Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Омский государственный педагогический университет»

На правах рукописи

Ломакина Светлана Сергеевна

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель
доктор географических наук, доцент
Мезенцева Ольга Варфоломеевна

Омск – 2019

Оглавление

Введение 4
1 Теоретические и методологические основы геоэкологического мониторинга и геоэкологического картографирования поверхностных вод бассейна реки Ишим (Северный Казахстан) 11
1.1 Теоретические основы организации геоэкологического мониторинга....11
1.2 Современные методы геоэкологических исследований, используемые в геоэкологическом мониторинге 18
1.3 Анализ существующих способов организации геоэкологического мониторинга поверхностных вод 30
1.4 Результаты анализа существующих методов и концепций геоэкологического мониторинга 37
2 Геоэкологические особенности строения водосборного бассейна реки Ишим в пределах Акмолинской и Северо-Казахстанской областей Республики Казахстан……39
2.1 Особенности географического положения и рельефа, влияющие на строение водосбора реки Ишим 39
2.2 Особенности климатических условий водосбора реки Ишим 43
2.3 Особенности гидрографии водосбора реки Ишим 49
2.4 Особенности гидрохимического режима рек Ишимского водосборного бассейна 55
2.5 Результаты анализа геоэкологических особенностей формирования стока в бассейне реки Ишим 62
3 Дешифрование космических снимков поверхности водосбора реки Ишим……64
3.1 Создание цифровой модели рельефа (ЦМР) для разработки карт водосбора реки Ишим…….....64
3.2 Построение гидрологически корректной ЦМР для анализа территории водосбора реки Ишим 67

3.3 Выделение зон затопления в бассейне реки Ишим на основе данных космического мониторинга (Акмолинская область) 72

3.4 Результаты обработки данных дистанционного зондирования при мониторинге водосбора реки Ишим..... 80

4 Геоэкологическая оценка и геоэкологическое картографирование территории водосбора реки Ишим для совершенствования системы геоэкологического мониторинга……...82

4.1 Геоэкологическая оценка природных условий в пределах бассейна реки Ишим для жизнедеятельности человека 82

4.2 Геоэкологическая оценка и картографирование источников антропогенного воздействия в бассейне реки Ишим 85

4.3 Геоэкологическая оценка и картографирование экологически неблагоприятных природных процессов 90

4.4 Геоэкологическая оценка и картографирование гидроэкологических рисков в бассейне реки Ишим..... 95

4.5 Комплексная векторная картографическая модель гидрологических процессов бассейна реки Ишим..... 99

4.6 Результаты геоэкологической оценки и геоэкологического картографирования территории водосбора реки Ишим..... 103

4.7 Рекомендации по совершенствованию системы мониторинга……...105

Заключение 107

Список литературы 110

Введение

Актуальность исследования. Особенности климата северного Казахстана, расположенного в умеренном поясе, проявляются в четко выраженной резкой континентальности: в виде значительных сезонных амплитуд температур и общего дефицита влаги, жаркого лета и холодной зимы, относительно коротких по продолжительности переходных сезонов. При этом в период интенсивного весеннего снеготаяния в отдельные годы происходит формирование паводков и затопление территорий водосборов отдельных водотоков, приводящих к существенным экономическим потерям в масштабах региона. Данная ситуация осложняется недостатком гидрологических постов для полноценного мониторинга водных объектов, что в свою очередь приводит к трудностям при измерениях весеннего стока и прогнозирования паводковой ситуации.

Для территории Республики Казахстан (РК) имеется значительное количество научных работ, посвященных исследованию крупных, в том числе трансграничных рек. Научными сотрудниками Института географии Министерства образования и науки РК проведена оценка и прогноз по 8 водохозяйственным бассейнам: Арало-Сырдарьинский, Балхаш-Алакольский, Иртышский, Урало-Каспийский, Ишимский, Нура-Сарысуский, Шу-Таласский и Тобол-Тургайский водохозяйственный бассейн. Но при этом, отсутствует или недостаточна современная комплексная оценка и районирование внутри отдельных бассейнов, основанная на данных дистанционного геоэкологического мониторинга. В условиях неравномерного размещения населения и ареалов хозяйственной деятельности внутри территории отдельного бассейна реки, недостаточное внимание к внутренней дифференциации геоэкологических условий может привести к негативным последствиям, носящим региональный и общегосударственный характер.

В связи с этим, для экологически безопасного и сбалансированного развития областей, расположенных в бассейне реки Ишим в Северном Казахстане необходима комплексная геоэкологическая оценка территории, основанная на

результатах геоэкологического мониторинга с использованием дистанционных методов и ГИС-технологий.

Степень разработанности темы исследования. Вопросам в области разработки теоретической и методологической основы геоэкологического мониторинга и геоэкологической оценки посвящен ряд исследований специалистов в области геоэкологии и экологии, а также экологического мониторинга: И. П. Герасимова, В. Г. Заиканова, Ю. А. Израэля, А. Г. Исаченко, Ю. М. Каниболоцкой, Н. К. Кобетаева, Б. И. Кочурова, А. Н. Краснощекова, Г. В. Кузенкова, О. В. Мезенцевой, Н. В. Мищенко, А. К. Муртазова, В. Н. Уварова и др. В Республике Казахстан исследованиями в данном направление занимаются М. Бурлибаев, Д. Бурлибаева, Ж. Достай и др. Исследованиями в области гидрологии, в том числе анализом и оценкой неблагоприятных гидрологических явлений на реках занимаются Р. И. Гальперин, И. М. Мальковский, Л. С. Толеубаева, А. Р. Медеу. В области мониторинга и проблем водопользования Западной Сибири и Центральной Азии известны исследования Института водных и экологических проблем, в частности Б. А. Краснояровой, Ю. И. Винокурова, А. Т. Зиновьева, И. А. Суторихина, В. П. Галахова, С. Г. Платоновой и др.

На данный момент теория геоэкологического мониторинга представляет из себя хорошо изученную область геоэкологии, опирающуюся на довольно обширный методологический аппарат, а возможностям использования ГИС и данных дистанционных методов в процессе геоэкологического мониторинга отводится особое место. Исследованиями в области использования дистанционных методов по разным направлениям занимаются В. В. Хромых, Б. В. Виноградов, И.Н. Ротанова, Т. А. Трифонова, А. Н. Шихов, P. M. Atkinson, Y. Hirabayashi, S. Kanae, Z. W. Kundzewicz и др. Вместе с тем, вопросы геоэкологического мониторинга, в частности геоэкологического мониторинга водных бассейнов при отсутствии достаточного количества данных о состоянии исследуемых объектов, остаются на сегодняшний день открытыми.

Таким образом, данное диссертационное исследование направлено, в том числе, и на изучение возможностей геоэкологического мониторинга

поверхностных вод с использованием дистанционных методов и ГИС-технологий в условиях недостаточности данных об их состоянии.

Объектом исследования является территория водосборного бассейна реки Ишим в пределах Акмолинской и Северо-Казахстанской областей (Северный Казахстан).

Предмет исследования – геоэкологическое состояние территории водосборного бассейна реки Ишим при современном уровне антропогенной нагрузки.

Цель диссертационного исследования: выполнение геоэкологической оценки состояния территории водосборного бассейна реки Ишим для совершенствования системы геоэкологического мониторинга.

В контексте поставленной цели решались следующие **задачи:**

1. Выявить влияние геоэкологических особенностей водосборного бассейна реки Ишим в пределах Акмолинской и Северо-Казахстанской областей Республики Казахстан на изменение состояния водных ресурсов территории.

2. Проанализировать и применить возможности дистанционных методов (в частности, дешифрование космических снимков Landsat-7 и Landsat-8 с применением индекса NDVI) для геоэкологического мониторинга и геоэкологической оценки территории водосбора, включая анализ сети постоянных и временных водотоков.

3. Дать геоэкологическую оценку и разработать картографическую модель геоэкологических процессов для территории водосборного бассейна реки Ишим с выделением зон по степени благоприятности геоэкологических условий и уровню антропогенного воздействия.

4. Разработать рекомендации в области организации геоэкологического мониторинга на участках с неблагоприятной геоэкологической ситуацией.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. На основании анализа геоэкологических факторов и гидрохимического состояния поверхностных водотоков выделены участки водосборного бассейна реки Ишим в пределах Акмолинской и Северо-Казахстанской областей

Республики Казахстан, подверженные наибольшему загрязнению в результате антропогенного влияния.

2. Впервые построены векторные карты и картосхемы, отражающие современное состояние поверхностных водных источников в бассейне реки Ишим Северного Казахстана, включая неблагоприятные гидрологические явления (весеннее половодье).

3. На основании проведенной геоэкологической оценки с помощью космоснимков впервые разработана картографическая векторная модель геоэкологических процессов для территории водосборного бассейна реки Ишим в пределах Акмолинской и Северо-Казахстанской областей Республики Казахстан с учетом пространственно-временных особенностей антропогенного воздействия на данной территории и выделением районов с неблагоприятной геоэкологической ситуацией.

4. Разработаны рекомендации в области организации геоэкологического мониторинга: теоретическая база и методика для дальнейшего изучения территории с позиции использования ее в хозяйственном процессе для социально-экономического развития страны.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные результаты геоэкологической оценки могут быть использованы в качестве основы для решения проблемы рациональной хозяйственной деятельности в бассейне реки Ишим. Рекомендации в области организации геоэкологического мониторинга могут быть применены при проведении дальнейшего анализа и выявления причин высоких паводков, а также прогнозирования паводковых ситуаций в период весеннего половодья на равнинной территории Северного Казахстана. Разработанная автором картографическая модель геоэкологических процессов водосбора реки Ишим может быть использована для совершенствования системы национального геоэкологического мониторинга на исследуемой территории.

Результаты исследований использовались автором при разработке и чтении учебных курсов: «Основы гидрологии», «Физическая география Казахстана»,

«Интегрированное управление водными ресурсами», «Картография» в ходе педагогической практики на базе КГУ им. Ш. Уалиханова, г. Кокшетау, Республика Казахстан. Разработанный модуль «Методы дистанционного мониторинга с использованием ГИС-технологий» для учебного курса «Картография» внедрен в учебный план подготовки специалистов в области «Экология» и «География» данного вуза.

Методология и методы исследования. В качестве основных методов использовались: эколого-географический анализ для выявления особенностей водосборного бассейна реки Ишим, картографический метод и метод ГИС-технологий при составлении карт. При обработке материала использовались возможности визуальной дешифровки дистанционных снимков Landsat-7 и Landsat-8, а также дешифрование по методу расчета индекса NDVI. Для составления картографического материала и его анализа использованы космические снимки и топографические карты масштаба 1:2000. Геоэкологическая оценка территории основана на методиках определения уровней биологической продуктивности А. Г. Исаченко и общих рекомендациях комплексного геоэкологического картографирования Б. И. Кочурова.

Положения, выносимые на защиту:

1. Изменение гидрохимического состояния рек Ишимского речного бассейна является следствием неравномерного распределения внутригодового речного стока на водотоках бассейна под воздействием физико-географических (рельеф, климат) и антропогенных факторов (сельскохозяйственная деятельность, наличие крупных городов).

2. При отсутствии полноценной сети гидрологических постов и станций на водных объектах данного водосбора использование гидрологически корректной цифровой модели рельефа позволяет провести анализ постоянных и временных водотоков в бассейне реки Ишим и определить зоны затопления в период половодья.

3. На территории водосбора реки Ишим в пределах Северного Казахстана выделяются три типа районов, отличающиеся между собой степенью

благоприятности геоэкологической обстановки: район первого типа с высоким гидроэкологическим риском, район второго типа со средним уровнем гидроэкологического риска, район третьего типа с низким уровнем гидроэкологического риска.

Степень достоверности результатов проведенного исследования. Достоверность полученных результатов диссертационной работы подтверждается статистической обеспеченностью данными мониторинга за гидрологическим режимом и за загрязнением рек, официально опубликованных в печати Республиканским государственным предприятием «Казгидромет» Министерства энергетики Республики Казахстан (РГП «Казгидромет» МЭ РК), Институтом Географии Министерства образования и науки Республики Казахстан (ИГ МОН РК), Комитетом по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. Использованы апробированные методики дешифрования и интерпретации космических снимков методом расчета индекса NDVI.

Апробация результатов исследования. Результаты работы на всех этапах исследования были обсуждены на VII Всероссийской научной конференции с международным участием (Омск, 2017), конференции кафедры географии и методики обучения географии факультета естественнонаучного образования ОмГПУ (Омск, 2017), VI Международной научно-практической конференции географического факультета Московского педагогического государственного университета (Москва, 2018), I Международной научно-практической конференции «Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития», посвященной 100-летию советской геодезии и картографии (Омск, 2019), Международной научно-практической конференции «XLVIII международные научные чтения (памяти С. О. Костовича)» (Москва, 2019).

Личный вклад автора. Автору в рамках данной диссертационной работы принадлежит постановка цели, задач исследования и их реализация. Наиболее существенные результаты, полученные лично автором:

– автором диссертации проведен анализ и выделены геоэкологические особенности водосборного бассейна реки Ишим в пределах Северного

Казахстана, а также проанализированы гидрохимические показатели водных источников территории;

– на основании результатов дешифровки космических снимков проанализированы, картированы и сопоставлены зоны затопления в период весеннего половодья в среднем течении реки Ишим;

– с помощью инструментов ГИС-оболочки создан ряд картографических моделей, отражающих гидрологические и гидрометрические характеристики бассейна;

– составлена векторная геоэкологическая модель рельефа для территории водосборного бассейна реки Ишим, описывающая направления стекания весеннего склонового стока и отражающая начальные формы русловой сети;

– проведено районирование исследуемой территории с выделением районов по уровням геоэкологической благоприятности.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ, в том числе 2 – в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, 1 – в других научных журналах, 7 публикаций – в сборниках материалов международных и всероссийских научных и научно-практических конференций.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырёх глав основной части диссертации, заключения, списка литературы (131 наименование, из них 20 – на иностранных языках). Текст работы изложен на 124 страницах, иллюстрирован 35 рисунками и 13 таблицами.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю доктору географических наук, О. В. Мезенцевой, поставившему в свое время задачу и оказавшему значительную методическую помощь в ее выполнении. А также, заведующей кафедрой физической географии и методики обучения географии ФЕНО ОмГПУ к.г.н., доценту Азаровой Л. В. и всему коллективу кафедры.

1 Теоретические и методологические основы геоэкологического мониторинга и геоэкологического картографирования поверхностных вод бассейна реки Ишим (Северный Казахстан)

1.1 Теоретические основы организации геоэкологического мониторинга

В условиях возрастающей антропогенной нагрузки на все природные сферы все чаще формируются необратимые негативные последствия, которые требуют глубокого и всестороннего анализа, направленного на выявление проблем во взаимодействие человека и окружающей среды. Подобный анализ возможно осуществить в рамках различных научных дисциплин.

Для решения данной задачи отдельными службами организуются специальные наблюдения за состоянием окружающей природной среды и ее антропогенными изменениями, то есть осуществляется мониторинг. Полученная информация используется специалистами разного профиля для оценки и прогнозирования состояния окружающей среды, а также предупреждения потенциально неблагоприятных последствий.

Нарастающее разрушительное воздействие на природу в результате хозяйственной и иной деятельности человека вызывает повышенный интерес к изучению экологических проблем, к разработке научно-обоснованных мероприятий, направленных на рационализацию отношений общества и природы, которое нашло отражение в современных научных исследованиях в области мониторинга окружающей среды [22, 42].

С момента появления понятия мониторинга длительное время контролировались главным образом лишь те показатели, которые характеризовали загрязнение воздуха, вод и почв. Но для решения возникающих проблем и охраны окружающей природной среды только слежения за состоянием отдельных компонентов природы становилось недостаточно. Вскоре появилась необходимость в организации комплексного геоэкологического мониторинга, который учитывал бы взаимосвязи между отдельными природными

компонентами и их изменения под антропогенным воздействием. В отличие от экологического мониторинга, геоэкологический мониторинг позволяет получать всестороннюю информацию об актуальном состоянии окружающей среды, выявлять процессы ухудшения состояния геосистем, на основании собранных данных прогнозировать их будущее состояние и разрабатывать комплекс мер по управлению.

Ф. Е. Ануфриев в своих научных исследованиях [22] также указывает на то, что, геоэкологический мониторинг представляет собой информационную основу для огромного спектра ведения деятельности в области охраны окружающей среды, а полученные данные используются для проведения научных исследований, оценки состояния окружающей среды и принятия ряда управленческих решений.

В 1972 г. в Стокгольме американскими учеными Г. Уайтом и Т. Малоном была создана специальная комиссия Научного комитета по проблемам окружающей среды Международного совета научных союзов (СКОПЕ), перед членами которой впервые был озвучен термин мониторинг и озвучен ряд предложений в данной области. Г. Уайтом и Т. Малоном [37] в понятие экологического мониторинга вкладывали систематические наблюдения за состоянием окружающей среды, возможные изменения в связи с человеческой деятельностью, а также контроль таких изменений и проведение мероприятий по управлению окружающей средой.

Сам термин «мониторинг» был предложен американским ученым Р. Маном [12], который подразумевал под ним повторяющиеся наблюдения одного или более элементов окружающей среды в пространстве и во времени с определенными целями и в соответствии с заранее подготовленной программой.

В 1972 г. в Стокгольме состоялась конференция Индикация состояния окружающей среды ООН по проблемам окружающей среды, в программе которой рассматривались вопросы проведения экологического мониторинга [8, 53].

В отечественных работах Ю. А. Израэля [52, 54], Ф. Я. Ровинского [99], И. П. Герасимова [38, 39] и других исследователей представлены общие

вопросы мониторинга окружающей среды, обоснование и определение основных принципов и связанных с ними понятий.

Теоретические вопросы по проблемам мониторинга геосферы изложены в работах А. А. Бондаренко, Г. К. Бондарика, А. Г. Гамбурцева, Г. А. Голодковской, В. К. Епишина, А. Г. Емельянова, Ю. Ф. Захарова, В. А. Королева и других [117].

Несмотря на одновременное развитие, анализируя, можно выделить несколько отличающихся друг от друга концепций мониторинга, разработанных советскими учеными. Ю. А. Израэль [53] в своей концепции под мониторингом понимает систему наблюдений, оценку и прогноз изменений состояния окружающей природной среды. В опубликованных им трудах особое место уделяется прогнозу, а не только наблюдениям. Именно Ю. А. Израэль впервые ввел в определение термин «мониторинг окружающей среды». Став председателем секции «Мониторинг состояния биосферы» Научного совета по проблемам биосферы при Президиуме АН СССР, в 1975 г. Ю. А. Израэлем был сделан совместный доклад с И. П. Герасимовым, директором Института географии АНСССР, основной темой которого стали принципы и современные представления о состоянии биосферы [110].

В 1975 И. П. Герасимов [37] дает свое определение экологическому мониторингу как «системе наблюдений и контроля над всеми изменениями природной среды, в том числе вызванных хозяйственной человека, необходимой как источник разносторонней информации о современном состоянии природной среды, позволяющей выявить наиболее благоприятные в этом отношении районы, предупреждать возможные вредные изменения среды и разрабатывать научное прогнозы ее состояния в будущем». При этом, в своей концепции И. П. Герасимов высказывал опасения по поводу увеличивающейся антропогенной нагрузки, препятствующей стабильному функционированию геосистем различного назначения.

И. П. Герасимовым были выделены уровни (ступени) мониторинга, отличающиеся масштабами объектов, задач наблюдения и характеризуемыми показателями.

В 1982 г. И. П. Герасимов [38] дал новое определение геосистемного мониторинга. Теперь геосистемный (геоэкологический) мониторинг – это система целенаправленных наблюдений, организованных с целью получения конкретной информации необходимой для рационального использования и охраны природных экосистем, а также эффективного конструирования и обеспечения стабильного функционирования оптимальных геосистем различного хозяйственного значения. Отличались и цели проведения мониторинга.

Согласно мнению А. Г. Емельянова [47], геоэкологический (геосистемный) мониторинг должен давать оценку влияния на окружающую среду в ходе обычной антропогенной деятельности, которая обязательно включает в себя определенный вид взаимодействия с природой (градостроительство, сельское хозяйство, промышленность, энергетика, лесное хозяйство, рыболовство, коммунально-бытовая деятельность и т.д.). Этот вид мониторинга предполагает обязательную оценку взаимодействия человека и природы во всех направлениях и характеризует процесс привнесения и выноса из природной среды вещества и энергии.

По мнению И. И. Матвиенко [81] в основе проведения геоэкологического мониторинга лежит понятие экологического мониторинга, который имеет основополагающее значение для оценки окружающей среды и разработки инструментов управления действий по охране окружающей среды при антропогенном воздействии.

В настоящее время большинством исследователей под геоэкологическим мониторингом понимается информационная система наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды, главной целью которой является выделение антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов.

Основываясь на вышеуказанных мнениях разных исследователей, можно считать, что в системе мониторинга должны решаться две задачи:

1. Непрерывная оценка «комфортности» условий среды обитания человека и других биологических объектов.

2. Предоставление полученной в ходе наблюдений информации для целей составления прогноза, моделирования и принятия управленческих решений.

В Государственном докладе «О состоянии окружающей среды Российской Федерации в 1995 г. » [45] указано, что в процессе мониторинга окружающей среды решаются следующие задачи:

1. Организация единой системы сбора и обработки данных наблюдений.

2. Обеспечение достоверности и сопоставимости данных наблюдений на всех уровнях.

3. Организация хранения данных наблюдений, ведение специальных банков и баз экологических данных.

4. Оценка и прогноз состояния наблюдаемых объектов окружающей природной среды.

5. Информационное обеспечение органов власти и управления комплексной информацией о состоянии окружающей природной среды и природных ресурсах, а также населения информацией о проблемах обеспечения экологической безопасности.

Наиболее универсальную схему организации мониторинга, впервые представленную Ю. А. Израэлем, приводит В. Н. Майстренко [80]. Организация и проведение мониторинга окружающей среды по этой схеме включает в себя ряд конкретных блоков (рисунок 1).

