б.И. Кочуров, А.В. Антипова, С.К. Костовска. - М.: ИЭС, 2005. – 52 с.

89. Кочуров, Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие: учебное пособие. / Б.И. Кочуров. – М.-Смоленск: Маджента, 2003. - 384 с.

90. Краснянский, М.Е. Утилизация и рекуперация отходов / М.Е. Краснянский. – Харьков, Киев: Бурун и К, КНТ, 2007. – 288 с.

91. Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия / [под ред. Н.Г. Рабыльского]. – М.: Минрироды России, 1992. – 73 с.

92. Крым: хозяйство. Экономико-географический анализ. Часть I./ [Под ред. В.Б. Кудрявцева и др.]. - Симферополь, 1993. – 79 с.

93. Крым: хозяйство. Экономико-географический анализ. Часть II./ [Под ред. В.Б. Кудрявцева и др.]. - Симферополь, 1993. – 80 с.

94. Кудрик, И.Д. Анализ законодательства Украины в сфере водопользования в контексте обеспечения устойчивого развития Керченского полуострова / И.Д. Кудрик, А.В. Ошкадер // Экологическая безопасность. – 2012. - № 1. – С. 38-42.

95. Кудрик, И.Д. Анализ экологического состояния артезианских скважин Керченского полуострова / И.Д. Кудрик, А.В. Ошкадер // Международный сборник научных статей «Экологические проблемы постсоветского пространства». - Липецк, 2014. – С. 66-76.

96. Кудрик, И.Д. Гидрогеоэкологические особенности формирования подземных вод Керченского полуострова / И.Д. Кудрик, А.В. Ошкадер // Культура народов Причерноморья. - Симферополь, 2014. - № 269. – С. 131-135.

97. Кудрик, И.Д. Комплексная оценка качества питьевой воды Керченского полуострова в аспекте устойчивого развития региона: монография / И.Д. Кудрик, И.Г. Пашкина, А.Ю. Селиван, Т.В. Хребтова. – Львов: Издательство «Растр-7», 2011. - 96 с.

98. Кудрик, И.Д. Концептуальные подходы к оценке экологических рисков при использовании подземных вод / И.Д. Кудрик, А.В. Ошкадер // 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.

99. Кудрик, И.Д. Особенности оценки экологического риска при использовании подземных вод Керченского полуострова / И.Д. Кудрик, А.В. Ошкадер // Вестник Харьковского Национального университета им. В.Н. Каразина. – 2013. - № 1084. – С. 223-228.

100. Кудрик, И.Д. Подземные воды и их место в структуре водопользования Керченского полуострова / И.Д. Кудрик, А.В. Ошкадер // Наука в эпоху дисбалансов: междунар. конф., 30 апреля 2014 г.: сборник трудов / Киев, 2014. – С. 79-82.

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

102. Кудрик, И.Д. Система унифицированных индикаторов как инструмент оценки экологических ситуаций прибрежных зон / И.Д. Кудрик, А.В. Ошкадер, Л.Е. Подлипенская // 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.

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

104. Кудрик, И.Д. Экологический мониторинг курортно-туристических

ресурсов Крыма: монография / И.Д. Кудрик, Н.И.Ковалев, С.Г.Белявский, Т.В. Хребтова, А.В. Ошкадер. – Севастополь: изд-во «Черкасский ЦНТЭИ», 2013. – 257 с.

105. Кудрик, И.Д. Эколого-гидрогеологические аспекты функционирования полигона твердых бытовых отходов в г. Керчи / И.Д. Кудрик, А.В. Ошкадер, Т.В. Хребтова // 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.

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

107. Кудрик, И.Д. Экологическая оценка загрязнения подземных вод Керченского полуострова тяжелыми металлами / И.Д. Кудрик, А.В. Ошкадер // Экологическая безопасность. – 2013. - № 1. – С. 88-91.

108. Куришко, В.А. Гидрогеология грязевого вулканизма Керченского полуострова / В.А. Куришко, И.А. Месяц, А.С. Тердовидов // Геологический журнал. – 1968. – Т.28. – вып. 1. – с. 49-59.

109. Лаврентьева, Г.В. Технология оценки экологического риска для малой реки / Г.В. Лаврентьева, Е.В. Рева, Б.И. Сынзыныс, О.А. Мирзеабасов // Вестник Российской академии естественных наук. – 2011. – С 58-65.