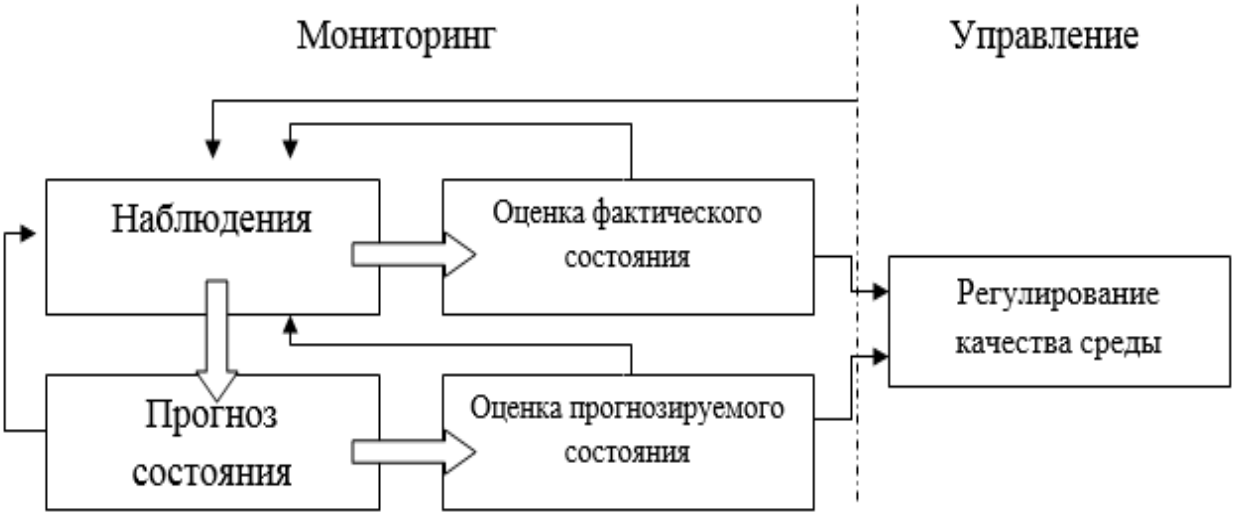

Рисунок 1 – Блок-схема системы мониторинга

Согласно рисунку 1, финальным блоком системы наблюдений (мониторинг) должно стать регулирование качества среды. Все остальные части имеют между собой тесную взаимосвязь.

Общие рекомендации к системе организации экологического мониторинга представлены в рядах российских работ Ю. А. Афанасьева [23], С. В. Белова [24], Л. Н. Бельдеева [25], А. Г. Ветошкина [30], Д. Б. Гелашвили [128], С. М. Говорушко [41], В. Т. Медведева [55], А. А. Касьяненко [62], А. Т. Трофимова [116]. Вышеуказанными авторами выделено, что системное представление объектов мониторинга выступает в качестве главного требования, после удовлетворения которого возможно анализировать и интерпретировать полученные данные.

Исходя из целей и задач мониторинга выделяются приоритеты при организации систем геоэкологического мониторинга. Например, приоритет государственных систем мониторинга в территориальном масштабе отдан городам, источникам питьевой воды и местам нерестилищ рыб; в отношении сред наблюдений первоочередного внимания заслуживают атмосферный воздух и вода пресных водоемов и др.

В научной литературе определены разные подходы к классификации мониторинга окружающей среды. Н. А. Ясаманов [131], исходя из пространственных уровней, выделяет три уровня мониторинга: глобальный, региональный и локальный.

В основе глобального (биосферного) мониторинга находится международное сотрудничество для оценки общего состояния биосферы в целом и прогноза изменений, а также принятия возможных решений.

В пределах отдельного региона со своими специфическими антропогенными воздействиями осуществляется региональный мониторинг. На данном уровне организуются наблюдения за состоянием экосистем крупных природно-территориальных комплексов (ПТК).

Локальный мониторинг основан на слежении за влиянием конкретных объектов хозяйственной деятельности на окружающую среду. Такой вид мониторинга организуется на небольшой территории района или города, водного

объекта, крупного предприятия и т.п. и осуществляется с помощью стационарных и передвижных постов.

В пределах отдельных промышленных предприятий и иных объектов хозяйственной деятельности распространен точечный (импактный) мониторинг отдельных источников загрязнения, который является максимально приближенным к источнику поступления в природную среду загрязняющих веществ.

В условиях минимального антропогенного воздействия, которое возможно в биосферных заповедниках с разными типами биомов, для отслеживания изменений организуется фоновый мониторинг.

Исходя из объектов наблюдения выделяют виды компонентного мониторинга (объектного мониторинга), которые могут быть самостоятельными или взаимосвязанными.

Ориентируясь на методы наблюдения, различают химический, физический, биологический и дистанционный мониторинг.

Существующие различные виды антропогенного воздействия на окружающую среду в условиях региональных особенностей территорий, природных комплексов и многообразия типов пространственных уровней, приводит к мнению, что организация и проведение геоэкологического мониторинга представляет собой сложную многоплановую проблему.

Главной задачей мониторинга вне зависимости от его уровня становится сбор и обработка объективной информации о состоянии природной среды для их дальнейшей оценки и прогноза. В качестве базы мониторинга выступает непрерывная фиксация изменчивости наблюдаемых компонентов, которые оцениваются с двух позиций: пространственной и временной, т. е. изменчивость рассматривается в пространственно-временных координатах. Кроме того, иерархическая организация живой природы должна учитываться при рассмотрении разных информационных уровней в процессе реализации геоэкологического мониторинга.

Таким образом, можно определить конкретные требования к содержанию и организации геоэкологического мониторинга:

1. Наблюдения должны иметь комплексный и системный характер, охватывать все природные объекты и воздействующие на них внешние факторы, принимать в внимание многообразие природных процессов.

2. Слежение за состоянием природной среды должно быть систематичным и определятся необходимой периодичностью с учетом наблюдаемого компонента.

3. Сбор данных о различных компонентах окружающей среды для своевременной оценки и прогноза должно быть оперативным и объективным.

4. Репрезентативность объектов мониторинговых наблюдений. При выборе объектов необходимо учитывать их типичность (а, в ряде случаев, наоборот − уникальность), а также особенности физико-географических условий, направленность и степень антропогенных воздействий на всех иерархических уровнях организации природы.

5. Одновременность наблюдений нарушенных и эталонных территорий.

1.2 Современные методы геоэкологических исследований, используемые в геоэкологическом мониторинге

Геоэкологические исследования, проводимые при мониторинге, основываются на понятийной базе комплексных и отраслевых физико-географических дисциплин. При этом, активно применяется экологический подход. При проведении физико-геоэкологических исследований в качестве объекта выступают природные и природно-антропогенные геосистемы (в данном исследовании – водосборный бассейн р. Ишим), свойства которых изучаются с позиций оценки качества окружающей среды как среды обитания и жизнедеятельности человека.

Многообразие применяемых физико-географических методов исследований в геоэкологии определяется сложностью изучаемых объектов природных и природно-антропогенных геосистем и требует их определенной классификации.

Имеющиеся классификации физико-географических методов у разных авторов имеют значительные отличия между собой и опираются на различные критерии при выделения классификационных групп.

В качестве основных методов автором выбран ряд методов по критерию универсальности Ф. Н. Милькова [86], различающихся в зависимости от этапа исследования: моделирование (образно-знаковые модели), геоэкологический метод, математические методы, сравнительно-географический, картографический (сравнительно-описательный и литературно-картографический метод), метод дистанционного зондирования, ГИС-метод (таблица 1).

Таблица 1 – Методы исследований, используемые в работе

Используемый метод	Этап исследования
- геоэкологическое моделирование (образно-знаковые модели) - сравнительно-географический - картографический	составление подробной физико-географической характеристики водосборного бассейна реки Ишим на территории Северного Казахстана и выделения геоэкологических факторов его формирования
- картографический - метод дистанционного зондирования - ГИС-метод	обработка результатов дистанционных исследований, разработка карт
- геоэкологический - сравнительно-географический - картографический	оценка качества поверхностных вод по критериям
- моделирование (образно-знаковые модели) - картографический	обеспечение тематического картографического сопровождения
- моделирование (образно-знаковые модели) - геоэкологический - картографический	разработка инструментов регулирования геоэкологической обстановки региона

Геоэкологический метод основан на изучение природных и природно-антропогенных геосистем с позиций гуманитарно-экологического подхода, в оценке окружающей среды как среды жизнедеятельности человека. Для данного метода характерен качественно новый уровень синтеза знаний физико-географических и экономико-географических наук, экологического и системного подходов, что делает выбранный метод отличительным от других [114].

На всех этапах исследования помимо перечисленных методов, использованы общенаучные методы.

В качестве методов, результаты которых являются наиболее ценными для исследования, определены метод дистанционного зондирования и картографический метод.

Современные ГИС, согласно В. В. Хромых [124], позволяют обрабатывать и использовать данные в зависимости от потребностей и обстоятельств пользователя, что приводит к возможности более широкого пространственного анализа исследуемого объекта.

Однако, оценка роли и влияния поверхностных вод и водосборов в региональном и глобальном масштабах требует возможности хорошего оценивания их площади и формы. Повышение масштаба до крупных регионов, за исключением ограниченных районов, где имеются точные карты, пока зависит от статистических оценок количества и размера объекта, что объясняет, почему оценки могут быть не точными. Для решения данной проблемы, в работе использована процедура, которая позволяет отображать фактическое количество, размер и распределение поверхностных водных объектов – использование данных космической съемки. В качестве входных данных использовались мозаики Landsat-7 и Landsat-8 (ETM+), покрывающие земную поверхность.

Выбор данного метода обусловлен тем, что данные дистанционного зондирования играют неотъемлемую роль в восстановлении новейшей истории поверхности суши, а также в прогнозировании опасностей из-за наводнений. Спутниковые данные направлены на удовлетворение разнообразных требований к наблюдению, которые обусловленные необходимостью определения поверхностных, подземных и гидрологических характеристик, включая разграничение наводнений для оценки возможного риска. В совокупности с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с геоинформационными системами (ГИС) возможно также изучение проблем общего природопользования в долинах речных систем [123].

Выявление территорий, находящихся в опасности из-за поднимающегося уровня воды становится возможным при применении компьютерных алгоритмов обработки данных посредством использования ГИС для автоматического определения границы воды и суши, визуализации площадей затопленных земель. В последние годы в Северном Казахстане, как и во многих странах, отмечается тенденция ускорения застройки прибрежных территорий – пойм и прирусловых террас, при условии, что большинство населенных пунктов традиционно итак расположено вблизи водных объектов. Поэтому, выделяется одна из главных особенностей космического мониторинга, проявляющаяся в возможности совмещения оперативной информации о состоянии местности и цифровых картографических слоев ГИС, содержащих данные о планировании городского строительства, проектировании защитных сооружений, для оценки риска возможного затопления [51].

Изучив опыт отечественных ученых в данном направлении (Т. А. Трифонов [115], Б. В. Виноградов [31]), а также зарубежные исследования P. M. Atkinson [2], N. B. Chang [4], C. Verpoorter [19], определено, что широкое распространение в данной области получило использование многоканальных и многоцелевых датчиков с высоким разрешением, включая всепогодное оборудование. Параллельно с этим в ряде исследований по-прежнему используются неоперативные космические системы с многоспектральными фотокамерами и панхроматическим фотооборудованием, которые обеспечивают высокое разрешение и геометрическую точность. В условиях облачности, зондирование в микроволновом диапазоне имеет ряд преимуществ, позволяя регистрировать излучение сквозь облака, при этом в миллиметровом и сантиметровом диапазонах необходимо учитывать влияние атмосферы, но такой необходимости нет в дециметровом диапазоне.

Обладая достаточно высоким качеством изображения, космические снимки тем не менее имеют недостаток: съемка поверхности территории выполняется не систематически. В результате, пока не обеспечивается регулярное покрытие территории таким видом съемки именно из-за эпизодичности съемок и

трудностей, связанных с высокой облачностью на исследуемом участке. Так, для отдельных участков исследуемой территории бассейна р. Ишим периодичность съемки составила 16 дней. Это создает существенные проблемы при мониторинге такого опасного гидрометеорологического явления как половодье на водосборах равнинных рек умеренного пояса, где увеличение количества воды обычно связано с быстрым таянием снега при сформированном временном водоупоре из сезонно мерзлых грунтов в Северном Казахстане. Ситуация с затоплениями понижений рельефа и плоских водоразделов наиболее наглядно проявляется в отдельные годы с дружным снеготаянием после многоснежных зим при большой глубине промерзания грунтов [20, 49].

Длительность половодья колеблется в среднем от 10 до 30 дней. Тем не менее, имеющиеся снимки позволяют увидеть реальную картину увеличения площади водной поверхности, а также, используя снимки за более ранний период, проанализировать площадь затопленных территорий на склонах долин и водоразделах.

При проведении геоэкологического мониторинга реки Ишим на территории Акмолинской и Северо-Казахстанской областей были использованы снимки, полученные со спутника Landsat-7 и Landsat-8, размещенные в архиве Геологической службы США. Спутник Landsat запущен на орбиту в 1999 году, поэтому объем спутниковых данных представлен снимками за 29 лет, но с периодичностью съемки [77].

Космические снимки обладают свойствами большой обзорности и, в отличие от аэроснимков, охватывают значительно большую площадь. Согласно данным относительно характеристики спутника, представленным на официальном сайте Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства США [97], данный спутник находится на солнечно-синхронной орбите высотой около 700 км. Съёмку земной поверхности в шести каналах с разрешением 30 м, в одном инфракрасном канале с разрешением 60 м, и одновременную панхроматическую съёмку с разрешением 15 м, при ширине

полосы обзора для всех каналов около 185 км обеспечивает установленный на спутнике усовершенствованный тематический картограф (ETM+) [127].

Так как многозональная съемка ведется многие годы, существует определенный накопленный опыт и большой объем эмпирических данных, представленных в мировой литературе. Поэтому, для установления оптимального соотношения яркости в различных зонах спектра, соответствующих растительности, обнаженной почве, водным поверхностям, урбанизированным территориям и другим распространенным типам ландшафта, необходимым для исследования, за основу взята библиотека спектров, представленная на официальном сайте Landsat [97] (таблица 2).

Таблица 2 – Основные характеристики спектральных каналов (для Landsat-8)

Номер канала	Название
1	Голубой
2	Зеленый
3	Красный
4	Ближний инфракрасный
5	Средний (коротковолновый) инфракрасный
6	Длинноволновый инфракрасный (тепловой)
7	Средний (коротковолновый) инфракрасный
8	Панхроматический (4,3,2)

Согласно таблице 2, для дешифрования космических снимков Landsat-7 с целью получения данных об изменении площади водной поверхности (в частности рек) наиболее подходит комбинация каналов 7-6-4 или 7-4-2.

Разница отображения полученных снимков после объединения каналов представлена на рисунке 2 и 3.

Объединение каналов в комбинации 7-6-4 (рисунок 2) охватывают видимую человеческим глазом часть спектра, все вместе представляют более реалистичное и привычное изображение исследуемого ландшафта.

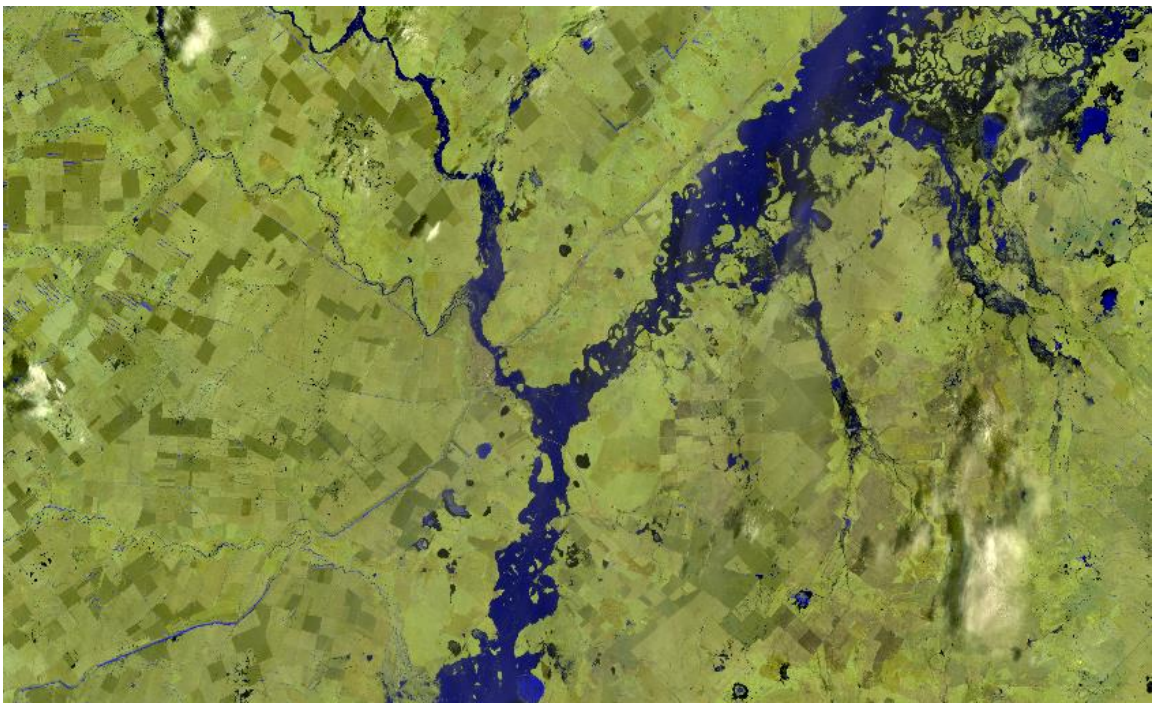

Рисунок 2 – Среднее течение реки Ишим после объединения каналов в комбинации 7-6-4. Дата съемки – 19 апреля 2017 г.

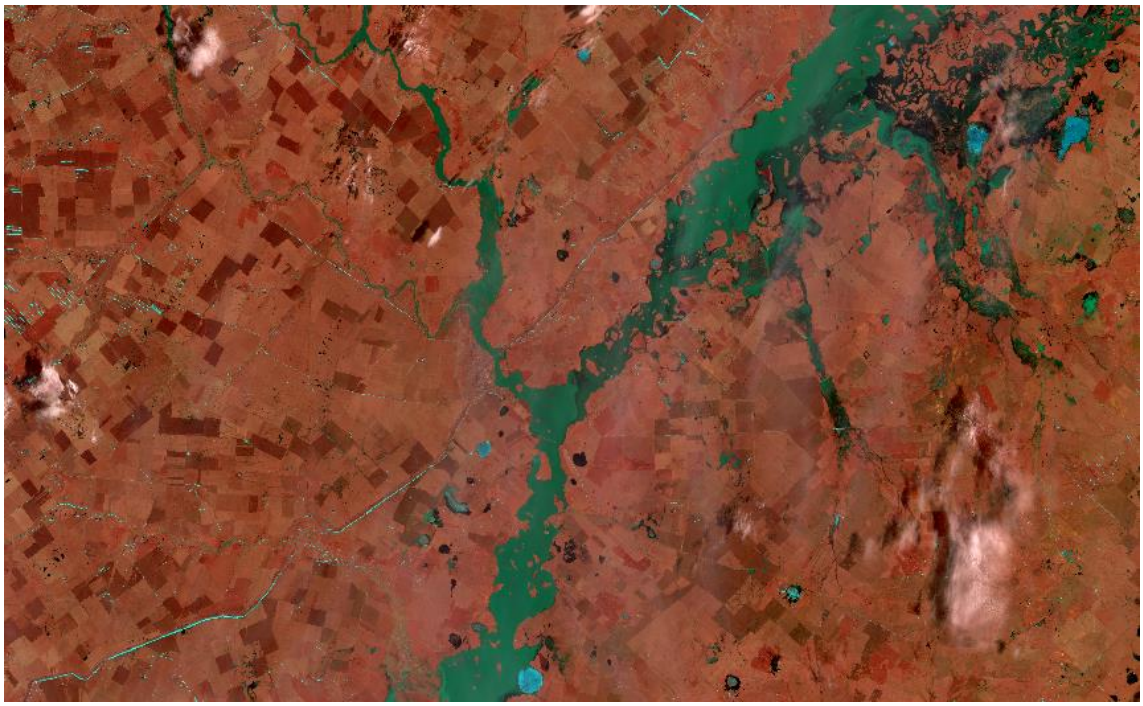

Рисунок 3 – Среднее течение реки Ишим после объединения каналов в комбинации 7-4-2. Дата съемки – 19 апреля 2017 г.

Каждый канал обладает уникальным набором характеристик, которые обуславливают его выбор при объединении:

- 4 канал (ближний инфракрасный) позволяет различать растительное многообразие и чаще всего используется при создании контуров водных объектов и разделения почв на сухие и влажные, т.к. вода сильно поглощает ближние инфракрасные волны;

- 6 канал (длинноволновый инфракрасный или тепловой) подходит как для дневного, так и ночного использования;

- 7 канал (средний, или коротковолновый инфракрасный) совпадает с полосой поглощения излучения гидроминералами (глинистые сланцы, некоторые оксиды и сульфаты), благодаря чему они выглядят темными.

В настоящее время для анализа космических снимков среди множества методов широкое применение получил метод классификации объектов изображения с помощью ГИС. Но выразив эти соотношения в виде линейных комбинаций различных зон, можно получить так называемые индексы, например, нормализованный вегетационный индекс (NDVI), который показывает наличие и состояние растительности по соотношению отраженных энергий в 2 спектральных каналах. Именно отличающиеся спектральные свойства хлорофилла в разных диапазонах позволяют установить эту зависимость [14].

Однако, для исследования водных объектов водосборного бассейна реки Ишим, в том числе и в период половодья, несмотря на всю доступность и универсальность данных полученных посредством космической съемки, автором определены некоторые недостатки, главным из которых являются отсутствие или плохое качество снимков данной зоны на момент половодья (периодичность съемки территории – до 16 дней) и высокая облачность, сопровождающая периоды половодья. Поэтому, для проведения качественного мониторинга необходима интеграция информации со снимков с данными измерений гидролого-климатических и морфометрических показателей на месте: осадков, высоты рек, влажности почвы, изменения растительности, обеспечивая критические показатели для изучаемых наводнений.

При проведении исследования рек на территории водосбора р. Ишим в Северном Казахстане отбор космических снимков проходил по следующим

критериям: обязательный захват долины водного объекта на сцене, отсутствие облаков или облачность до 20 %. Наиболее пригодными для дешифрования и дальнейшего использования в исследовании стали только снимки апреля 2016 и 2017 года, которые удовлетворяют всем вышеуказанным критериям.

На основании данных, полученных после дешифрования космических снимков, разработаны карты, отражающие различные процессы и состояние отдельных территорий.

По мнению Б. И. Кочурова [74], картографирование выступает в качестве важнейшего средства организации пространственного анализа при проведении любых геоэкологических исследований. Основой для этого направления выступает ландшафтная структура исследуемой территории, представленная совокупностью природных и природно-антропогенных геосистем.

Поэтому, закономерным завершением геоэкологического мониторинга поверхностных вод Северного Казахстана, на примере р. Ишим в данном исследовании стало создание ряда геоэкологических карт. Критерии и показатели, на основании которых составлены карты, соответствуют экологическим требованиям, предъявляемым человеком к природной среде, т.е., разработанные карты имеют антропоцентрический смысл.

Для решения задач, поставленных в ходе геоэкологического картографирования, использована совокупность географических, экологических и других методов исследования, которые применяются при изучении геоэкосоциосистемы в целом.

По мнению исследователей Л. Г. Руденко и А. И. Бочковской [104] геоэкологическое картографирование появилось на основе картографирования природопользования и охраны окружающей среды.

Уже в 60-х годов XX века появились карты природопользования, которые разрабатывались в современном понимании. Сотрудниками Отделения географии АН УССР были представлены первые публикации в данном направлении картографии [50].

Позже, в 1989 г. Б. И. Кочуров представил комплексную экологическую карту «Карта наиболее острых экологических ситуаций СССР» масштаба 1 : 8 000 000, которая стала важнейшим событием этого времени в развитие экологического картографирования. В результате, разработка экологических карт выделилась в отдельную отрасль тематического картографирования. Среди научного сообщества данная работа вызвала огромный интерес и была опубликована в научных и популярных изданиях конца 80-х начала 90-х годов XX века.

С середины 90-х гг. XX в. в области регионального атласного картографирования отмечается всплеск разработок различных теоретических концепций, принципов и методов. Различаясь в деталях, тем не менее, предлагали похожую концепцию атласов, состоящих из нескольких частей (блоков), посвященных природным и антропогенным факторам, влияющим на экологическую обстановку, состоянию компонентов окружающей среды, здоровью населения. Акцент был сделан и в области проведения интегральной оценки экологической ситуации.

В настоящее время эколого-географическое картографирование выступает как сформировавшееся целостное направление в тематическом картографировании, которое развивается, основываясь на базе современных научных концепций в природопользовании и теоретико-методологических положений экологических исследований, оценки, анализа изменений и охраны окружающей среды в результате хозяйственной деятельности человека, применяя математические методы и геоинформационные технологии [103].

В области комплексного экологического картографирования существует несколько научных школ, которые на базе собственных концепций разработали разнообразные картографические произведения. В данном направлении проводят работы сотрудники Института водных и экологических проблем СО РАН г. Барнаул [100, 101, 102]. Также, можно выделить школу экодиагностики и экологического картографирования, развивающуюся в Институте географии РАН. Научными сотрудниками данной школы была создана серия экологических карт разного

масштаба, охватывающих территорию всей России, территории отдельных ее регионов, а также других стран.

Выделяется и центр экологического картографирования географического факультета МГУ. В крупных научных центрах были сформированы региональные научные школы, успешно осуществляющие свою деятельность в данном направлении.

В зарубежной литературе в области геоэкологического картографирования проводили исследования D. Barsch, R. Mäusbacher (1979), G. Mezősi, F. Kevei (1993) и другие.

В Институте географии РАН была разработана следующая классификация геоэкологических карт [61]:

- карты воздействий на природную среду и их последствий;
- карты оценки состояния природной среды;
- карты прогноза состояний природной среды и оценки ее прогнозируемого состояния;
- общие эколого-географические карты;
- карты существующей системы природоохранных мероприятий, природоохранных организаций, природоохранных технических устройств;
- комплексные карты охраны природы.

А. М. Берлянт [26], выделил следующие группы, разработав собственную классификацию геоэкологических карт:

- карты факторов, воздействующих на окружающую среду в целом и на отдельные ее компоненты;
- карты состояния окружающей среды в целом и ее компонентов;
- карты результатов и последствий воздействия на среду;
- карты условий жизни населения;
- карты защиты среды и обеспечения экологической безопасности.

Так как исходная информация, используемая в целях экологического картографирования, чаще всего бывает весьма неоднородна для различных территорий, а также отображаемых объектов и разных аспектов их экологической

характеристики, Е. А. Божилиной [27] также была разработана классификация источников экологической информации.

Очевидно, что в геоэкологическом картографировании основополагающее значение имеют картографические источники, к которым относятся топографические и обзорные карты, тематические карты и атласы, материалы аэрокосмических съемок и их обработки.

Основные направления применения материалов дистанционного зондирования в картографировании в данном исследовании – выявление структуры землепользования, в частности земель сельскохозяйственного назначения и застроенные участки.

Выделение видов использования земель по космическим снимкам производится преимущественно по прямым дешифровочным признакам: различиям в размерах и форме объектов, структуре их изображения и фототона с учетом соседства с теми или иными объектами.

Среди четырех категорий использования земель, принятых в системе эколого-географических исследований (неиспользуемые, используемые как естественные угодья, возделываемые и застроенные), наиболее четко дешифрируются две последние, в основном благодаря четким очертаниям и правильным геометрическим формам.

Согласно В. П. Савиных [105], сельскохозяйственные поля и сады выделяются на изображении резкими угловатыми очертаниями со сравнительно ровным фототоном внутри контура, что делает их определение достаточно простым.

Значительный вклад в развитие современного геоэкологического картографирования и разработку карт России внес А. Г. Исаченко (1997, 2003). В своей работе он использовал ландшафтный подход при составлении геоэкологических карт. Данный подход использован при составлении ряда геоэкологических карт в данном исследовании.

1.3 Анализ существующих способов организации геоэкологического мониторинга поверхностных вод

Наблюдения за состоянием окружающей природной среды начались давно. Результаты таких наблюдений необходимы человеку для определения условий обитания, организации хозяйства, а также разработки комплекса мер по предотвращению неблагоприятных воздействий на жизнь людей и т. д.

На сегодняшний день, приоритеты мониторинга смещаются не столько к сбору информации о фактическом состоянии окружающей среды, сколько к созданию прогнозов возможных изменений под воздействием антропогенной деятельности [76].

В качестве природного ресурса для удовлетворения жизненных потребностей человека вода имеет огромное значение. Используя воду во всех отраслях хозяйственной деятельности, на сегодняшний день проблема пресной воды приобретает все большую остроту. Д. А. Мидоренко [85] в своей работе приводит данные Генеральной Ассамблеи ООН о том, что более миллиарда жителей Земли испытывает серьезный недостаток качественной воды, необходимой для удовлетворения физических и хозяйственных нужд. Согласно этим данным, для поддержания жизненных функций организма человеку ежесуточно необходимо около 2 литров воды. Житель же современного благоустроенного города в сутки расходует до 1000 литров. При этом, с развитием человечества потребление воды продолжает увеличиваться с каждым днем. Поэтому, одним из актуальных направлений геоэкологического мониторинга на сегодня стало наблюдение за состоянием поверхностных водных источников.

Создание всеобъемлющей для территории страны и объектам наблюдения системы геоэкологического мониторинга поверхностных вод, представляет собой серьезную и сложную в решение проблему. В своей статье С. А. Сладкопевцев [108] указывает, что «рациональная и выполнимая система должна иметь жесткие, необходимые и достаточные, ограничения, основанные на строгом учете

организационных, экономических и правовых предпосылок». Для решения этой проблемы необходимо создание детального природно-экологического портрета страны, основанного на глубоком анализе уже имеющихся карт дифференциации территории страны по масштабам и видам антропогенного воздействия на среду.

В результате создания такого «портрета» будут выделены территории, как с благополучными экологическими обстановками, где системы геоэкологического мониторинга могут быть в значительной степени разреженными, и в которых будет достаточно наличие своевременной фиксации локальных очагов загрязнения или нарушенности, так и участки с менее благополучной экологической обстановкой, требующие системного наблюдения с целью дальнейшего управления качеством окружающей среды.

Согласно Водному кодексу Республики Казахстан от 9 июля 2003 года [35], государственный мониторинг водных объектов РК представляет собой систему регулярных наблюдений за гидрологическими, гидрогеологическими, гидрогеохимическими, санитарно-химическими, микробиологическими, паразитологическими, радиологическими и токсикологическими показателями их состояния, сбор, обработку и передачу полученной информации в целях своевременного выявления негативных процессов, оценки и прогнозирования их развития, выработку рекомендаций по предотвращению вредных последствий и определению степени эффективности осуществляемых водохозяйственных мероприятий.

При организации геоэкологического мониторинга поверхностных вод, оформленный водный реестр имеет государственный статус и содержит в себе исходные данные о водном объекте и результаты наблюдений за количеством и качеством воды.

В него включены данные о бассейновых округах, речных бассейнах, водохозяйственных участках, водных объектах в границах речных бассейнов и его физико-географических характеристиках, о водоохранных зонах и прибрежных защитных полосах, о характере использования водных объектов, включая наличие гидротехнических и других сооружений на водных объектах, а

также документы юридического плана, отражающие права пользования или собственности в отношении водного объекта [122].

Качественные мониторинговые данные о состоянии поверхностных вод принципиально важны и для гидротехнической практики и проведения исследований. Но, методология геоэкологического мониторинга водных объектов по Л. К. Трубиной [118] должна включать ряд конкретных взаимосвязанных видов работ:

- первичное изучение геоэкологических особенностей водных объектов по имеющимся материалам (архивы, карты, статистические данные) с привлечением материалов дистанционного зондирования;

- определение приоритетных объектов наблюдения, выбор и обоснование критериев геоэкологической оценки и установление методов сбора данных, оптимальных для проведения мониторинга водных объектов на исследуемой территории;

- обработка полученных данных (лабораторные анализы проб, статистическая обработка обследований, дешифровка и интерпретация материалов дистанционного зондирования);

- обработка полученных результатов с помощью информационных технологий;

- анализ интегрированной информации и получение результатов;

- геоэкологическая оценка современного состояния водных объектов и исследуемой территории;

- прогнозирование возможных изменений природной среды.

Каждый из указанных видов работ включает широкий комплекс уникальных методов и приемов, определяемых в зависимости от типа территории, вида и степени человеческого воздействия, а также оснащенности материальной базы соответствующих организаций и предприятий [118].

Учет геоэкологических особенностей гидрографических районов являются необходимым условием при проведении мониторинга и разработки схем охраны водных объектов и их комплексного использования. Согласно ГОСТ 17.1.1.02-77

[44], наиболее крупной гидрографической единицей, как правило, является бассейновый округ, состоящий из главного речного бассейна и бассейна реки, впадающей в главную реку.

G. Bartram [3] в своей работе, посвященной мониторингу водных ресурсов, указывает на то, чтобы цели и задачи мониторинга водных объектов были четко определены и зафиксированы.

А. М. Владимиров [34] в качестве основных задач при мониторинге водных объектов выделяет систематические наблюдения за количеством и качеством воды, сбор, обработка и хранение полученных данных мониторинга, внесение информации в государственный водный реестр и оценку всех показателей состояния водных объектов и прогноз возможных изменений.

Обязательным условием при организации мониторинга в пунктах наблюдения является следование основным принципам:

1. Проводимые наблюдения должны быть систематичны и комплексны.

2. Сроки проведения наблюдений должны соответствовать характеру гидрологических ситуаций.

3. Для всех пунктов наблюдения должны использоваться единые установленные методы определения качества воды.

Соответствие этим принципам возможно лишь при установлении программ контроля по всем соответствующим показателям и периодичностью проведения контроля.

Выбор местоположения пунктов контроля представляет первичный этап организации мониторинга. Как правило, название пункта контроля дается в соответствии с названием какого-либо постоянного географического ориентира для конкретного водного объекта.

Пункты контроля организуются главным образом на водных объектах, которые имеют большое значение для хозяйственной деятельности, а также подверженных высокому уровню антропогенного воздействия.

В Методических указаниях по принципам организации системы наблюдений и контроля за качеством воды водоемов и водотоков на сети

Госкомгидромета в рамках ОГСНК [84] выделяют 4 категории пунктов наблюдений за качеством воды водоемов и водотоков, отличия между которыми определяются частотой и детальностью программ наблюдений. Назначение и расположение пунктов контроля определяют правила наблюдений. Пункты первой категории располагают на средних и больших водоемах и водотоках, имеющих важное народнохозяйственное значение. Пункты второй категории устраивают в районах городов с населением от 0,5 до 1 млн. человек, в местах нереста и зимовья ценных видов промысловых рыб, в местах организованного сброса дренажных сточных вод с орошаемых территорий и промышленных сточных вод. Пункты второй категории также устанавливаются при пересечении реками Государственной границы и в районах со средним уровнем загрязненности воды. В районах городов, где население доходит до 500 тыс. человек, в устьях загрязненных притоков больших рек и водоемов, а также на замыкающих участках больших и средних рек и в районах организованного сброса сточных вод организуются пункты третьей категории. Пункты четвертой категории устанавливают на незагрязненных участках водоемов и водотоков – на эталонных территориях государственных заповедников и национальных парков.

В настоящее время водные ресурсы Ишимского бассейна в пределах Северного Казахстана оцениваются по наблюдениям на следующих постах РГП «Казгидромет» Министерства энергетики Республики Казахстан (рисунок 4):

Наименьшее количество гидропостов расположено в среднем течении р. Ишим от г. Нур-Султан до г. Державинск. Отсутствуют гидропосты и на большинстве притоков реки. Из 24 выделенных гидропостов, из них 18 – гидропосты 1-го разряда (ГП-1), которые ведут полный объем наблюдений, 3 расположены на озерах и водохранилищах (ОГП-3), 3 гидропоста 2-го разряда (ГП-2), работающие по сокращенной программе.

Ввиду того, что не все посты действуют круглогодично, появляется существенная проблема для мониторинга поверхностных вод.

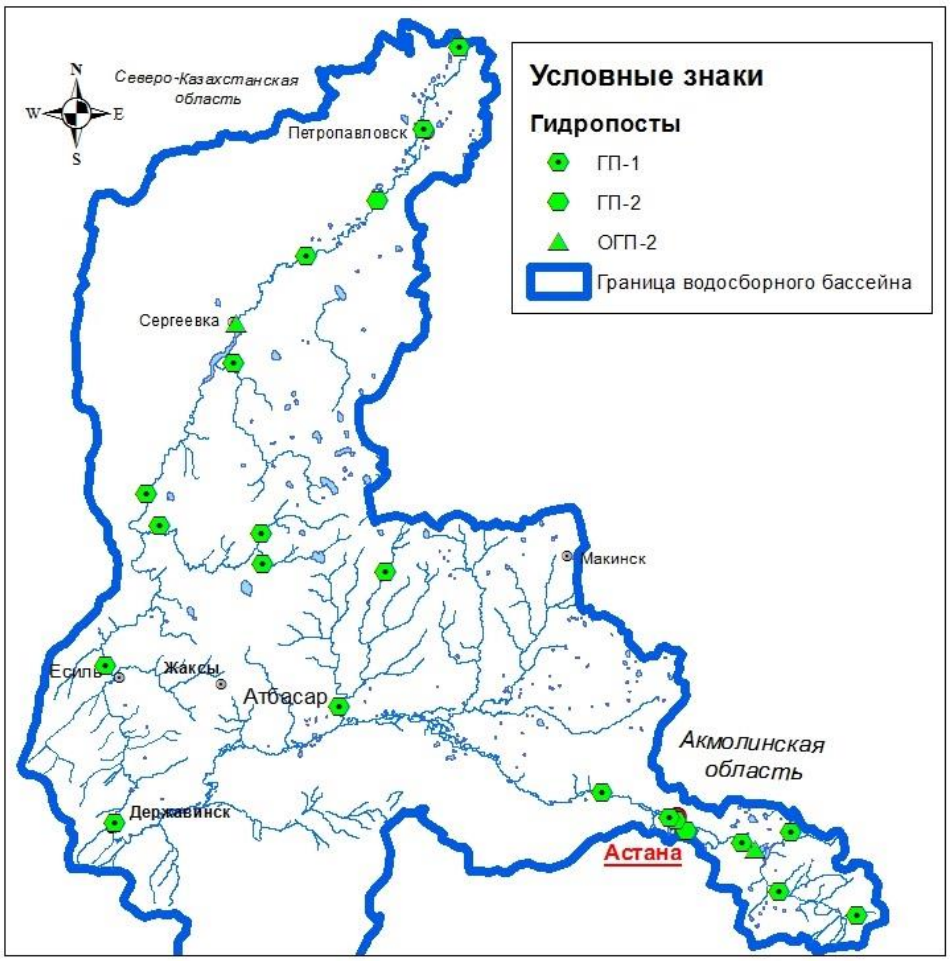

Рисунок 4 – Действующие гидропосты на территории Ишимского бассейна в Северном Казахстане

Передача водных ресурсов р. Ишим в Российскую Федерацию осуществляется на границе государств в соответствии с утвержденным Протоколом о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов, координации водохозяйственной деятельности в бассейне р. Ишим. Контроль качества воды при этом осуществляется лабораториями экологических служб по двум створам: с. Долматово на территории Республики Казахстан и с. Ильинка на территории Российской федерации. В пунктах контроля организуются один или несколько створов наблюдений (в данном исследовании приводятся по одному створу на пункт контроля). На основании ряда факторов (гидрометеорологические и морфологические особенности водотока, расположение источников загрязнения, количество и качество сбрасываемых сточных вод и др.) устанавливается местоположение створов, а

также выбирается определенная программа наблюдений за качеством воды, которая отличается периодичность проведения контроля по конкретным показателям [119].

Выбор программы контроля зависит от ряда конкретных факторов, таких как целевое использование водного объекта, состав сбрасываемых сточных вод и запрашиваемых потребителем данных. В обязательную программу наблюдения за качеством поверхностных вод по гидрохимическим и гидрологическим показателям входит определение ряда параметров (таблица 3) [119].

Таблица 3 – Параметры, определение которых предусмотрено обязательной программой наблюдений

Параметры	Единицы измерения
Расход воды (на водотоках)	$М^3$ / с
Уровень воды (на водоемах)	м
Хлориды (Cl-)	Мг / $дм^3$
Сульфаты (SO4 2-)	Мг / $дм^3$
Гидрокарбонаты (HCO3 -)	Мг / $дм^3$
Кальций (Ca2+)	Мг / $дм^3$
Магний (Mg2+)	Мг / $дм^3$
Натрий (Na+)	Мг / $дм^3$
Калий (K+)	Мг / $дм^3$
Аммонийный азот (NH4 +)	Мг / $дм^3$
Нитритный азот (NO2 -)	Мг / $дм^3$
Тяжелые металлы	Мг / $дм^3$

Основываясь на вышеуказанных параметрах наблюдения за качеством поверхностных вод, Е. Г. Язиков [129] выделяет следующие критерии оценки состояния поверхностных вод:

1. Санитарно-гигиенические показатели, которые определяются исходя из требований к экологической безопасности населения. К ним следует отнести нормы предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в воде, а также нормы предельно допустимых выбросов (ПДВ) в и водоемы.

2. Экологические критерии, рассматривающиеся как мера человеческого воздействия на экосистемы и ландшафты, при которой их основные функционально-структурные характеристики не выходят за пределы

естественных изменений. Их использование направлено на определение области и границ допустимого состояния природных систем и дозволенного воздействия на них со стороны человека.

3. Гидрологические показатели, включающие в себя расход воды и уровень воды в водоемах.

Таким образом, одной из важнейших функций геоэкологического мониторинга поверхностных вод становится оценка состояния и изменения водных объектов. Оценка предполагает сопоставление фактического или прогнозируемого состояния с заранее определенными критериями и выявление существующих проблем, а в качестве критериев возможно использование показателей исходного состояния наблюдаемых объектов, фоновые характеристики, характеризующие меру возможного воздействия человека на водные объекты.

1.4 Результаты анализа существующих методов и концепций геоэкологического мониторинга

В результате анализа существующих методов и концепций в области геоэкологического мониторинга и геоэкологической оценки, можно выделить:

1. В современной науке теоретические аспекты проблемы геоэкологического мониторинга представлены двумя наиболее распространенными концепциями:

– концепция И. П. Герасимова, согласно которой мониторинг включает в себя два блока. Первый блок – биоэкологический мониторинг, задачей которого является определение степени влияния среды на состояние здоровья людей. Блок геоэкологического мониторинга – наблюдение за изменением природных экосистем и преобразование их в природнотехнические;

– концепция Ю. А. Израэля. Мониторинг здесь выступает в качестве информационной системы по обнаружению антропогенных изменений природной среды на фоне ее естественных колебаний. В задачи этой системы входят слежение за факторами воздействия на среду, ее состоянием и изменениями и прогноз

состояния биосферы. Также, в нее включена оценка изменений этого состояния и его тенденций. Состояние окружающей среды оценивается по отдельным аналитическим или интегральным синтетическим показателям, используя в качестве критериев ПДК или экологически допустимые концентрации.

Исходя из вышеуказанных описаний концепций, а также целей исследования, в данной работе геоэкологический мониторинг поверхностных вод будет строиться на положениях концепции Ю. А. Израэля.

Согласно пространственным уровням, осуществляемый мониторинг будет являться региональным (территория бассейна р. Ишим), по используемым методам наблюдения мониторинг будет проведен химический и дистанционный.

2. Для проведения геоэкологического исследования отобраны наиболее распространенные методы: геоэкологический анализ, моделирование, сравнительно-географический, картографический. В качестве методов, результаты которых являются наиболее ценными для данного исследования, определены метод дистанционного зондирования и картографический метод.

Для получения результатов космической съемки были использованы снимки, полученные со спутника Landsat-7, 8, размещенные в архиве Геологической службы США. Для дешифрования космических снимков Landsat-7, 8 с целью получения данных об изменении площади водной поверхности (в частности рек) наиболее подходит комбинация каналов 7-6-4 или 7-4-2. Вся обработка полученных данных осуществляется в ГИС ArcGIS 10.4.

3. Исходя из целей мониторинга, определены группы критериев оценки состояния поверхностных вод, включающие санитарно-гигиенические показатели, экологические критерии, некоторые гидрологические показатели для отдельных водных объектов.

2 Геоэкологические особенности строения водосборного бассейна реки Ишим в пределах Акмолинской и Северо-Казахстанской областей Республики Казахстан

2.1 Особенности географического положения и рельефа, влияющие на строение водосбора реки Ишим

Северная часть бассейна реки Ишим занята частью Западно-Сибирской равнины – Северо-Казахстанской равниной (высота от 100 до 200 м над уровнем моря). На значительной части территории бассейна простирается Казахский мелкосопочник – Сарыарка. Для него характерны пологохолмистые равнины (от 250 до 400 м над уровнем моря) и отдельные низкогорные массивы: Кокшетау, Улытау, Ерементау (рисунок 5).