110. Лакин, Г.Ф. Биометрия: учеб. пособие для биол. спец. вузов – 4-е изд., перераб. и доп. / Г.Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.

111. Лычагин, Г.А. Геологическое строение и история развития равнинной части Крыма / Г.А. Лычагин // Тр. ВНИГРИ. – 1958. – Вып. 12.

112. Лычак, А.И. Анализ и оценка геоэкологических ситуаций в Крыму / А.И. Лычак // Культура народов Причерноморья. - 1999. - № 6. - С.383-386.

113. Лычак, А.И. Некоторые аспекты разработки методики оценки геоэкологических ситуаций в Крыму на ландшафтной основе / А.И. Лычак // Культура народов Причерноморья. - 1999.- № 5. - С.398-400.

114. Лычак, А.И. Подходы к оценке геоэкологических ситуаций / А.И. Лычак // Культура народов Причерноморья. - 1998. - № 3.- С.89-90.
115. Маков, К.И. Подземные воды Причерноморской впадины / К.И. Маков // Изд. Укр. геол. управ. Киев – М., 1940.
116. Маков, К.И. Подземные воды Украины / К.И. Маков. – К.: Изд-во АН УССР, 1947.
117. Манаенкова, И.А. Оценка геоэкологических рисков территории Криворожский естественно-хозяйственного района / И.А. Манаенкова // Культура народов Причерноморья. - 2007. - Вып. 118. - С. 14-16.
118. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками: Учеб.пособие для вузов / [Под ред. проф. Н.П. Тихомирова]. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 350 с.
119. Минеральные лечебные воды курортов Крыма: второе издание / [под ред. К.Д. Бабова, Е.М. Никипеловой]. – Одесса: 2012. – 220 с.
120. Министерство экономического развития Республики Крым [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minek.rk.gov.ru/>
121. Муратов, М.В. Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова / М.В. Муратов. - М.: Госгелтехиздат, 1960.
122. Муратов, М.В. Краткий очерк тектоники Крымского полуострова / М.В. Муратов // Тр. XVII сессии Междунар. геол. конгресса. – 1940.- т. 5.
123. Муратов, М.В. Руководство по учебной геологической практике в Крыму. Т.II. Геология Крымского полуострова / М.В. Муратов. – М.: Недра, 1973. – 192 с.
124. Некоммерческий веб-картографический проект OpenStreetMap [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://map.openstreetmap.org/>
125. Об охране окружающей среды: [федер. закон: принят Гос. Думой 7 янв. 2002 г.: по сост. на 25 июня 2012 года] – М.: российская газета, 2012.
126. Обручев, В.А. Минеральный источник Бурун Кан, близ Бахчисарая как будущий курорт / В.А. Обручев // Курортное дело. – 1924. - № 4-5.

127. Олиферов, А.Н. Реки и озера Крыма / А.Н. Олиферов, З.В. Тимченко. – Симферополь: Изд. «Доля», 2005. – 216 с.

128. О Программе развития водного хозяйства Автономной Республики Крым на период до 2015 года: постановление Верховной Рады АР Крым от 17 ноября 2004 г. № 1121-4/04. / Верховная Рада АРК // Сборник нормативно-правовых актов Автономной Республики. - 2004, - № 11, ст. 990.

129. Орадовская, А.Е. Санитарная охрана водозаборов подземных вод / А.Е. Орадовская, Н.Н. Лапшин. - М.: Недра, 1987. - 167 с.

130. Орлов, М.С. Гидрогеоэкология городов: учеб. пособие / М.С. Орлов, К.Е. Питьева. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 288 с.

131. Осипов, В.И. Оценка и управление природными рисками (состояние проблемы) / В.И. Осипов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2007. – № 3. – С. 201-211.

132. Осипов, В.И. Природные опасности и стратегические риски в мире и в России / В. И. Осипов // Экология и жизнь. – 2009. – № 11–12 (96-97). – С. 5-15.

133. Отчет о геологической съемке восточной части Керченского полуострова в масштабе 1:50000 за 1973-1975 гг. Том 1. / В.В. Павленко, Г.И. Милевский, В.П. Шкурко. – Симферополь: Геолфонд КП «Южэкогеоцентр», 1975.

134. Ошкадер, А.В. Анализ потенциальных источников загрязнения подземных вод на Керченском полуострове / А.В. Ошкадер // 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.