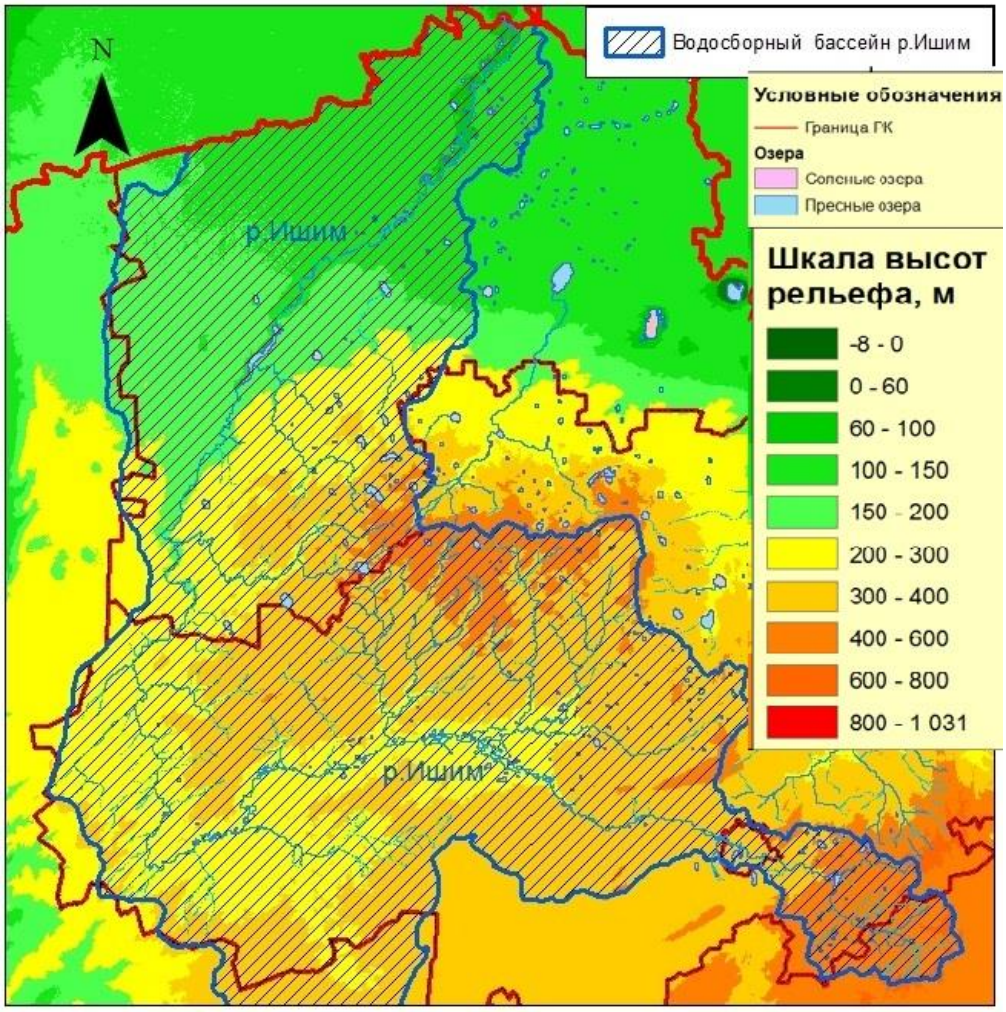

Рисунок 5 – Рельеф водосборного бассейна р. Ишим

Согласно рисунку 5, южная часть водосбора в рельефном отношении выше, чем северная. По геоморфологическому районированию бассейна можно выделить Кокчетавское мелкосопочное низкогорье и Рузаево-Атбасарская холмистая равнина в составе Кокчетавской возвышенности, Улытауское холмистое низкогорье (верховье р. Терисаккан) в составе Сарыарки (Казахский мелкосопочник) и Северо-Казахская (Приишимская) озерная равнина в составе низменной равнины Северного Казахстана. Большую часть бассейна занимают равнинные ландшафты.

Также, части территории отличаются по своему геологическому возрасту и типу отложений (рисунок 6, 7).

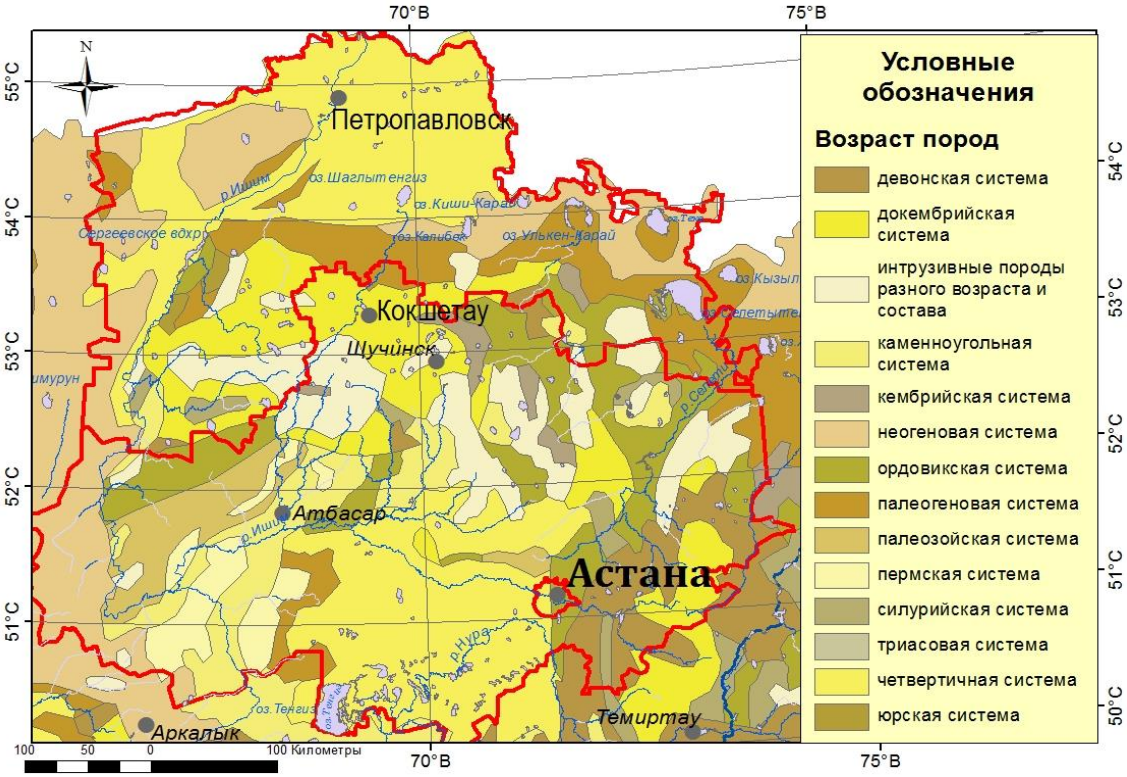

Рисунок 6 – Возраст пород водосборного бассейна р. Ишим

В соответствии с рисунком 6 видно, что ее возраст относится к докембрию, а южная часть водосбора имеет более молодой возраст. Сложена территория бассейна, согласно рисунку 7, преимущественно континентальными породами, перекрытыми аллювиальными и озерными отложениями.

Тип растительности в пределах бассейна р. Ишим представлен на рисунке 8. В пределах зоны доминируют ландшафты колочной степи западно-сибирского

типа. Они сформированы на древнеозерных и озерно-аллювиальных равнинах в условиях повышенного грунтового увлажнения. В связи с неравномерностью коэффициентов увлажнения различаются две подзоны: лесостепная и степная.

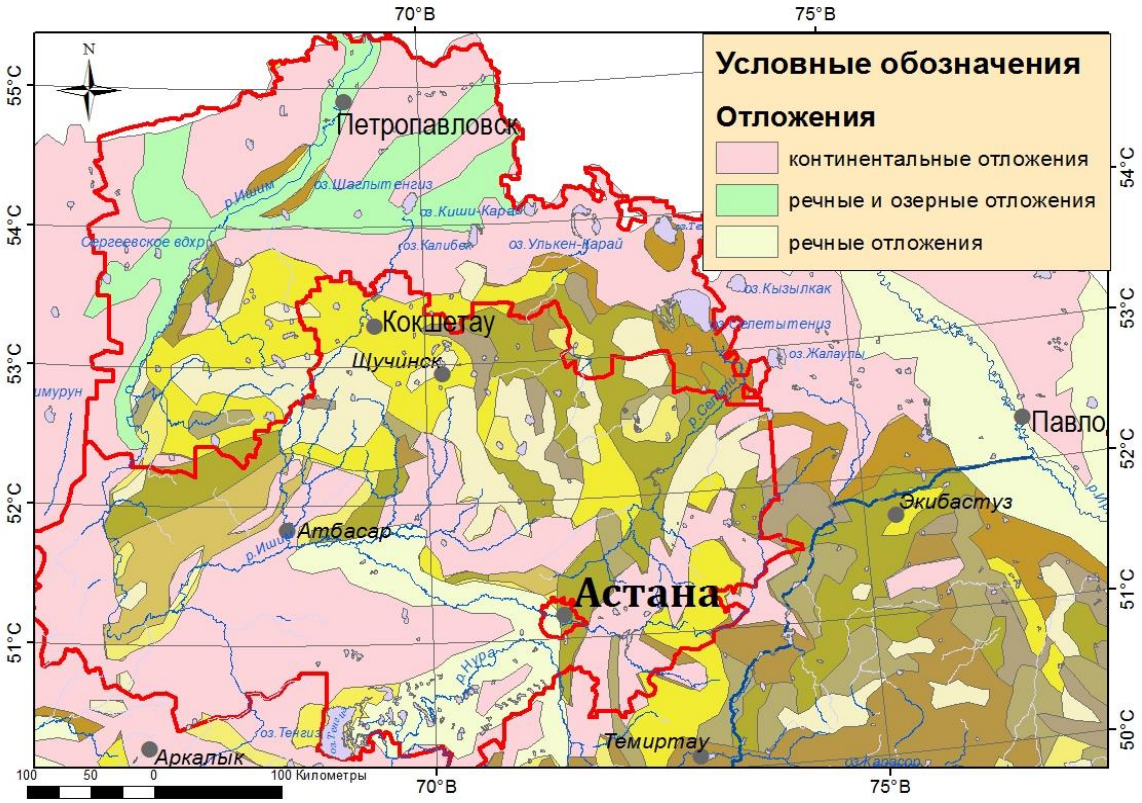

Рисунок 7 – Тип отложений пород водосборного бассейна р. Ишим

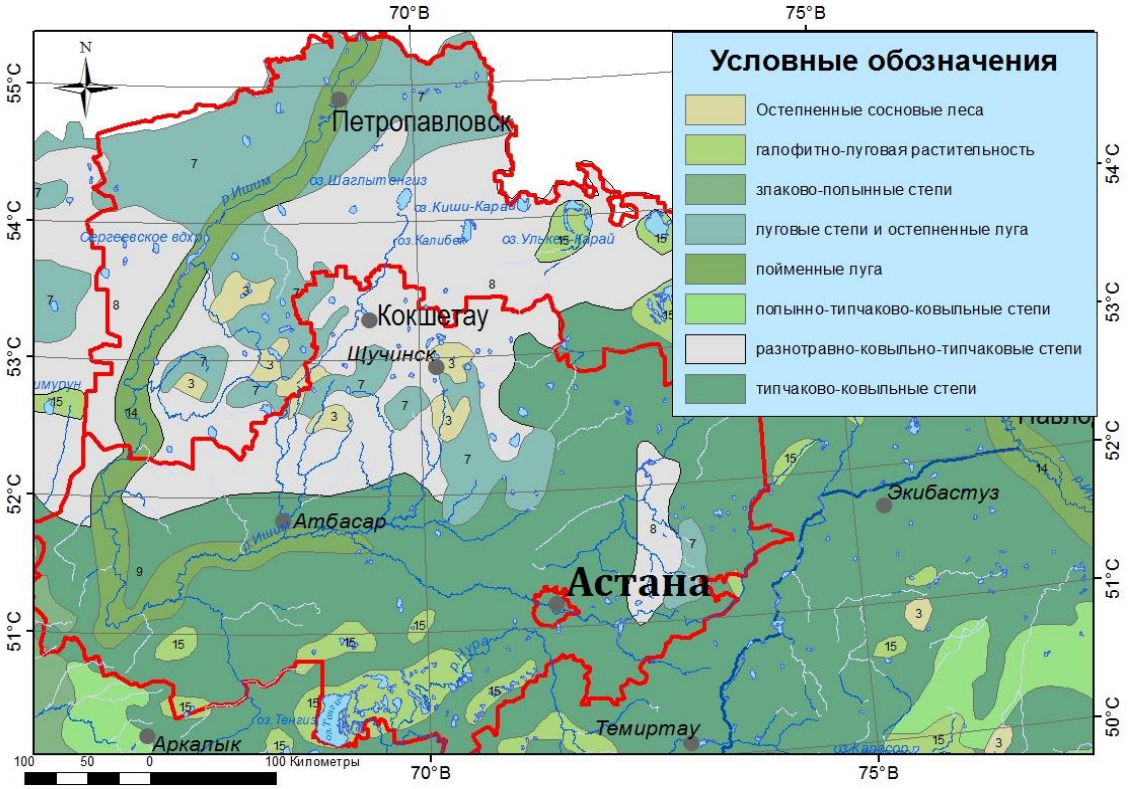

Рисунок 8 – Тип растительности в пределах водосборного бассейна р. Ишим

Умеренно влажная подзона размещается севернее г. Петропавловска (к северу от 55 ^{0}с.ш.) коэффициент увлажнения подзоны 0,77-0,63. Ландшафты разнообразны. Хорошо дренированные суглинистые плакоры заняты злаковыми травами на выщелочных черноземных почвах. Песчаные и супесчаные плакоры представлены осиново-березовыми лесами на серых лесных почвах. Перелески, колки и такие же почвы развиты на суглинистых плакорах, подстилаемых соленосными глинами. На плоских недренированных суглинистых равнинах в условиях дополнительного грунтового или поверхностного увлажнения сформированы злаково-разнотравные почти полностью распаханные степи на лугово-черноземных почвах. Плоские низины, сложенные соленосными и карбонатными глинами, заняты луговыми степями на черноземных солонцеватых осолоделых и карбонатных почвах.

Южнее Петропавловска расположена подзона нетипичной лесостепи с коэффициентом увлажнения в пределах 0,63-0,56.

Здесь распространены суглинистые равнины с разнотравно-красноковыльными степями на обыкновенных черноземах; засоленные глинистые плоские депрессии под полынно-типчаково-ковыльными степями на солонцеватых и солончаковых черноземах; суглинистые аллювиально-озерные равнины с разнотравно-красноковыльными степями на южных солонцеватых черноземах; глинистые плоские западины под осиново-березовыми и ивовыми колками на солодах.

Земли лесостепной ландшафтной зоны используются как пашни и пастбища.

Степная ландшафтная зона расположена в бассейне Ишим вверх по течению реки примерно от г. Сергеевка. Зональные типы ландшафтов сформированы в засушливых и сухих климатических условиях: годовая сумма осадков 310-220 мм, сумма положительных температур воздуха выше 10 ^{0}С составляет 2150-3000^0, коэффициент увлажнения 0,57-0,27, часты засухи.

В зоне присутствуют следующие ландшафты:

- суглинистые древнеозерные равнины с разнотравно-ковыльными степями на обыкновенных черноземах (в районе г. Сергеевка);

- суглинистые денудационные равнины, а также древнеозерные равнины, занятые ковыльными засушливыми степями на южных черноземах (по обоим берегам реки между с. Рузаевка и г. Ишим);

- суглинистые денудационные и песчано-супесчаные столово-останцовые равнины с ковыльно-типчаковыми умеренно-сухими степями на темно-каштановых почвах (большая часть бассейна выше г. Ишим);

- такие же степи с такими же почвами на суглинистой древнеозерной равнине между с. Мариновка и г. Нур-Султан.

Горные ландшафты занимают незначительные территории в пределах бассейна. Низкогорные ландшафты Кокшетау, Улытау и Ерементау относятся к группе с умеренно-континентальным климатом. Сумма положительных температур выше 10 ^{0}С составляет 2000^0, среднегодовое количество осадков 560-400 мм. В структуре ландшафтов денудационные межсопочные и аккумулятивные предсопочные предгорья представлены суглинистыми разнотравно-овсецовыми и разнотравно-красноковыльными степями на обыкновенных черноземах и на темно-каштановых почвах [126].

2.2 Особенности климатических условий водосбора реки Ишим

Территория бассейна р. Ишим в пределах Республики Казахстан характеризуется разнообразным климатом. Это обусловлено внутриконтинентальным расположением в центре материка Евразии, обширным простиранием разнородных равнин и низкогорья, а также непосредственным влиянием холодных сибирско-арктических и жарких среднеазиатских воздушных масс.

Важнейшие климатообразующие факторы исследуемой территории: радиационный и циркуляционный. В распределении величин суммарной

солнечной радиации отчетливо прослеживается закономерность широтной зональности. Значения суммарной радиации за год увеличивается с 4500 мДЖ / м^2 на севере до 5000 мДЖ / м^2 на юге бассейна. Для годового хода величины радиации характерны июньский максимум и декабрьский минимум.

Барико-циркуляционные условия, формирующиеся на территории, тесно связаны с радиационными элементами. В холодное время года погода определяется преимущественно влиянием западного отрога Сибирского антициклона. В теплую часть года погодные условия связаны, в основном, со слабо выраженной барической депрессией, которая устанавливается летом почти над всем Казахстаном.

Для климатической характеристики бассейна выбраны 4 метеостанции, расположенные вдоль русла главной реки в характерных физико-географических зонах: лесостепь – г. Петропавловск, степная – с. Рузаевка, умеренно-сухие степи – г. Атбасар, засушливые степи – г. Нур-Султан. Общая характеристика отобранных метеостанций представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика метеостанций

№	Метеостанция	Высота над уровнем моря, м	Год начала наблюдений на метеостанции
1	Петропавловск	140	1891
2	Рузаевка	226	1935
3	Атбасар	303	1901
4	Нур-Султан	347	1881

В таблице 4 показано, что наблюдения на метеостанциях начались со значительным временным разрывом. Несмотря на это, в данном водосборном бассейне именно по этим метеостанциям имеются наиболее полные данные. Измерения на метеостанциях в первые десятилетия после начала наблюдений велись с перерывами.

Стабильная ежегодная фиксация основных метеоэлементов наладилась только в 30–40-х годах XX века. Рассчитанные многолетние значения приводятся

ниже по данным «Научно-прикладного справочники по климату СССР. Выпуск18» [93] в таблице 5.

Таблица 5 – Многолетние значения температур для метеостанций

№ п/п	Метеостанция	Месяцы												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Среднемесячная и годовая температура воздуха (^{0}C)														
1	Петропавловск	-18,6	-17,1	-10,6	2,2	11,6	17,0	19,0	16,3	10,7	1,80	-7,8	-15,4	0,8
2	Рузаевка	-17,6	-17,0	-10,1	3,6	12,6	17,7	19,5	16,9	11,2	2,1	-7,3	-14,2	1,4
3	Атбасар	-18,4	-17,7	-11,3	2,4	12,5	17,9	20,0	17,5	11,3	2,1	-7,5	-15,1	1,1
4	Нур-Султан	-17,2	-16,7	-10,3	2,8	12,6	18,0	20,3	17,6	11,4	2,5	-7,1	-14,2	1,6
Абсолютный максимум t (^{0}C) воздуха по метеостанциям														
1	Петропавловск	4	4	14	31	37	40	40	39	33	27	16	4	40
2	Рузаевка	2	4	9	31	37	39	41	40	34	27	15	3	41
3	Атбасар	2	3	17	30	36	39	42	40	34	28	16	4	42
4	Нур-Султан	6	6	22	30	36	40	42	39	34	26	17	4	42
Абсолютный минимум t (^{0}C) воздуха по метеостанциям														
1	Петропавловск	-44	-42	-37	-29	-9	-2	3	0	-8	-26	-38	-44	-44
2	Рузаевка	-48	-43	-38	-26	-11	-3	1	-3	-10	-24	-37	-43	-48
3	Атбасар	-57	-46	-40	-27	-11	-4	1	-1	-9	-29	-39	-44	-57
4	Нур-Султан	-52	-49	-38	-28	-11	-2	2	-2	-8	-25	-39	-44	-52

Согласно приведенным данным в таблице 5, средняя многолетняя годовая температура воздуха повышается от 0,8 до 1,6 ^{0}C. Наиболее холодный месяц – январь (средняя температура от минус 17,2 до минус 18,6 ^{0}C). Самый теплый месяц июль с температурами 19–20 ^{0}C тепла. Обычно в июле наблюдается абсолютный температурный максимум + 40–42 ^{0}C. Абсолютный минимум: от –44 ^{0}C в Петропавловске (1929, 1940 г.г.) до –57 ^{0}C мороза (Атбасар, 1893 г.).

Продолжительность безморозного периода в среднем 106–124 дня. Последние заморозки весной заканчиваются обычно во второй половине мая. Но отмечались заморозки и 18 июня (Атбасар, 1905 год) и 28 июня (Рузаевка, 1951 год). Первые осенние понижения температуры воздуха до отрицательных значений, как правило, наблюдаются в середине сентября. Самый ранний заморозок отмечен 12 августа 1944 года на МС Рузаевка. Среднегодовые температуры почвы выше аналогичных значений по воздуху на 1–2 ^{0}C, в основном, за счет нагрева земной поверхности в летние месяцы.

Среднегодовая относительная влажность воздуха возрастает с юга на север – от 69 % в Нур-Султане до 74 % в Петропавловске. Летние месяцы наиболее сухие. Зимой, как правило, влажность воздуха выше 80 %. Между выбранными метеостанциями наблюдаются отличия в многолетних месячных и годовых количествах осадков, представленных в таблице 6.

Таблица 6 – Многолетнее месячное и годовое количество осадков (мм)

№ п/п	Метеостанция	Месяцы												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
1	Петропавловск	14	11	11	19	32	53	60	52	31	30	21	17	351
2	Рузаевка	14	10	13	22	32	44	58	38	29	32	19	14	325
3	Атбасар	19	14	17	19	31	39	44	35	25	25	23	19	310
4	Нур-Султан	19	14	18	20	31	41	52	41	26	27	19	18	326

В соответствии с данными таблицы 6, максимальное годовое количество осадков приходится на г. Петропавловск. В целом, данные значения соответствуют общей тенденции снижения континентальности при движении с юга на север. Чаще всего (до 80 % случаев) бывают дожди и снегопады слоем не более 1 мм. Они слабо увлажняют почву и практически используются только на испарение. Осадки не менее 1 мм отмечаются около 60 дней в году. Максимальное суточное количество осадков – 88 мм (Петропавловск, 16 июня 1905 года). В г. Нур-Султан 12 июля 1972 года выпало 86 мм. Эти значения близки к расчетным максимумам 1 %-ной обеспеченности.

Только 20–30 % годовой суммы осадков являются стокообразующими – выпадают в виде снега зимой и в виде дождей во время весеннего снеготаяния.

По данным РГП «Казгидромет» [40] за последние 15 лет наблюдается изменчивость годового количества осадков, в частности в районе г. Атбасар, расположенного на правом берегу р. Ишим в его среднем течении. Можно отметить некоторые отклонения количества осадков от нормы, характерной для степной зоны, где расположено среднее течение р. Ишим и для средних многолетних показателей: при норме в 310 мм в год в отдельные годы

зафиксировано превышение данного показателя более чем на 100 мм (513 мм) и понижение количества осадков также более чем на 100 мм (185 мм, 237 мм) (таблица 7).

Таблица 7– Годовое количество осадков за период с 2002 по 2017 г.

Год	Сумма осадков, мм	Год	Сумма осадков, мм
2002	303,2	2010	185,8
2003	306,8	2011	287,9
2004	237,5	2012	256,5
2005	329	2013	513,5
2006	320,3	2014	299,4
2007	246,2	2015	404,2
2008	258,7	2016	359,7
2009	294,2	2017	282,7

Соотношение показателей годового количества осадков за период с 2002 по 2015 гг. и среднего многолетнего количества, рассчитанного РГП «Казгидромет» [46] для населенного пункта г. Атбасар за период с 1940 по 2017 год графически представлено на рисунке 9.

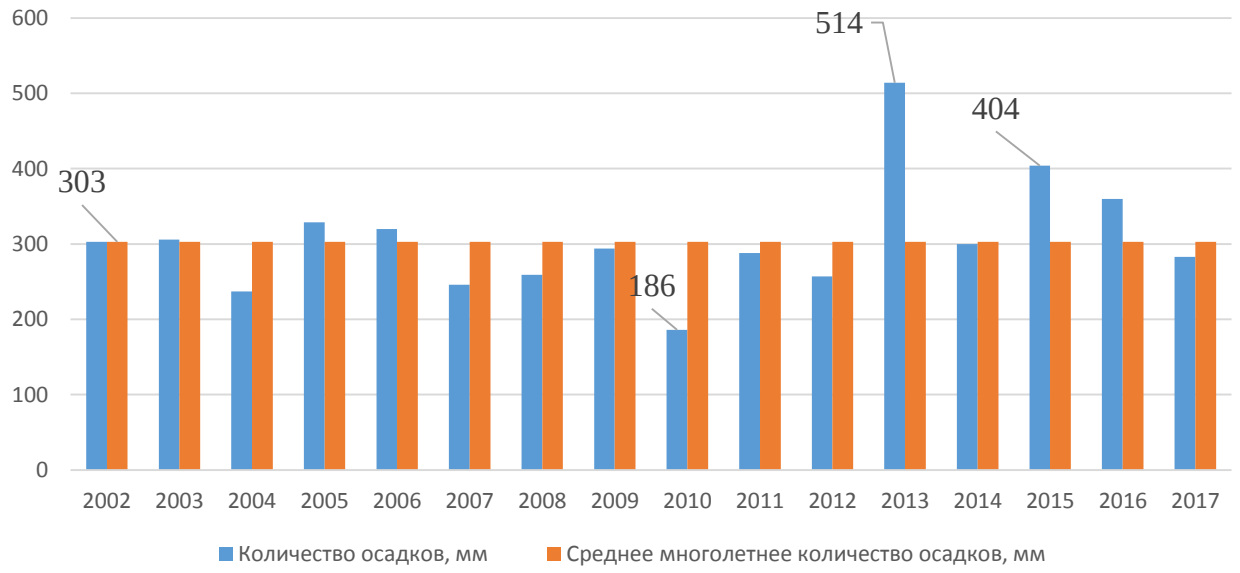

Рисунок 9 – Соотношение показателей годового количества осадков в нижнем течении р. Жабай (правый приток р. Ишим) и среднего многолетнего количества осадков, мм

Согласно данным рисунка 9, на 2013 г. и 2015 г. пришлось максимальное количество осадков – 513,5 мм и 404,2 мм соответственно. Эти показатели

превышают показатель среднего многолетнего количества осадков примерно на 100–200 мм. Минимальное количество зафиксировано в 2010 г. – 185,8 мм, что почти в 2 раза ниже среднего многолетнего значения. Среднее количество осадков 305 мм (на 2 мм выше многолетнего).

Открытость рассматриваемой территории воздушным потокам меридионального и широтного направлений способствует интенсивной ветровой деятельности. Среднегодовые скорости ветра 4,0-5,2 м / с. Наибольшие средние месячные скорости отмечаются зимой и весной, наименьшие – летом. Ветры со скоростью не менее 8 м/с наблюдаются от 129 дней в году (Рузаевка) до 181 дней в году (Атбасар и Петропавловск). Сильные ветры (не менее 15 м/с) фиксируются от 26 до 44 дней за год. Максимальные из наблюдавшихся скоростей ветра 34-40 м / с. В теплую часть года преобладают ветры северных и западных направлений. В холодные месяцы чаще всего дует юго-западный ветер.

Среди опасных гидрометеорологических явлений выделяется промерзание и, участившиеся в последние 10 лет, весенние половодья. Нормативная глубина промерзания грунтов на территории бассейна по данным СНиПа «Строительная климатология» [109] изменяется незначительно (рисунок 10):

Рисунок 10 – Глубина промерзания грунта на территории бассейна р. Ишим

Согласно данным рисунка 10, глубина промерзания грунта изменяется от 200 см в южной части бассейна до 210 см в северной. Возможная максимальная глубина промерзания в суровые бесснежные зимы – 350 см.

2.3 Особенности гидрографии водосбора реки Ишим

Основной водной артерией Ишимского бассейна является река Ишим с рядом крупных притоков, стекающих на севере с Кокшетауской возвышенности, а на юге с острогов гор Улытау. Территория севера Акмолинской области является переходной частью от Центра Сарыарки к Западно-Сибирской низменности с наиболее пониженными участками в долинах рек Ишим и Чаглинка.

К бассейну реки Ишим, относится более половины площади Акмолинской и Северо-Казахстанской областей.

Река Ишим берет начало из родников в горах Нияз в Карагандинской области (северная окраина Сарыарки). Длина ее составляет 2450 км, в том числе в пределах Акмолинской области 1027 км, Северо-Казахстанской области - 690 км, и далее пересекает Тюменскую область и часть Омской областей. Самыми значительными притоками по водности и длине являются реки Колутон, Жабай, Териссакан (Акмолинская область), Акан-Бурлук, Иман-Бурлук (Северо-Казахстанская область). Общее падение реки от истока до устья 513 м, средний уклон - 0,21 ‰. Гидрографическая сеть Акмолинской и Северо-Казахстанской областей представлена на рисунке 11.

Как видно из рисунка 11, гидрографическая сеть бассейна характеризуется значительным повышением густоты речной сети к центральной части от периферии, что связано с особенностями рельефа территории, описанными выше. На реке и ее притоках функционируют 3 водохранилища – Вячеславское (Астанинское) и Сергеевское с объемом 0,4 и 0,7 км^3 соответственно, Селетинское на реке Силеты (правый приток р. Ишим) – с объемом 0,4 км^3. Далее к северу, ниже по течению река протекает по низменной территории, с отметками высот 60–150 м. Крупных притоков на данной территории Северо-Казахской равнины

река не получает. Именно здесь, в низинной части бассейна, формируется ряд озер (Силетытениз, Жалаулы, Калибек, Теке, Улькен-Караой и др.), которые имеют ряд общих особенностей: бессточность, мелководность, резкие изменения уровней и объемов воды в течение года, повышенная минерализация воды в отдельные периоды.

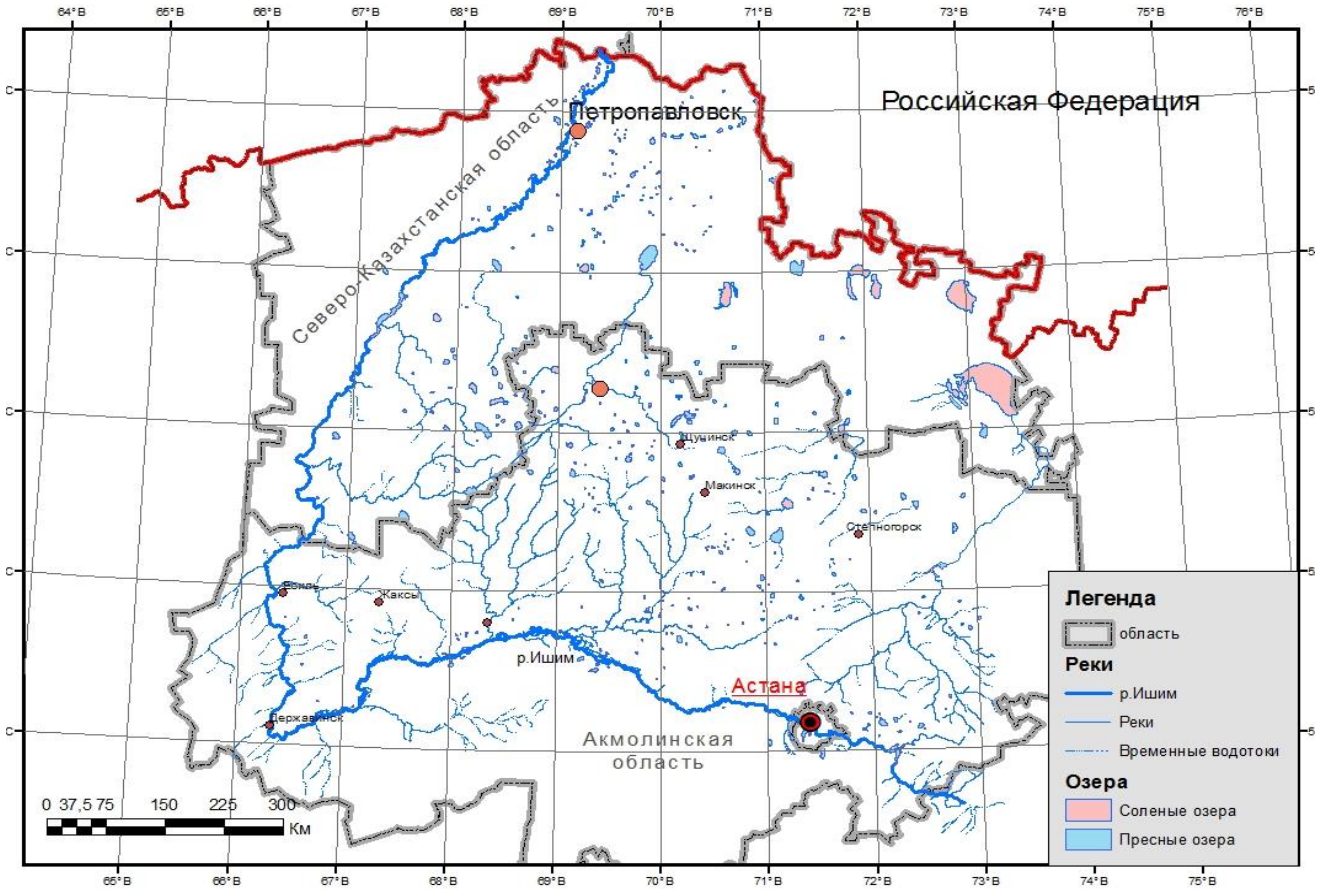

Рисунок 11 – Гидрографическая сеть бассейна р. Ишим

Озера севера Казахстана пресные, однако имеется значительное количество и засоленных озер. Состав солей и степень засоления самые различные — от слегка солоноватых и горьковатых до очень горьких озер, дающих в сухие годы самосадочную соль [60].

Реки бассейна по характеру внутригодового распределения стока в целом достаточно однородны. Имеющиеся небольшие различия обусловлены, главным образом, различными условиями грунтового питания рек северных и южных районов области. На отдельных реках северной части территории небольшой

сток, за счет притока грунтовых вод, имеет место в течение всего теплового периода, а частично и зимой (реки Ишим, Жабай, Селеты и др.). Большинство малых водотоков является временно действующими.

При относительной устойчивости во времени условий грунтового питания, в маловодные годы обычно имеет место уменьшение доли стока весеннего сезона в годовом стоке и увеличение относительного веса меженного стока. В многоводные годы наблюдается обратная картина.

Для верховьев р. Ишим (от истока до г. Нур-Султан) характерна относительно высокая поверхностная аккумуляция талых вод внутри бассейна, которая приводит к тому, что часть его площади оказывается бессточной в отношении главного водоема. По данным аэрофотосъемки пятидесятых годов размеры бессточной площади верхнего Ишима оцениваются примерно в 25 % от общего водосбора. В многоводные годы это значение уменьшается, в маловодные годы – увеличивается.

Пойма р. Ишим на участке до с. Волгодоновки преимущественно низкая, поверхность ее неровная, сложена песчано-галечными отложениями, заросшая кустарником, шириной до 800 м. Далее до с. Мартыновка пойма делится на прирусловую и более высокую (до 4 м над меженным уровнем при естественном режиме реки). От Мартыновки до конца участка пойма повышенная, ровная, покрыта преимущественно травой, имеет множество стариц. Глубина затопления до 1,5–2,0 м, ширина поймы до 6 км. Поверхность ее осложнена мелкими блюдцеобразными понижениями и многочисленными старицами до 5 км длиной и 30–40 м шириной.

Русло реки в верховьях малоизвилистые, с глубиной вреза от 0,5 до 2 м, шириной 20 м, ниже Вячеславского водохранилища оно становится более извилистым и местами разветвленным. Встречаются острова и осередки. Берега в основном крутые, местами обрывистые, в местах подмыва склонов долины их высота достигает 25 м.

В межень русло разделяется на плесы и перекаты. Перед г. Нур-Султан преобладают плесы длиной 500–1200 м, шириной до 30 м, глубиной до 4 м.

Перекатные участки здесь длиной 6–20 м со скоростью течения до 1 м/с. В черте города после дноуглубительных работ глубина реки в межень достигает 5,5–6 м при ширине реки до 200 м.

Кратность годового объема стока в многоводный год по отношению к стоку маловодного года может составлять более 100. Спад половодья растягивается до середины июля.

Особенностью режима рек и временных водотоков Ишимского бассейна, имеющих почти исключительно снеговое питание, является резко выраженное весеннее половодье, вслед за которым наступает глубокая межень, вплоть до полного пересыхания малых водотоков, а нередко и относительно крупных. Весенний снеговой сток, проходящий на реках со второй половины марта до третьей декады апреля, составляет в среднем около 90 % годового стока. Длительность половодья колеблется в среднем от 10 до 30 дней. На примере с. Волгодонка, по официальным данным РГП «Казгидромет» [113], представлен гидрограф стока за 2014 год (рисунок 12).

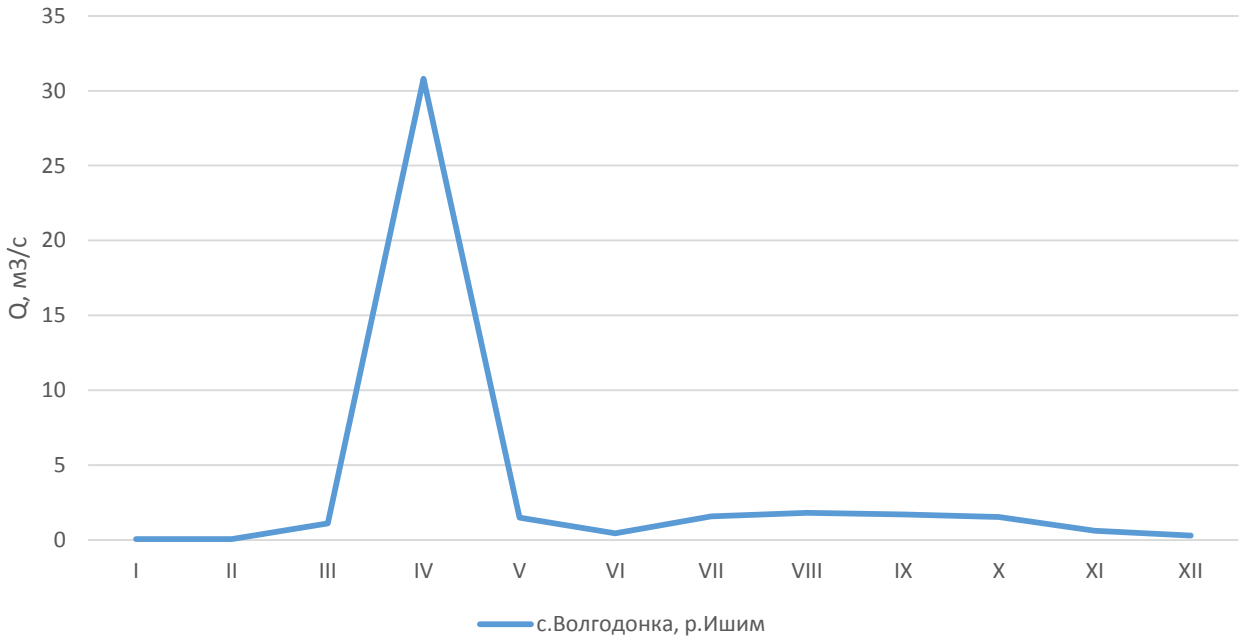

Рисунок 12 – Гидрограф стока за 2014 г., построенный по средним месячным значениям

Пик весеннего половодья, представленный на рисунке 12, приходится на апрель месяц, что соответствует многолетнему режиму реки не только в верхнем течении, но и по всему бассейну Ишима в пределах Северного Казахстана.

Высокие весенние половодья и паводки 2016–2017 гг. в частности демонстрируют растущую опасность наводнений в устьевой части Ишима, когда уровень воды в реке два года подряд достигал своего наблюдаемого максимума [32].

Согласно исследованиям советских и казахстанских гидрологов, одной из особенностей многолетнего хода стока р. Ишим является тенденция группировки многоводных и маловодных лет. Это значительно осложняет использование реки в хозяйстве (рисунок 13).

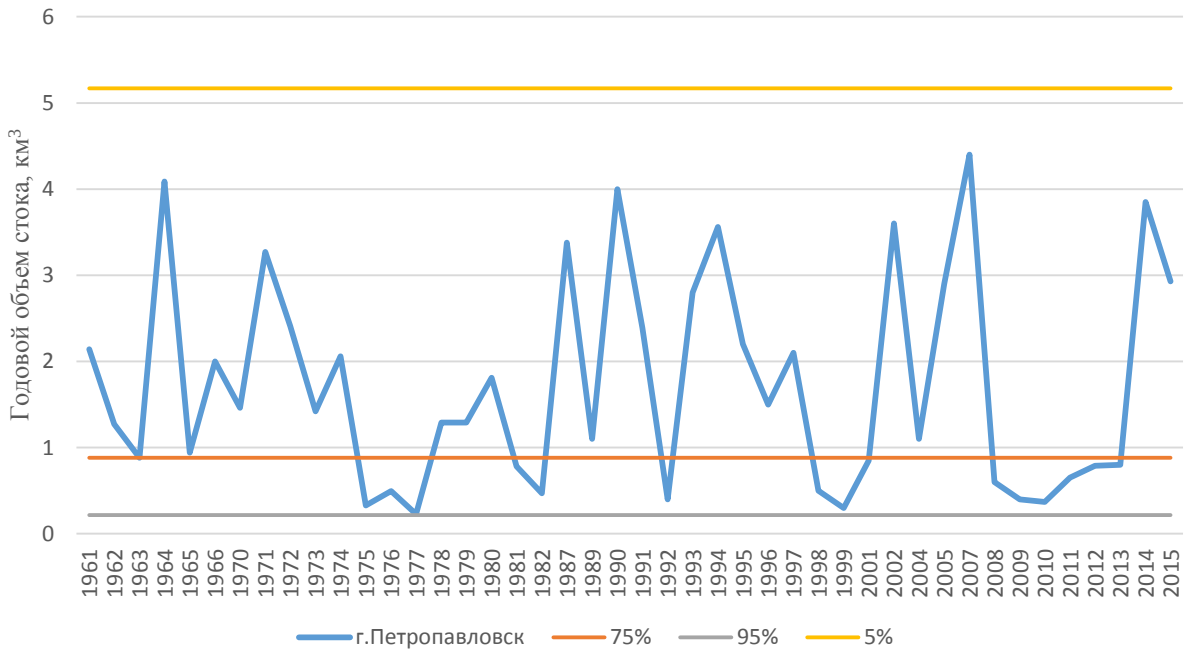

Рисунок 13 – Изменчивость годового объема стока р. Ишим за период с 1961 по 2015 гг.

За исследуемый период по данным гидропоста, расположенного в городе Петропавловск можно выделить годы, когда годовой объем стока был максимальным: 1964 г. – 4,09 км^3 / год, 1990 г. – 4 км^3 / год, 2007 г. – 4,38 км^3 / год, 2014 г. – 3,85 км^3 / год. Минимальный объем годового стока зарегистрирован в 1977 г. – 0,229 км^3 / год и 1999 г. – 0,331 км^3 / год.

Данная тенденция к цикличности стока прослеживается и на одном из притоков р. Ишим – реке Жабай с гидропостом в устье р. Жабай. Именно населенные пункты, расположенные в бассейне р. Жабай подвергаются

наибольшему подтоплению в период весеннего половодья за последние 15 лет. Результаты анализа изменчивости годового стока по данным РГП «Казгидромет» [40] представлены на рисунке 14.