135. Ошкадер, А.В. Влияние коммунально-хозяйственных объектов на состояние водной среды / А.В. Ошкадер, Г.Н. Пыцкий, Е.А. Дмитриева // Рыбное хозяйство Украины. – 2009. - № 7. – С. 10-12.

136. Ошкадер, А.В. Методологические основы оценки экологической ситуации при использовании подземных вод / А.В. Ошкадер // Проблемы региональной экологии. - 2015. - № 6. - С. 97-102.

137. Ошкадер, А.В. Оценка гидроэкологического 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»: в 2 т. / отв. ред. В.И. Осипов. – Москва: РУДН, 2015. - С. 286-291.

138. Ошкадер, А.В. Оценка качества вод малых рек города Керчь с применением метода ростового теста / А.В. Ошкадер, А.С. Адылова, Е.А. Дмитриева, А.А. Федотова//XII Всеукраинской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Экологические проблемы регионов Украины», 24-26 марта 2010 г.: матер. докл. / ОДЭКУ. - Одесса, 2010 – С. 129-130.

139. Ошкадер, А.В. Оценка качества питьевой воды подземных источников на территории Керченского полуострова / А.В. Ошкадер // 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.

140. Ошкадер, А.В. Оценка современного экологического состояния артезианских скважин на территории Керченского полуострова / А.В. Ошкадер // Экологическая безопасность и природопользование. – 2013. – № 13. – С. 116-125.

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

142. Ошкадер, А.В. Оценка экологической ситуации на Керченском полуострове при использовании подземных вод / А.В. Ошкадер // Проблемы региональной экологии. - 2016. - № 1. - С. 18-25.

143. Ошкадер, А.В. Подходы к оценке экологической ситуации при использовании подземных источников водоснабжения / А.В. Ошкадер, Л.Е.

Подлипенская // 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.

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

145. Ошкадер, А.В. Разработка моделей количественной оценки риска при использовании подземных вод / А.В. Ошкадер, Л.Е. Подлипенская // 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.

146. Ошкадер, А.В. Экологические аспекты паспортизации водных объектов / А.В. Ошкадер, О.Ю. Белич, Д.А. Жебрун // 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.

147. Пасмарнова, П.С. Новые принципы методики исследования геоэкологического состояния подземных вод / П.С. Пасмарнова, А.Я. Смирнова, Е.Н. Кислякова // Вестник ВГУ, Серия: Геология. – 2007. - № 1. – С. 185-189.

148. Поверхностные водные объекты Крыма: справочник / [под ред. З.В. Тимченко]. – Симферополь: Рескомводхоз АРК, 2004. – 113 с.

149. Погода в мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wunderground.com>

150. Погода в мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rp5.ru>

151. Подгородецкий, П.Д. Крым: Природа: Справ. изд. / П.Д. Подгородецкий. - Симферополь: Таврия, 1988. - 192 с.

152. Подземные воды мира: ресурсы, использование, прогнозы / [под ред. И.С. Зекцера]; Ин-т вод. проблем РАН – М.: Наука, 2007. – 438 с.
153. Попов, С.П. Минеральные источники Крыма / С.П. Попов // Тр. Крымского науч.-исслед. инст-та. – 1930. – т.2. – Вып. 1.
154. Посохов, Е.В. Формирование химического состава подземных вод / Е.В. Посохов. - Л: Гидрометеорологическое изд-во, 1966. – 236 с.
155. Примаков, Е.А. Интегральная оценка устойчивости и экологического благополучия водных объектов: автореф. дис. ...канд.геогр.наук: 25.00.36 / Екатерина Алексеевна Примаков. – СПб, 2009. – 25 с.
156. Природные опасности России. Оценка и управление природными рисками. Тематический том / под ред. А. Л. Рагозина. – М.: Издательская фирма «КРУК», 2003. – 320 с.
157. Природные опасности России. Природные опасности и общество. Тематический том / под ред. В.А. Владимирова, Ю.Л. Воробьева, В.И. Осипова. М.: КРУК, 2002. - 248 с.
158. Пытьев, Ю.П. Возможность. Элементы теории и применения / Ю.П. Пытьев. – М.: Едиториал УРСС, 2000. – 192 с.
159. Рагозин, А.Л. Общие положения оценки и управления природными рисками / А.Л. Рагозин // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 1999. – № 5. – С. 417-429.
160. Разработка критериев оценки территориальной экологической безопасности: отчет о НИР (промежуточный) / КГМТУ; рук. Кудрик И.Д. - Керчь, 2012. - 49 с. - Исполн.: Хребтова Т.В., Ошкадер А.В., Пыцкий Г.Н., Портной В.С. - Библиогр.: с. 42-49. - N ГР 0113U005752, N ГР 0113U005753, N ГР 0113U005892.
161. Реймерс, Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник / Н.Ф. Реймерс. - М.: Мысль, 1990. – 637 с.
162. Ришес, Е.А. Подземные воды Степного Крыма, Керченского полуострова и условия их использования / Е.А. Ришес // Тр. I Укр. гидрогеол.