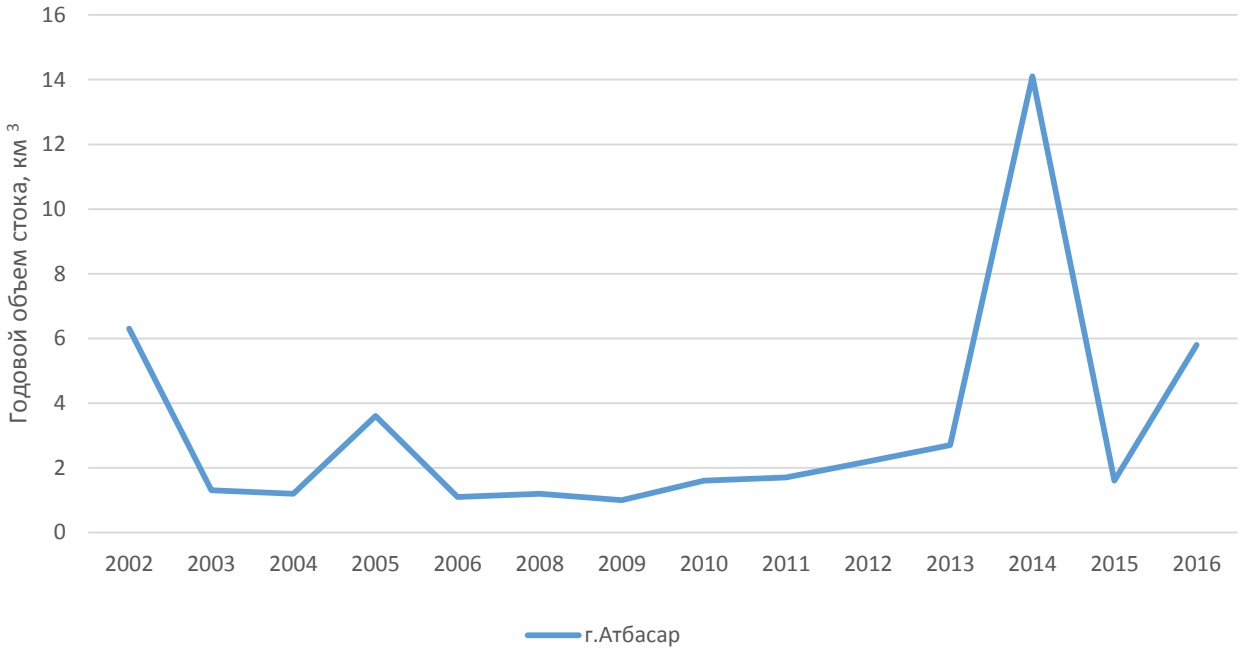

Рисунок 14 – Колебания годового объема стока р. Жабай за период с 2002 по 2016 гг.

Анализируя данные гидрографа за период с 2002 по 2016 гг. видно, что максимальный объем стока 14 км^3 / год пришелся на 2014 г., а минимальный сток сохранялся в течении 3 лет: 2006 г., 2008 г., 2009 г. (от 1 км^3 / год до 1,2 км^3 / год).

В г. Нур-Султан до появления Вячеславского водохранилища оно начиналось в среднем 10 апреля, пик проходил 16 апреля, а заканчивалось половодье 20 мая. В отдельные годы начало весеннего пика уровней отмечалось и в конце марта, и в конце апреля. Пик иногда проходил уже в самом начале апреля (1944 г., 1961 г.), а в поздние весны он бывал только в первых числах мая. Заканчивалось половодье и в конце апреля (1961 г.) и в конце июня (1949 г.).

Наибольшая интенсивность подъема на р. Ишим у г. Нур-Султан отмечена в 1941 г. – 283 см / сутки, наибольшая интенсивность спада – 105 см / сутки (тот же год).

Средняя высота подъема уровня над предвесенним при естественном режиме реки – 226 см, наименьшая – 24 см (1936 г.), максимальная – 492 см (1948 г.). Сохраняются максимальные уровни обычно всего несколько часов и очень редко в течение суток. Поскольку с 1970 года режим уровней и расходов реки и г. Нур-Султан в паводок определятся попусками из Вячеславского водохранилища, продолжительность стояния наивысших уровней теперь может достигать несколько суток. Однако во время пика исключительно высокого половодья, когда весь приток водохранилища идет на сброс, естественный режим Ишима у г. Нур-Султан сохраняется.

Максимальная волна паводочного дождевого стока на р. Ишим (подъем на 0,2–0,3 м) значительно ниже волны весеннего половодья. Продолжительность дождевых паводков не превышает 10 суток. После их прохождения на реке быстро восстанавливается предпаводочный режим [126].

Поверхностный сток р. Ишим и ее притоков используется для водоснабжения городов Нур-Султан, Петропавловск, сельских населённых пунктов Акмолинской и Северо-Казахстанской областей, полива участков регулярного и лиманного орошения, дачных массивов и других. При этом, объем годового стока на разных участках реки и ее притоков имеет значительные отличия: максимальную площадь водосбора в пределах бассейна имеет участок р. Ишим вниз по течению от г. Сергеевка. Значительные площади обусловлены равнинностью рельефа северной части страны.

2.4 Особенности гидрохимического режима рек Ишимского водосборного бассейна

Согласно ГОСТ 17.1.1.01–77 [43], под качеством воды принято понимать пригодность воды для различных видов использования или процессов. Любое конкретное использование будет иметь определенные требования к физическим, химическим или биологическим характеристикам воды. Например, ограничения на концентрацию токсичных веществ для использования в питьевой воде или

ограничения на температуры и диапазоны pH для водонаселенных сообществ беспозвоночных. Следовательно, качество воды определяются рядом переменных, которые ограничивают использование воды. Хотя многие виды применения предъявляют некоторые общие требования к определенным переменным, каждый использованный вид будет иметь свои собственные требования и оказывать влияние на качество воды. Требования к количеству и качеству разных пользователей не всегда будут совместимы друг с другом, и деятельность одного пользователя может ограничивать деятельность другого, либо требовать от воды качества, выходящего за пределы диапазона, требуемого другим пользователем, при этом произойдет снижение качества воды во время ее использования. Усилия по улучшению или поддержанию определенного качества воды часто ставят под угрозу качество и количество разных пользователей. Растет признание того, что природные экосистемы занимают законное место при рассмотрении вариантов управления качеством воды. Это связано как с их внутренней ценностью, так и с тем, что они являются чувствительными индикаторами изменений или ухудшения общего качества воды, обеспечивая полезное дополнение к физической, химической и другой информации [3].

Антропогенная деятельность почти всегда приводит к ухудшению качества воды и является одним из главнейших загрязнителей водных источников. Однако, по мнению А. К. Заурбека [48] к ухудшению качества воды могут привести и некоторые явления природного характера. Например, проливные дожди, приводят к чрезмерной эрозии и оползням, которые, в свою очередь, увеличивают содержание взвешенных веществ в пострадавших реках и озерах. Сезонный перебор воды может привести к появлению воды с небольшим количеством или отсутствием растворенного кислорода на поверхности. Такие природные явления могут быть частыми или случайными. Постоянные природные условия в некоторых районах могут сделать воду непригодной для питья или для определенных целей, таких как ирригация.

Одной из приоритетных задач при организации геоэкологического мониторинга является анализ загрязненности постоянных водотоков и водоемов,

связанной в том числе и с антропогенным изменением гидрохимического режима рек, которая включает в себя ряд самостоятельных, но тесно связанных между собой подзадач. Основываясь на комплексной оценке загрязненности рассматриваемого бассейна, возможно выделение отдельных его составных частей с разным уровнем загрязнения.

Следует отметить, что отсутствие системы, которая бы устанавливала количество проб и график их отбора для выявления срочных и средневзвешенных концентраций и загрязненности во времени, в совокупности с четкими правилами организации наблюдений за гидрологическим режимом (уровень, расход воды и т.д.) приводят к сложности комплексной оценки качества поверхностных вод. Все это приводит к тому, что все полученные данные будут носить формализованный характер оценки качества, а из-за существующих проблем финансирования и дороговизны организация и проведение подобных измерений в сложившейся экономической ситуации страны появляется проблема недостатка данных о гидрохимическом режиме отдельных водных источников.

Согласно исследованиям, проводимым в области разработки методики оценки качества водных объектов Д. М. Бурлибаевой [29] и исходя из указанных выше факторов, целесообразно проводить комплексную оценку загрязненности поверхностных вод для целей геоэкологического мониторинга на основе выявления и определения индекса загрязненности вод (ИЗВ), выступающего в данном случае показателем кратности превышения отдельных ингредиентов над предельно-допустимыми концентрациями (ПДК). В качестве критерия оценки степени загрязненности поверхностных вод принято считать предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ, определяемые в свою очередь на основании санитарных правил и норм, часть «Охрана поверхностных вод от загрязнения» № 4630–88, утвержденных 04.06.1988 г. Минздравом СССР [106] и действующего на территории Республики Казахстан согласно приказу начальника Департамента санитарно-эпидемиологической службы Минздрава РК № 408 от 18 августа 1997 г. и Перечня ПДК и ориентировочно-безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных

водоемов [98]. Для вычисления КИЗВ в процесс расчетов вовлекается весь перечень контролируемых загрязняющих веществ, официально публикуемых в периодических изданиях РГП «Казгидромет». В перечень обязательных контролируемых загрязнителей по результатам априорного изучения объекта исследования входят следующие условные группы: главные ионы, биогенные элементы и тяжелые металлы.

Общая классификация водных объектов по степени загрязнения составлена по данным Методических рекомендаций по комплексной оценке качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Уровень загрязнения поверхностных вод оценивался по величине комплексного индекса загрязненности воды (КИЗВ), который используется для сравнения и выявления динамики изменения качества воды за семь последних лет, т.к. именно этот период имеет наибольший объем данных о качестве водных объектов. Общая классификация водных объектов представлена в таблице 8 [83].

Таблица 8 – Общая классификация водных объектов по степени загрязнения

№	Степень загрязнения	Оценочные показатели загрязнения водных объектов		
		по КИЗВ	по O^2, мг / дм^3	по БПК5, мг / дм^3
1	нормативно чистая	1 ≤ 1,0	≥ 4,0	≤ 3,0
2	умеренного уровня загрязнения	1,1÷3,0	3,1–3,9	3,1–7,0
3	высокого уровня загрязнения	3,1÷10,0	1,1–3,0	7,1–8,0
4	чрезвычайно высокого уровня загрязнения	≥ 10,1	≤ 1,0	≥ 8,1

Согласно приведенной таблице 8, в данном исследовании для оценки загрязнения водных объектов будет использован только показатель КИЗВ. Показатели КИЗВ и кратность превышения ПДК взяты из официальных материалов «Ежегодных данных о качестве поверхностных вод» [56, 57, 63, 64, 65, 66, 67, 68], опубликованных на сайте РГП «Казгидромет» МЭ РК. Результаты анализа данных качества поверхностных вод бассейна р. Ишим представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Гидрохимические показатели рек и водохранилищ бассейна р. Ишим за период с 2014 по 2017 гг.

Год	Наименование водного объекта	КИЗВ	Кратность превышения ПДК				
			Сульфаты	Азот нит-ритный	Цинк (2+)	Марга-нец (2+)	Медь (2+)
2010	Сергеевское вдхрн.	умеренного уровня загрязнения	-	-	1,3	-	3,4
	р. Ишим (Акмолинская область)	умеренного уровня загрязнения	2,2	1,3	-	-	3
	р.Жабай	умеренного уровня загрязнения	1,3	-	-	-	4,9
2011	Сергеевское вдхрн.	чистая	-	-	-	-	-
	р. Ишим (СКО)	чистая	1,08	-	-	-	-
	р. Ишим (Акмолинская область)	умеренного уровня загрязнения	2,66	-	-	-	4,83
	р. Жабай	умеренного уровня загрязнения	1,5	-	-	-	8,0
2012	Сергеевское вдхрн.	чистая	0,7	-	-	-	-
	р. Ишим (СКО)	чистая	0,9	-	-	-	-
	р. Ишим (Акмолинская область)	высокого уровня загрязнения	2,9	-	1,4	6,5	4,7
	р. Жабай	умеренного уровня загрязнения	1,2	-	1,2	4,3	4,4
2013	Сергеевское вдхрн.	умеренного уровня загрязнения	-	-	1,2	-	1,8
	р. Ишим (СКО)	умеренного уровня загрязнения	-	-	1,0	-	1,3
	р. Жабай	умеренного уровня загрязнения	1,1	-	1,6	1,6	3,9
2014	Сергеевское вдхрн.	высокого уровня загрязнения	0,7	-	1,8	-	4,9
	р. Ишим (Акмолинская область)	высокого уровня загрязнения	2,2	-	-	4,7	3,8
2015	Сергеевское вдхрн.	умеренного уровня загрязнения	-	-	1,2	-	3,8

Окончание таблицы 9

Год	Наименование водного объекта	КИЗВ	Кратность превышения ПДК				
			Сульфаты	Азот нит-ритный	Цинк (2+)	Мар-ганец (2+)	Медь (2+)
	р. Ишим (СКО)	умеренного уровня загрязнения	1,1	-	-	-	3,5
	р. Ишим (Акмолинская область)	умеренного уровня загрязнения	1,7	-	1,6	5,1	5,2
	р. Жабай	высокого уровня загрязнения	1,3	1,1	1,8	21,7	3,9
2016	Сергеевское вдхрн.	высокого уровня загрязнения	-	-	-	-	3,9
	р. Ишим (Акмолинская область)	умеренного уровня загрязнения	1,8	-	2,7	2,9	1,6
	р. Жабай	высокого уровня загрязнения	1,3	-	2,4	22,7	1,4
2017	Сергеевское вдхрн.	высокого уровня загрязнения	-	-	-	-	2,5
	р. Ишим (СКО)	умеренного уровня загрязнения	1,1	-	-	-	2,6
	р. Ишим (Акмолинская область)	умеренного уровня загрязнения	1,6	-	1,7	-	2,7
	р. Жабай	высокого уровня загрязнения	1,2	-	2,1	22,7	1,5

Согласно данным таблицы 9, за исследуемый период (с 2010 по 2017 гг.) величина комплексного индекса загрязненности воды (КИЗВ) на отдельных реках бассейна р. Ишим в разные годы изменялась от «чистой» до «высокого уровня загрязнения». Для визуализации полученных результатов составлены картосхемы, отражающие состояние водных объектов бассейна в разное время (рисунок 15).

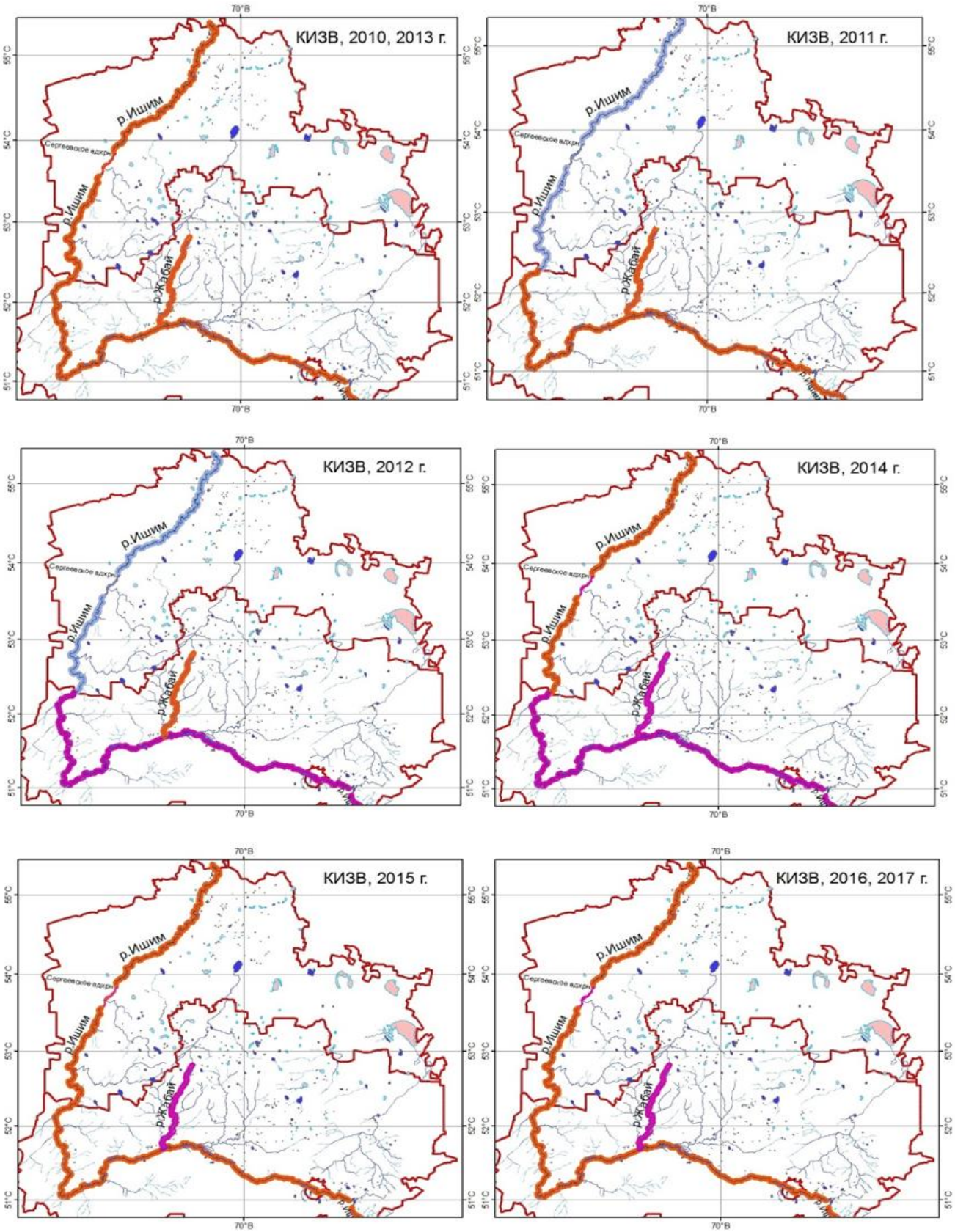

Рисунок 15 – Изменение КИЗВ 2012, 2014-2017 гг. на реках бассейна р. Ишим. синий цвет – «Чистая», розовый цвет – «Высокий уровень загрязнения», оранжевый цвет – «Умеренный уровень загрязнения»

На рисунке 15 показано, что наиболее загрязненным водоемом стала р. Жабай – начиная с 2014 года «высокий уровень загрязнения», до 2014 – умеренный. В качестве основных загрязняющих веществ выделены сульфаты, азот нитритный, цинк (2+), марганец (2+), медь (2+). Превышение ПДК загрязняющих веществ на реках и водохранилищах бассейна р. Ишим может оказать негативное воздействие на здоровье населения. В бассейне реки проживает 1,9 млн. человек, из которых 1,09 млн. чел. (57%) – городское население. Сточные воды служат основным источником поступления меди, цинка и других небезопасных веществ в природные воды. Однако, превышение ПДК загрязняющих веществ на исследуемой территории носит в основном природный характер. Так, наибольшее загрязнение р. Жабай имела в 2014, 2015, 2016, 2017 годы. В эти же годы в бассейне реки Жабай зафиксированы значительные превышения уровней воды в период весеннего половодья.

2.5 Результаты анализа геоэкологических особенностей формирования стока в бассейне реки Ишим

Условия формирования водных ресурсов зависят от соотношения и последовательности проявления определенных факторов. Например, П. В. Коваль [70] и И. С. Копылов [71] считают, что физико-географические факторы в наибольшей мере влияют на состав именно поверхностных вод. Геоэкологический мониторинг поверхностных вод помимо анализа физико-географических факторов требует и проведения анализа антропогенных факторов, которые обусловлены многократным использованием водных ресурсов [120].

В результате анализа физико-географических факторов, влияющих на формирование поверхностных вод в пределах бассейна р. Ишим было выявлено следующее:

1. Для водосборного бассейна характерно общее понижение рельефа с юга на север и естественное для гидрографии уменьшение отметок поверхности от водоразделов к руслу. Значительная территория занята равнинными степными

ландшафтами. Территория имеет значительный потенциал для использования ландшафтов как пастбищных угодий и, в отдельных местах, для развития земледелия.

2. Климатические показатели при движении с севера на юг бассейна изменяются: среднегодовая температура падает до $0{,}8^0$, количество осадков увеличивается до 351 мм, что позволяет судить о небольшом снижение континентальности климата. Максимум осадков выпадает в летние месяцы. На отдельных участках (среднее течение р. Ишим) отмечается превышение среднего многолетнего количества осадков на 2 мм. К основным опасным гидрометеорологическим явлениям на территории бассейна относится глубина промерзания грунта. По всей территории она изменяется незначительно и не превышает 210 см. Максимальная возможная глубина промерзания – 350 см.

3. Одной из особенностей многолетнего хода стока р. Ишим является тенденция группировки многоводных и маловодных лет, что значительно осложняет его использование в народном хозяйстве. Неравномерное распределение речного стока в течение года приводит к угрозе затопления прибрежных территорий в период весеннего половодья, которое приходится на март-апрель.

4. Главными загрязнителями для водоемов Ишимского речного бассейна выступают сульфаты, азот аммонийный и некоторые представители группы тяжелых металлов: медь, цинк и марганец. Для всего рассмотренного периода характерно повышение сульфатов в воде практически по всем источникам (исключая Сергеевское водохранилище). Анализируя санитарно-гигиенические показатели (в данном исследование ПДК) в воде поверхностных источников наблюдается превышение показателей ПДК тяжелых металлов, двухвалентной меди. В отдельных водоемах превышение двухвалентного цинка (р. Ишим в Амолинской области, р. Жабай) от 1,2 до 2,7. Максимальные превышения кратности ПДК марганца характерны для р. Жабай – 22,7.

5. Для 2014, 2016, 2017 г. характерно повышение показателей загрязнения, что связано с увеличением поверхностного смыва элементов в период половодья.

3 Дешифрование космических снимков поверхности водосбора реки Ишим

3.1 Создание цифровой модели рельефа (ЦМР) для разработки карт водосбора реки Ишим

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на характер водотоков водосборного бассейна является рельеф территории, изучению которого необходимо уделять значительное влияние. Данные о рельефе становятся приоритетными при выявлении причин и последствий затопления. В связи с научно-технической революцией в последнее время изучение особенностей рельефа территории и его влияния на различные процессы и явления стало возможном путем построения и анализа цифровых моделей рельефа (ЦМР), которые играют значительную роль для выработки эффективных мер по борьбе с неблагоприятными для жизнедеятельности человека явлениями.

За ЦМР в большинстве научных исследованиях принимают непрерывное цифровое представление топографической поверхности в виде регулярной сети ячеек [18]. Основной объем данных для построения ЦМР получается посредством аэрофотосъемки, космосъемки, проведения измерительных полевых работ и осуществления гидролокационной съемки местности. А. Н. Чумаченко [125] по форме представления ЦМР делит на GRID (регулярные модели) и TIN (нерегулярные модели). В GRID-моделях значения интерполируются по высотам в нескольких соседних ячейках, в основе построения TIN-моделей находится триангуляция Делоне. Согласно определению, которое используют разработчики ГИС, цифровая модель рельефа (ЦМР) представляет собой растровое представление непрерывной поверхности, обычно ссылающееся на поверхность Земли [1]. Точность этих данных определяется в первую очередь разрешением (расстояние между точками образца). Другие влияющие на точность факторы – это тип данных (целочисленные или с плавающей точкой) и фактической выборка поверхности при создании оригинальной ЦМР [36].