совещ. – 1961. – Т.1.

163. Ришес, Е.А. Режим грунтовых вод Равнинного Крыма и условия развития орошения / Е.А. Ришес // Тр. Совещ. по гидрогеологии и инженерной геологии района Днепропетровских водохранилищ и ирригационных систем Приднепровья, Днепропетровск, 1962.

164. Романовский, Г.Д. Геологический очерк Таврической губернии и обзор Крымского полуострова относительно условий для артезианских колодцев / Г.Д. Романовский // Горный журнал. – 1867. - т. III. - № 10.

165. Руденко, Е.Э. Оценка изменения степени опасности и загрязнения подземных вод на территории России / Е.Э. Руденко, А.А. Орлова, А.П. Белоусова // Сергеевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты). Выпуск 15. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, 21–22 марта 2013 г., г. Москва.- М.: РУДН, 2013. - С. 343-348.

166. Рудько, Г.И. Устойчивое развитие и природные ресурсы прибрежной Азово-Черноморской зоны Крыма: монография / Г.И. Рудько, И.Д. Кудрик, С.Г. Белявский, Е.П. Масюткин, И.Ф. Ерыш. - Киев: Адеф-Украина, 2012. – 288 с.

167. Руководство по контролю качества питьевой воды. Т.1: Рекомендации. - 2-е изд. - Женева: Изд. ВОЗ, 1994. – 255 с.

168. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М.: Минздрав России, 2002. – 15 с.

169. СанПиН 2.1.4.1175-02. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. – М.: Минздрав России, 2003. – 18 с.

170. Сдасюк, Г.В. Эколого-географические ситуации и пути перехода к устойчивому региональному развитию / Г.В. Сдасюк, А.С. Шестаков // Известия РАН. Сер.геогр. - 1994. - №1. - С. 42-51.

171. СП 2.1.5.1059-01. Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения. – М.: Минздрав России, 2001. – 14 с.
172. Суворова, А.В. Подходы к представлению и обработке неопределенности данных и знаний о поведении индивидов / А.В. Суворова // Труды СПИИРАН. – 2012. – Вып. 4(23). – С. 206-222.
173. Стрикаленко, Т.В. Вода и здоровье / Т.В. Стрикаленко // Причерноморский экологический бюллетень. – 2008. - № 1. – С. 115-120.
174. Стурман, В.И. Экологическое картографирование: учебное пособие / В.И. Стурман. – М.: Аспект Пресс, 2003. – 251 с.
175. Сынзыныс, Б.И. Экологический риск. / Б.И. Сынзыныс, Е.Н. Тянтова, О.П. Мелехова. - Москва: Логос, 2005. - 167 с.
176. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gosstat.crimea.ru>
177. Трансформация структуры водного баланса в Крыму в XX веке – начале XXI века и ее оптимизация / [под ред. В.А. Бокова]. – Симферополь: Крымский научный центр, 2011. – 193 с.
178. Трофимов, А.М. Изучение, анализ и картографирование чрезвычайных ситуаций (на примере Республики Татарстан) / А.М. Трофимов, О.П. Литовка, А.К. Шанталинский // Региональная экология. №1-2 (18). – 2002. – С.46-51.
179. Трофимов, А.М. Методика пространственного анализа и выделение специфических районов, кризисных и критических областей и зон риска / А.М. Трофимов. // Мониторинг. – 1997. - №3. – С.21-25.
180. Трофимов, А.М. Основные подходы к решению проблем риска / А.М. Трофимов, В.М. Котляков, Ю.П. Селиверстов, А.Р. Зайнуллина // Изв. РГО. Вып.4. - 1999. - С. 1-8.
181. Трофимов, А.М. Принципы и подходы к составлению геоэкологических карт / А.М. Трофимов, Б.И. Кочуров, Р.С. Петрова, Ю.А. Хазиахметова // Экологические системы и приборы. – 2003. - №8. - С.22-35.

182. Трофимов, А.М. Региональный геоэкологический анализ: учебное пособие / А.М. Трофимов, В.А. Рубцов, О.П. Ермолаев. - Казань, 2009. – 428 с.
183. Троценко, М.А. Напряженные геоэкологические ситуации на территории Волгоградской области и критерии оценки степени их остроты / М.А. Троценко, Н.О. Рябинина // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т.16. - № 1 (3). – С. 677 – 682
184. Устойчивый Крым. Водные ресурсы / [глав. ред. В.С. Тарасенко] – Симферополь: «Таврида», 2003. – 413 с.
185. Устойчивый Крым. Симферополь – южная столица : научные труды КАПКС / [глав.ред. О.В. Рыбина]. – Киев-Симферополь: Сонат, 2001. – 360 с.
186. Фащук, Д.Я. Антропогенная нагрузка на геосистему «море – водосборный бассейн» и ее последствия для рыбного хозяйства (методы диагноза и прогноза на примере Черного моря) / Д.Я. Фащук, В.В. Сапожников. – М.: Изд-во ВНИРО, 1999. - 124 с.
187. Фомичев, М.М. Чокракские сероводородные источники / М.М. Фомичев // Тр. лабор. гидрогеол. проблем. – 1948. – Т.1.
188. Халов, Е.А. Систематический обзор четких одномерных функций принадлежности интеллектуальных систем / Е.А. Халов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2009. -№3. – С. 60-74.
189. Хребтова, Т.В. Подходы к оценке опасности развития наводнений на территории г. Керчь / Т.В Хребтова, И.Д. Кудрик, Л.Е. Подлипенская // 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. 286-292.
190. Чура, Н.Н. Техногенный риск: учебное пособие / Н.Н. Чура. - М.: КноРус, 2011. – 280 с.
191. Швыряев, А.А. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе: учебное пособие для вузов/ А.А. Швыряев, В.В. Меньшиков. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 124 с.

192. Шестаков, А.С. Принципы классификации эколого-географических ситуаций / А.С. Шестаков // Известия Русского геогр. общ-ва. - 1992. - Т. 124. - Вып. 3. - С. 241-272.

193. Шестаков, А.С. Эколого-географические ситуации интегральное отражение состояния окружающей среды / А.С. Шестаков // Оценка качества окружающей среды и экологическое картографирование. – М.: ИГ РАН. - 1995. - С. 39-52.

194. Шмаль, А.Г. Факторы экологической опасности и экологические риски / А.Г. Шмаль. – Бронницы: Издательство: МП «ИКЦ БНТВ», 2010. - 191 с.

195. Экологический мониторинг курортно-туристических ресурсов на территории Восточного Крыма: отчет о НИР (заключительный) / КГМТУ; рук. Кудрик И.Д. - Керчь, 2012. - 101 с. - Исполн.: Хребтова Т.В., Ошкадер А.В. - Библиогр.: с. 96-101. - N ГР 0107U011956.

196. Юровский, Ю.Г. Подземные воды шельфа. Задачи и методы изучения: монография / Ю.Г. Юровский. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2013. – 260 с.

197. Ягер, Р.Р. Нечеткие множества и теория возможностей: Последние достижения / Р.Р. Ягер. - М.: Радио и связь, 1986.

198. Яковлев, В.В. Экологическая безопасность, оценка риска: монография / В.В. Яковлев. - СПб.: СПбГПУ, 2007. – 399 с.

199. Яроцкий, Л.А. Об условиях формирования крепких сероводородных вод Керченского полуострова / Л.А. Яроцкий // Тр. лабор. гидрогеол. проблем. – 1948. – Т.3.

200. Ясинский, С.В. Геоэкологический анализ антропогенных воздействий на водосборы малых рек / С.В. Ясинский // Известия РАН. Сер. географ. - 2000. - № 4. - С.74-82.

201. Ясинский, С.В. Геоэкологическое районирование водосбора (на примере Истринского водохранилища) / С.В. Ясинский // Водные ресурсы. - 2004. - № 5. - С. 627-634.