Одним из важнейших преимуществ использования ЦМР является то, что на сегодняшний день эти данные в большинстве своем доступны и открыты. Это связано с развитием современных компьютерных технологий по созданию ГИС, которые представляет собой совершенно уникальный инструмент для анализа различных природных явлений. Современные геоэкологические исследования предъявляют высокие требования к точности привязки данных и их размещению на геоэкологических картах [10]. В отличии от материалов космической съемки или данных цифрового рельефа, топографические карты, которые бы были максимально детальными, являются менее доступными, что делает данные ЦМР еще более ценными для проведения геоэкологических исследований.

Информация, полученная посредством построенной ЦМР, в данном исследовании будет включена и использована для эффективной схематизации и параметризации рассматриваемой области.

Для работы с ЦМР автором выбрана матрица высот на основе SRTM (shuttle radar topographic mission – SRTM), поскольку этот набор данных имеет почти глобальный охват с разрешением, подходящим для гидрологического анализа крупных речных бассейнов.

Радарная топографическая съёмка большей части территории земного шара, за исключением самых северных (выше 60^0) и южных широт (выше 54^0), а также океанов, проведена NASA за 11 дней в феврале 2000 г. Объем собранной информации составил более 12 терабайт данных, а их обработка продолжается до сих пор. Часть этой информации находится в свободном доступе. Среди пользователей наиболее популярны данные миссии SRTM-4: исходные сведения распространяются квадратами размером 1:1, при максимальном доступном разрешении 3 арксекунды (90 м). С целью избегания объединения в квадратах пикселей без сведений, нижний ряд и правая колонка являются дублирующими и повторяются на соседней матрице. Данные являются простым 16-битным растром, значение пиксела соответствует высоте над уровнем моря в выбранной точке, а значение минус 32768 соответствует «no data» (нет сведений) [73].

Название квадрата данных ЦМР соответствует координатам его левого нижнего угла. Например, квадрат, в котором расположен исследуемая область водосборного бассейна реки Ишим занимает территорию между 65^0 и 75 ^{0}с.ш., 50 ^{0} и 55 ^{0}в.д. [16]. Посредством изменения шкалы отображения высоты рельефа в ГИС до привычных тонов, создана ЦМР бассейна р. Ишим, представленная на рисунке 16.

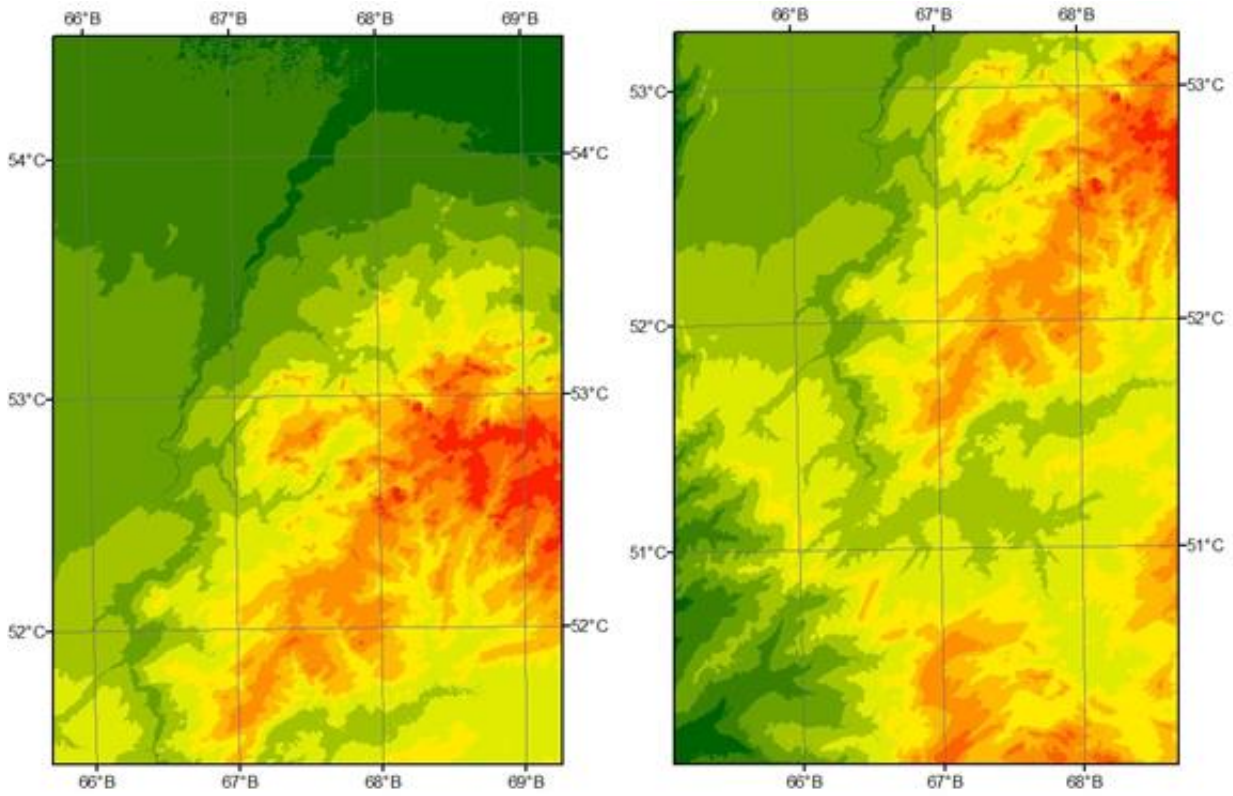

Рисунок 16 – Цифровой рельеф водосборного бассейна реки Ишим после изменения градиентной раскраски поверхности

Более темные, зеленые тона, представленные на рисунке 16, соответствуют понижениям рельефа. Использование подобной окраски позволяет при первичном рассмотрении выделить ключевые формы рельефа (водоразделы), а также определить местоположение долины р. Ишим и ее притоков.

В проводимом исследовании данные SRTM были использованы для визуализации рельефа водосбора и создания на его основе необходимой для геоэкологического мониторинга гидро-ЦМР.

3.2 Построение гидрологически корректной ЦМР для анализа территории водосбора реки Ишим

Использование ЦМР позволяет решить лишь ряд исследовательских задач. В соответствии с методикой Б. А. Новаковского [95], именно цифровые модели рельефа (ЦМР), полученные фотограмметрическим способом по материалам дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) могут успешно служить источником данных для получения разнообразной информации, а также изучения водных объектов, моделирования и прогнозирования областей затопления в ГИС. Среди всего многообразия данных ДЗЗ в настоящее время все большую роль играют космические снимки высокого и сверхвысокого разрешения. Одно из их главных преимуществ заключается в том, что затраты на их приобретение существенно ниже стоимости проведения наземных геодезических работ и организации аэросъемки, а детальности достаточно для создания качественных ЦМР и различных карт [94].

Однако, наличие неточностей и артефактов в цифровых моделях рельефа делает невозможным их использование для решения широкого круга задач. Поэтому, при анализе наводнений, моделирование зон затопления и проведения различных гидрологических расчетов целесообразно создать гидрологически-корректную цифровую модель рельефа (гидро-ЦМР).

Под гидрологически корректности ЦМР С. Г. Яковченко [130] понимает модель с отсутствием фиктивных точек стока (фиктивные депрессии), а также, потоковые линии (тальвеги) на ЦМР должны совпадать с исходными отрезками речной сети.

В данном исследовании гидро-ЦМР должна представлять собой модель, в которой форма и направление смоделированных с помощью ГИС водотоков будет совпадать с реальными водными объектами в границах исследуемой территории. Результатом построения такой модели является отражение настоящего характера движения водных потоков. В отличие от обычной цифровой модели рельефа, гидро-ЦМР позволит наиболее точно определить границы исследуемого

водосборного бассейна, даст возможности для моделирования гидрографической сети с определением сети временных водотоков. Для построения гидро-ЦМР на территорию водосборного бассейна р. Ишим в качестве исходной информации были взяты данные радарной топографической съемки SRTM с разрешением 30 м, или одна угловая секунда. Это обусловлено тем, что разрешение и точность данной модели вполне подходят для анализа зон затопления. Построение гидро-ЦМР выполнено с помощью программного комплекса ESRI ArcGIS 10.4 [5], а также использованы методики, указанные в ряде российских и зарубежных источников [7, 9, 17, 87].

При работе с данными SRTM необходимо проводить соответствующую корректировку, т.к. в них учтены все объекты, находящиеся на поверхности (здания, растительный покров), а также присутствуют множественные артефакты и ошибки в значениях высот. Объектом данного исследования выступает территория с преимущественно равнинным рельефом (северная часть Сарыарки, Северо-Казахская равнина) и степной растительностью, что в некоторой степени снижает возможные ошибки. Путем автоматизированного заполнения всех локальных понижений устранены погрешности и неточности в значениях ячеек растра, что максимально приближает модель к реальной поверхности рельефа. Не выполнение описанных выше операций приведет к тому, что в дальнейшем при моделировании сеть водотоков может иметь разрывы, а это, безусловно, является недопустимым.

На втором этапе путем сравнения полученной модели с данными топографических карт исправлялись максимальные отклонения модели от реальной поверхности рельефа. Для анализа и оценки зон затопления территории в программном комплексе ESRI ArcGIS 10.4 было последовательно проведено несколько операций, взаимосвязанных между собой. Для работы с элементами гидросети использован тематический набор инструментов Spatial Analyst «Гидрология», алгоритм использования которого представлен на рисунке 17.

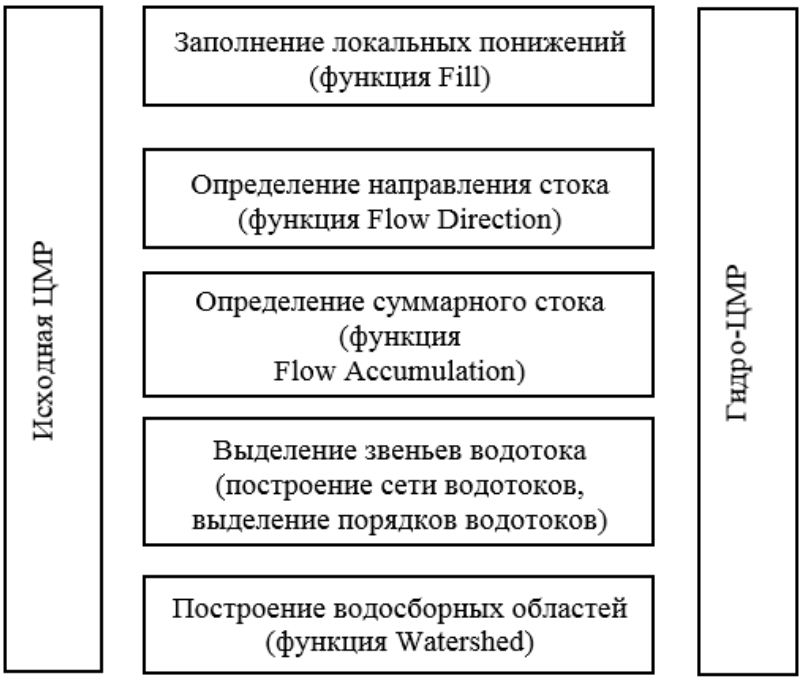

Рисунок 17 – Алгоритм построения гидро-ЦМР

Процесс обработки, согласно рисунку 17, включал следующие шаги: расчёт поверхности направления речного стока, через создания растра направления стока (flow direction); расчёт суммарного стока (flow accumulation) на основе расчета поверхности направления стока; вычленение гидросети (stream network), основанного на указанном размере ячейки (flow accumulation).

В рамках первой операции определялись направления стока в каждой ячейке модели путем анализа углов и экспозиций склонов, определенных по ЦМР. В ходе завершения операции получен сформированный растр направления стока для дальнейшей работы в ГИС, цветовая окраска которого отражает особенности рельефа бассейна (рисунок 18).

Вторая операция – вычисление суммарного стока, т. е. количества всех ячеек, чей сток попадает в ячейку, лежащую ниже по склону. Ячейки с самым большим значением суммарного стока образуют некие линии, выделяющиеся относительно всего остального фона. Полученные линии станут основой для создания в дальнейшем сети водотоков. Ячейки, суммарный сток которых принимает значение «0», – это территориальные «пики» (возвышения), с помощью которых визуализируются линии водоразделов. Для создания растра,

содержащего информацию о форме водотоков, необходимо провести третью операцию – перекодировку, т. е. задать некое пороговое значение показателя суммарного стока, при котором ячейка будет считаться водотоком.

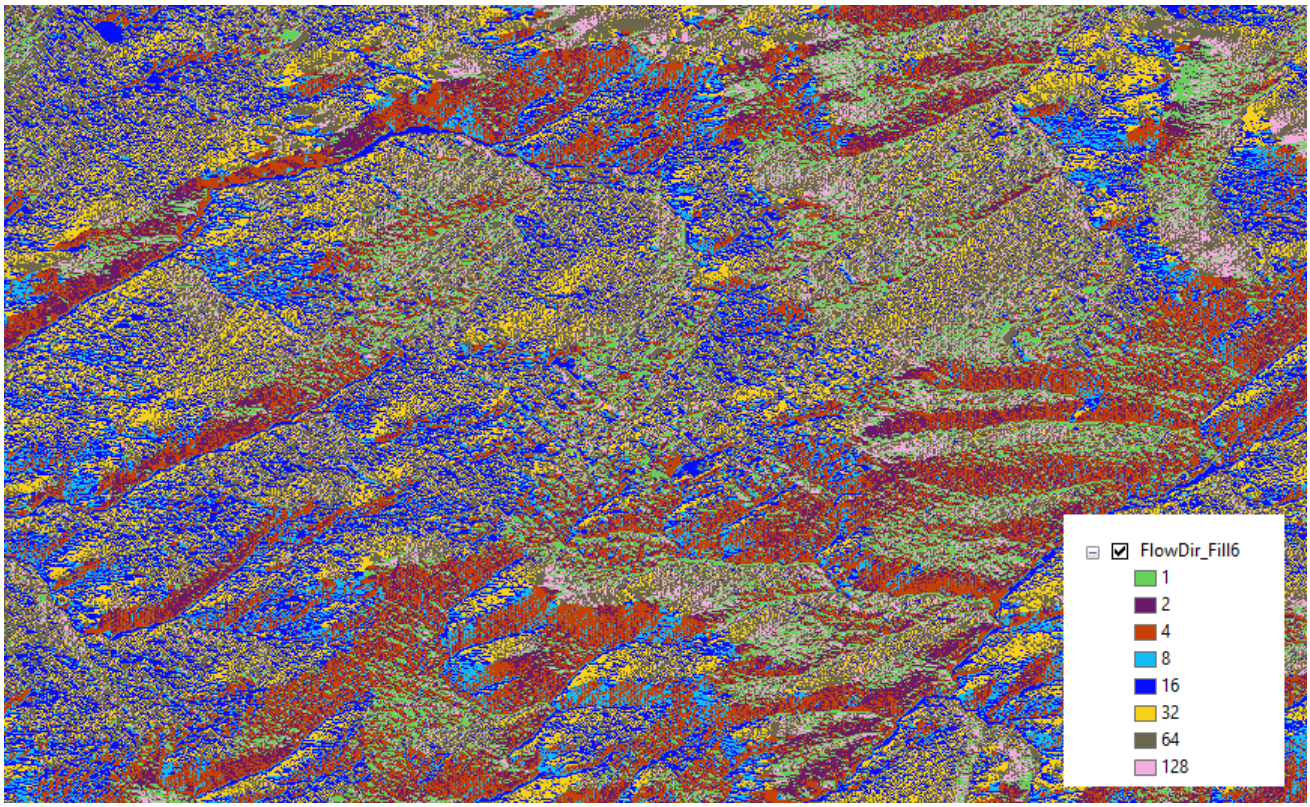

Рисунок 18 – Растр направления стока. Цветовая окраска показывает количество перетекающих ячеек

Описанные выше операции преобразования исходных данных составили основу для построения новой гидрологически-корректной ЦМР. По их завершению выделены звенья на основе растра водотоков. Следует отметить, что здесь будут видны как реальные, постоянные водоемы, так и потенциально возможные водотоки. В результате получена гидрологическая сеть на территорию бассейна и прилегающие к ней территории (рисунок 19).

На рисунке 19, зеленым обозначены водотоки, полученные в результате применения инструментов группы «Гидрология» на ЦМР [79].

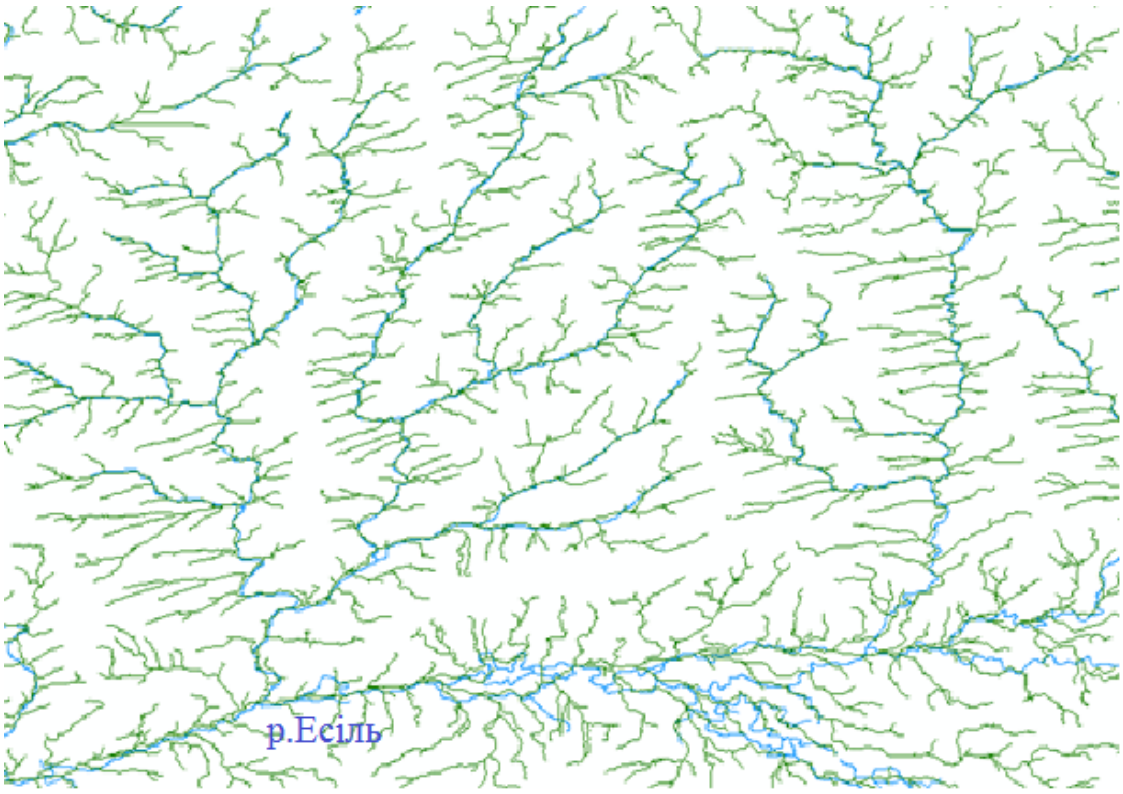

Рисунок 19 – Сопоставление расчетного дренажа с векторным слоем речной сети р. Ишим (порог отсечения задан равным 1000 ячеек)

Завершающим этапом подготовки гидро-ЦМР для исследуемого бассейна стало автоматизированное выделение непосредственно самого водосборного бассейна р. Ишим. Однако для этого в ArcGIS необходимо обозначение «точек устьев» – мест впадения одного водотока в другой. С помощью инструмента «Snap Pour Point» вручную была проведена данная операция. Данный инструмент будет выполнять поиск ячеек с наивысшим суммарным стоком в пределах величины допуска вокруг заданных точек устьев и сдвигать их, т. е. фактически привязывать к ячейке с наибольшим суммарным стоком в пределах заданного расстояния.

На финальном этапе, после использования инструмента «Водосборный бассейн» получен контур бассейна реки Ишим, показывающий границы водосборного бассейна, основанный на данных высот ЦМР (рисунок 20) [79].

Рисунок 20 – Водосборный бассейн р. Ишим, построенный на основе ЦМР

Построенный водосборный бассейн р. Ишим, соответствует бассейну реки, выделенному по водоразделам на основании топографических карт региона, расположение и конфигурации крупных рек совпадают. Автоматизированное выделение данного бассейна на основание построенной гидро-ЦМР позволило проводить необходимые расчеты при дальнейшем изучении.

3. 3 Выделение зон затопления в бассейне реки Ишим на основе данных космического мониторинга (Акмолинская область)

Согласно данным, приведенным в научной литературе [51], данные ДЗЗ позволяют не только проводить наблюдения за развитием половодья, но и получать оперативный прогноз затопления. С экономической точки зрения, использование подобных данных позволяет оценивать нанесенный наводнениями ущерб, а также вовремя выявлять участки, которым угрожает затопление. Дистанционный мониторинг паводковой обстановки, как и другие виды

мониторинга, подразделяется на региональный и локальный. В данном исследование космический мониторинг носит локальный характер, т.к. обширная территория рассматриваемого региона не позволяет получить космические снимки с одинаковой хронологией создания для всего участка. При достижении цели мониторинга на локальном уровне потребовалось регулярное получение снимков высокого и сверхвысокого разрешения, что технически оказывается не всегда возможным. Весной, в период прохождения половодья, ввиду установления определенных метеорологических условий (высокий процент облачности) некоторые снимки стали недоступными для дешифрования. При геокологическом мониторинге поверхностных вод бассейна р. Ишим в данной работе вполне пригодны оказались данные общедоступных (Landsat-7 и Landsat-8) съемочных систем, которые в совокупности обеспечили покрытие исследуемой территории снимками раз в 16 дней.

Неблагоприятная гидрологическая обстановка в период весеннего половодья неоднократно проявлялась на одном из притоков р. Ишим – р. Жабай с гидропостом в устье р. Жабай (г. Атбасар, население – 29673 человека [96]). Именно на р. Жабай в последние 10 лет отмечаются интенсивные весенние паводки, существенно осложняющие социально-экономическое развитие населенных пунктов в данном бассейне.

К основным причинам, выделенным Н. И. Коронкевичем [72], вызывающим затопления, относятся причины природного характера, такие как выпадение обильных осадков, образование заторов на водотоках, способствующие резкому подъему уровня вод, традиционное половодье, типичное для рек равнинной территории умеренного пояса, вызванное быстрым таянием снега в весенний период. Все перечисленные проблемы являются основными причинами, которые определяют возможность подъема воды в реках исследуемого бассейна.

С целью более подробного изучения подтопленных территорий данной местности в период весеннего половодья использованы данные космических снимков Landsat-7 и Landsat-8 за 2007, 2014, 2016 и 2017 г.