202. Kevin Swingler. Applying Neural Networks. A practical Guide. Перевод Ю.П. Маслобоева. - М.: Радиотехника, 2000. – 664 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица А.1 – Характеристика административно-территориального устройства Керченского полуострова

№ п-на	Муниципальные образования	Населенные пункты (микрорайон)	Население (чел)	Площадь (км ²)	Плотность населения чел/км ²
Городской округ Керчь					
1	городской округ Керчь	м-н Маячное	3865	25,873	149,38
2		м-н Войково	50177	27,294	1838,39
3		м-н Центр	40614	49,947	813,14
4		м-н Аршинцево	50018	52,933	944,93
5		м-н Героевское	1246	3,771	330,42
Всего по округу			145920	159,8	913,14
Ленинский муниципальный район					
6	Глазовское с/п	с. Глазовка	1140	40	35,35
		с. Осовины	208		
		с. Юркино	66		
	Всего		1414		
7	Войковское с/п	с. Войково	4223	98	52,35
		с. Бондаренково	693		
		пос. Егорово	54		
		с. Курортное	160		
	Всего		5130		
8	Октябрьское с/п	с. Октябрьское	1498	92	16,28
	Всего		1498		
9	Приозёрновское с/п	с. Приозерное	3004	37	81,19
	Всего		3004		
10	Челядиновское с/п	с. Челядиново	795	82	10,98
		с. Огоньки	105		
	Всего		900		
11	Заветненское с/п	с. Заветное	1270	119	13,16
		с. Костырино	78		
		с. Набережное	108		
		с. Яковенково	110		
	Всего		1566		
12	Багеровское с/п	пгт. Багерово	3908	212	19,25
		с. Ивановка	173		
	Всего		4081		
13	Чистопольское с/п	с. Чистополье	1843	114,6	21,7
		с. Затишное	217		

		с. Либкнехтовка	398		
		с. Тасуново	29		
		Всего	2487		
14	Белинское с/п	с. Белинское	363	50	20,14
		с. Верхнезаморское	93		
		с. Золотое	108		
		с. Нижнезаморское	91		
		с. Новоотрадное	179		
		с. Станционное	173		
		Всего	1007		
15	Новониколаевское с/п	с. Новониколаевка	1292	63	20,51
		Всего	1292		
16	Семисотское с/п	с. Семисотка	1649	200	11,35
		с. Каменское	247		
		с. Львово	7		
		с. Петрово	65		
		с. Соляное	109		
		с. Фронтное	192		
		Всего	2269		
17	г. Щёлкино		11169	34,2	326,58
		Всего	11169		
18	Лениново с/п	пгт. Ленино	7826	8,4	931,67
		Всего	7826		
19	Батальненское с/п	с. Батальное	1362	119	13,37
		с. Южное	112		
		с. Ячменное	117		
		Всего	1591		
20	Виноградненское с/п	с. Виноградное	1089	143	8,91
		с. Романово	185		
		Всего	1274		
21	Горностаевское с/п	с. Горностаевка	2439	110	22,17
		Всего	2439		
22	Ильичёвское с/п	с. Ильичево	1776	42	42,29
		Всего	1776		
23	Калиновское с/п	с. Калиновка	2298	59,6	38,56
		Всего	2298		
24	Кировское с/п	с. Кирово	1069	330	4,02
		с. Вулкановка	186		
		с. Яркое	73		
		Всего	1328		

25	Красногорское с/п	с. Красногорка	938	61	18,03
		с. Королево	162		
	Всего		1100		
26	Ленинское с/п	с. Ленинское	1830	182	11,48
		с. Фонтан	260		
	Всего		2090		
27	Луговское с/п	с. Луговое	1051	175	6,72
		с. Ерофеево	125		
	Всего		1176		
28	Марфовское с/п	с. Марфовка	947	188	5,34
		с. Новоселовка	49		
		с. Прудниково	7		
	Всего		1003		
29	Марьевское с/п	с. Марьевка	604	218	3,26
		с. Борисовка	21		
		с. Вязниково	50		
		с. Пташкино	36		
	Всего		711		
30	Мысовское с/п	с. Мысовое	448	38,2	25,47
		с. Азовское	51		
		с. Заводское	211		
		с. Семеновка	263		
	Всего		973		
31	Останинское с/п	с. Останино	1402	62,3	25,76
		с. Зеленый Яр	58		
		с. Песочное	145		
	Всего		1605		
32	Уваровское с/п	с. Уварово	1005	40,7	24,69
	Всего		1005		
Всего по району			64012	2919	21,93
Всего по полуострову			209932	3078,8	68,2

Примечание: м-н – микрорайон; с/п – сельское поселение