Основываясь на трудностях при выборе снимков, указанных выше, для выбранного участка было отобрано и обработано по 6 снимков для периода половодья (24 снимков) и по 4 снимка для периода межени (12 снимков). На отобранных снимках облачность либо отсутствует, либо ее процент незначителен (до 10 %).

Для обработки и интерпретации данных снимков использован способ классификации растровых изображений в комбинации 7-6-4 (рисунок 21).

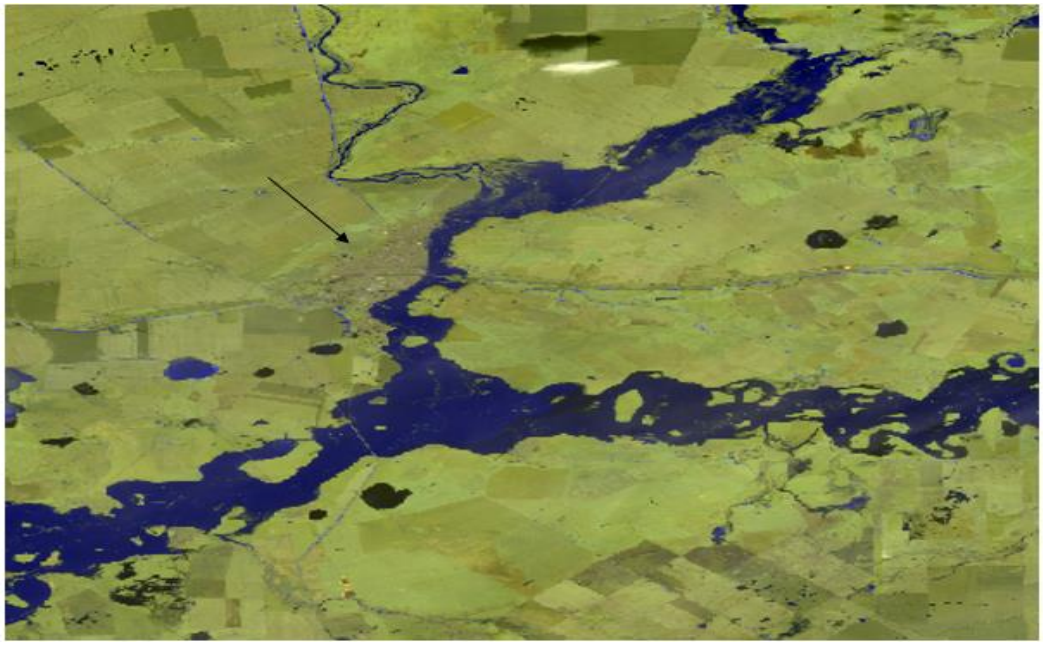

Рисунок 21 – RGB-композит для участка впадения р. Жабай в р. Ишим на 19 апреля 2017 г. Стрелкой указана городская застройка

Автоматизированное выделение водной поверхности не представило большой сложности, поскольку водные объекты в пространстве спектральных признаков резко отличаются от других природных объектов, окружающих их. В научной литературе существует несколько методов автоматического проведения границы суши и воды, которые основаны на чрезвычайно низкой отражательной способности воды в ближнем и среднем инфракрасных диапазонах спектра. Для автоматического выделения водных объектов можно использовать даже прямой анализ яркости в ближнем и среднем ИК каналах. Еще эффективнее методы, основанные на неуправляемой классификации. В данной работе автором использовался метод определения границы суши и воды на основе

вегетационного индекса NDVI. Расчет данного индекса проводился по алгоритму, представленному на сайте независимого информационного ресурса, посвященного географическим информационным системам (ГИС) и дистанционному зондированию Земли Gis-Lab [6].

Сам индекс NDVI рассчитывается по формуле (1).

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED – отражение в красной области спектра.

Согласно этой формуле, плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей.

Как установлено в исследованиях [11, 13, 15] яркость воды в оптическом диапазоне падает с увеличением длины волны и в ближнем ИК канале становится почти равной нулю (за исключением случаев «цветения» воды), то и ее NDVI будет намного ниже, чем у других природных объектов.

Расчет NDVI происходил в «Растровом калькуляторе» ГИС ESRI ArcGIS. Поскольку исходные растровые каналы снимка Landsat-7 имеют целочисленный тип пиксела (integer), для корректного расчета тип данных был изменен на float (значения с плавающей запятой).

По расчетам было установлено, что отрицательные значения NDVI соответствуют только водным объектам. Все остальные объекты на снимке имеют положительные значения NDVI, т.е. их яркость в ближней ИК зоне выше, чем в красной. Таким образом, водные объекты и сушу были разделены по пороговому значению NDVI. В результате был получен бинарный растр (маска воды) в период половодья, в котором значение «1» соответствует воде, а «0» – суше.

В результате обработки космических снимков с применением неуправляемой классификацией для получения индекса NDVI, была получена

водная поверхность для участка впадения р. Жабай в р. Ишим на 19 апреля 2017 г. (рисунок 22).

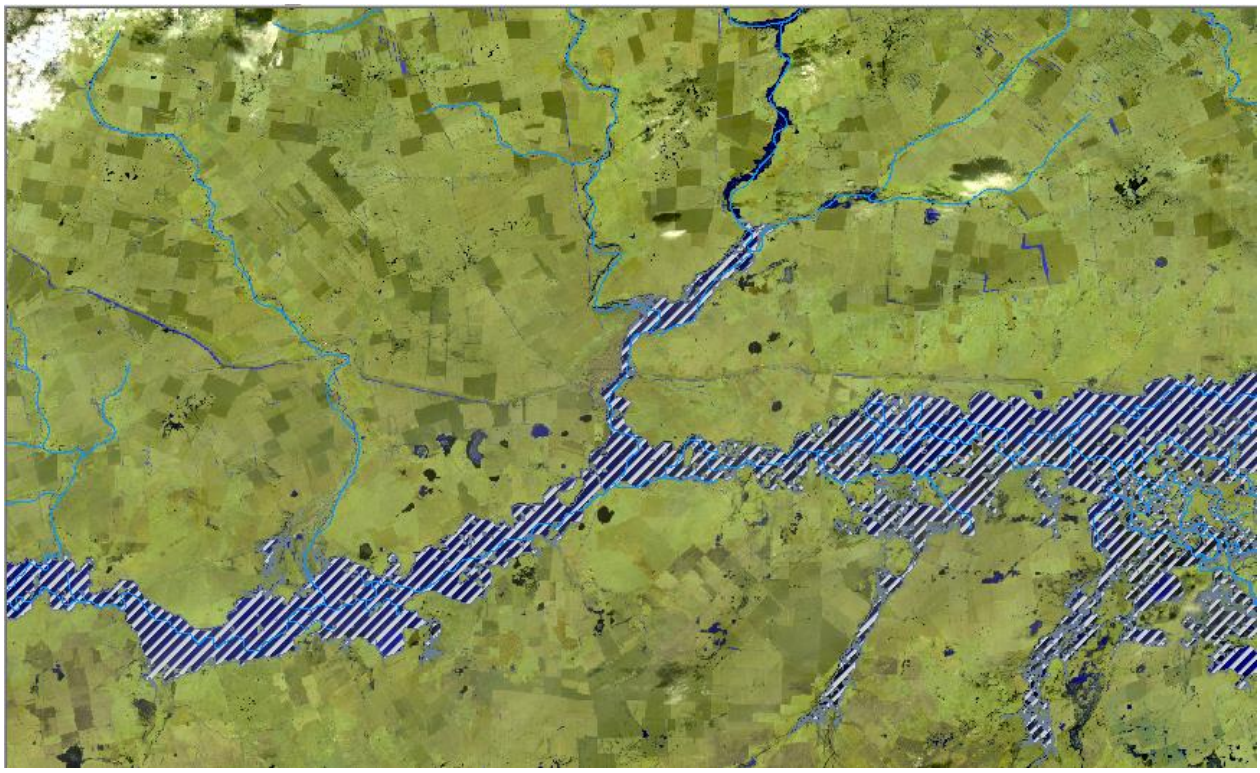

Рисунок 22 – Площадь водной поверхности, определенная по космическим снимкам на 19 апреля 2017 г.

Как видно из рисунка 22, после наложения RGB-композита и полученной «маски», выделенная площадь соответствует площади водной поверхности.

Для анализа площади затопления необходимо провести сравнение с уровнем воды в период летнего состояния реки и обработать данные снимков в период межени. Обработка и интерпретация космических снимков проведена по аналогии со снимками в период половодья. Как уже было указано в данном исследовании, в летний период реки данного бассейна могут значительно изменить площадь своей водной поверхности, что связано с установлением жаркой погоды без осадков, а также забором воды на полив дачных участков и др.

Для анализа уровня реки в период межени отобрана серия снимков на 24 июля 2017. Данная дата соответствует предмету анализа исходя из климатических особенностей местности. Полученный результат дешифрования и обработки снимков вполне соответствует вышеуказанному предположению (рисунок 23).

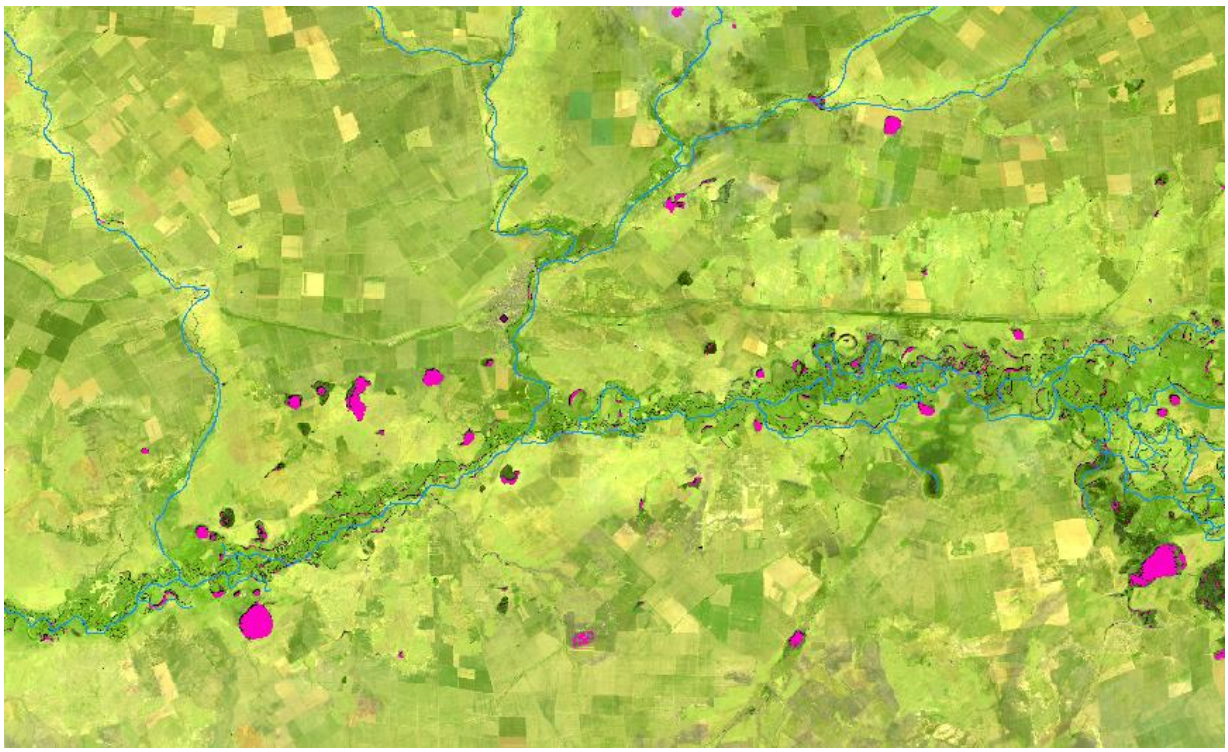

Рисунок 23 – Территория водных поверхностей долины р. Ишим, определенная по космическим снимкам на 24 июля 2017 г. Розовый цвет – водная поверхность

Участки, выделенные на рисунке 23, соответствуют водной поверхности в период межени. В соответствии с многолетними данными о режиме реки, этот период соответствует самому низкому уровню воды.

Для того чтобы проследить как изменялась площадь рассматриваемой водной поверхности р. Жабай и части р. Ишим, путем наложения полученных масок в разные режимные периоды с помощью ГИС получено единое растровое изображение, где разными цветами отображены различные характеристики (рисунок 24). Результаты обработки снимков весеннего половодья 2016 года для данного района также были наложены на имеющиеся растры (рисунок 25).

Согласно данным картосхем 24 и 25, площадь водной поверхности в период половодья значительно превышает уровень реки в летний период. На момент пика половодья для исследуемой зоны в 2016 году нет снимка, поэтому использован снимок территории реки через 7 дней. Однако, масштабы территорий, покрытых водой спустя неделю после пика половодья, позволяют судить о масштабе

наводнения. Площадь водной поверхности для 2017 года распространяется далеко за пределы пойменной части.

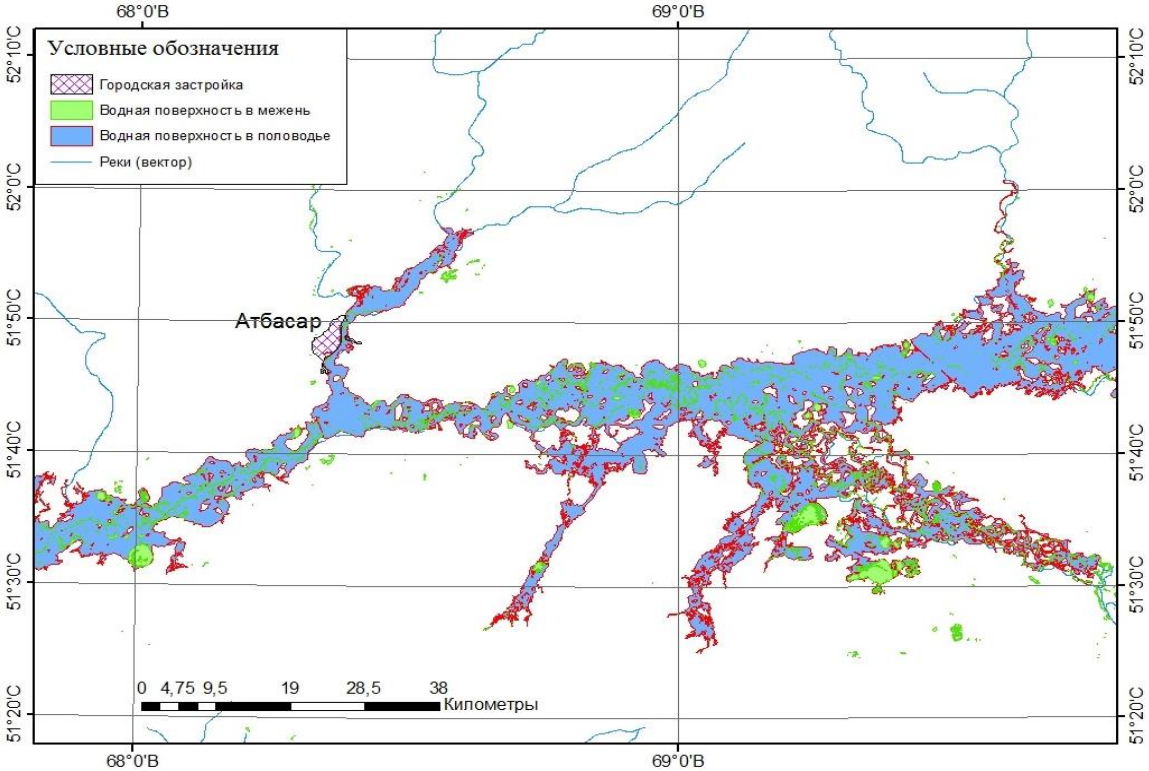

Рисунок 24 – Соотношение территорий водных поверхностей бассейна р. Ишим в период затопления и в период межени, 2017 г.

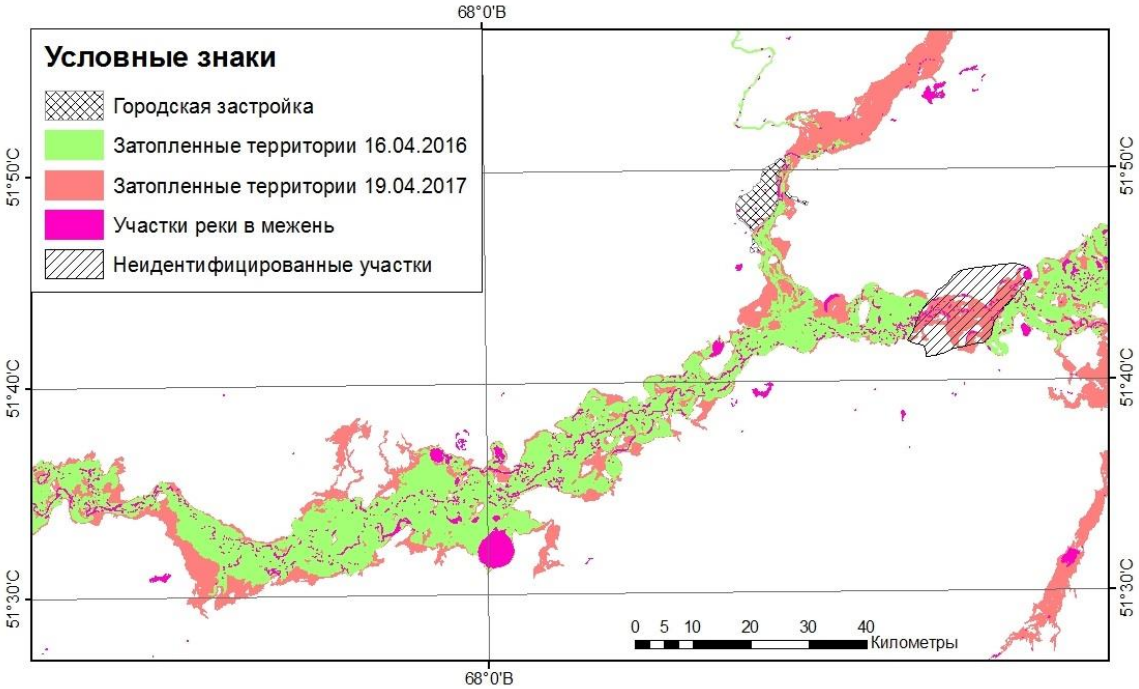

Рисунок 25 – Соотношение территорий водных поверхностей бассейна р. Ишим в период затопления и в период межени, 2016,2017 г.

Именно наводнение в 2017 г. по оценкам местным властей нанесло данной территории максимальный ущерб. В местах замкнутых понижений в летнее время образуются неглубокие озера, преимущественно в южной части водосбора, которые на рисунках четко выделяются по цвету и округлой замкнутой форме.

С наибольшей частотой в зону подтопления попадает территория г. Атбасар, который расположен на правом берегу правого притока р. Ишим – р. Жабай. Используя уже полученные результаты, можно представить данный участок с выделением зоны подтопления (рисунок 26).

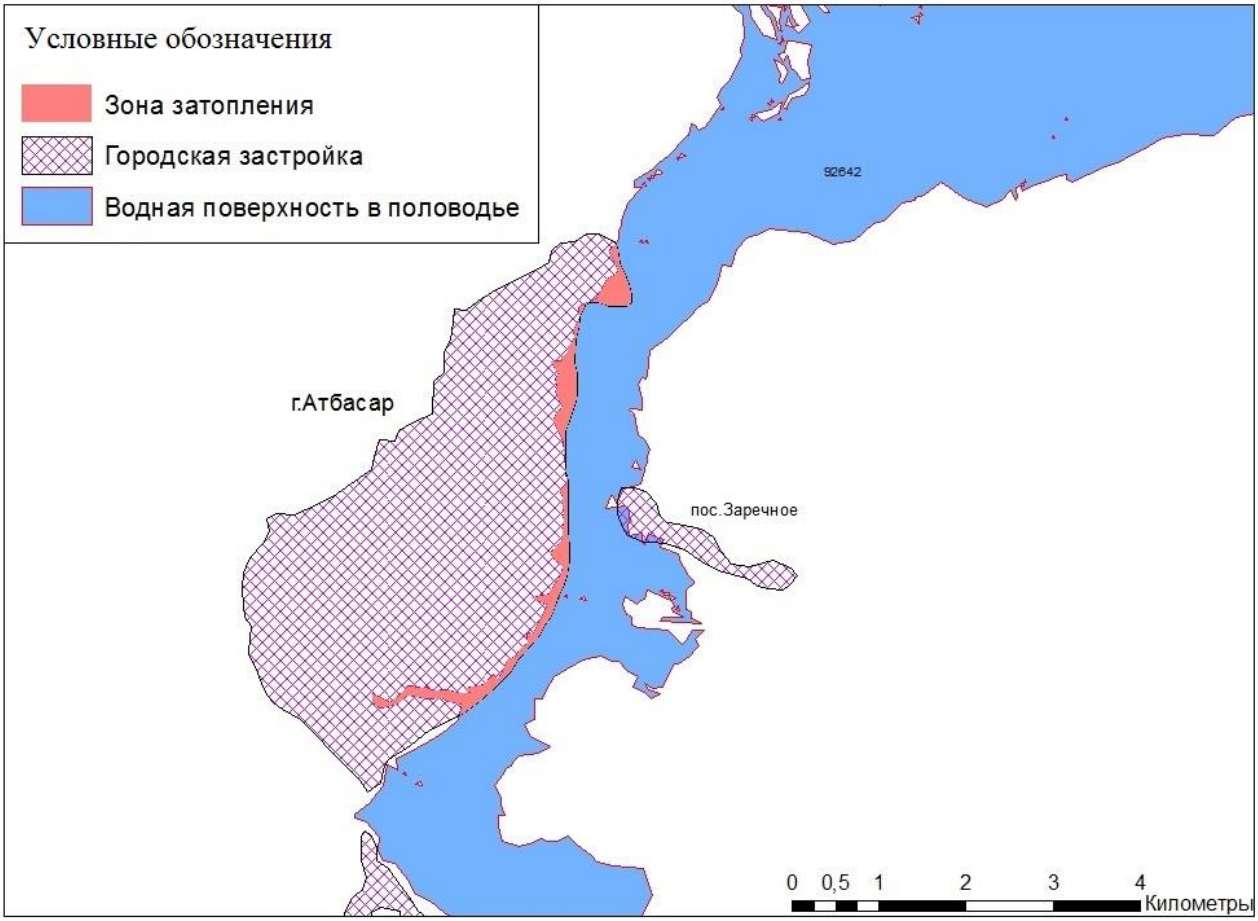

Рисунок 26 – Зона подтопления г. Атбасар, 17 апреля 2017 г.

Исходя из полученных данных обработки космических снимков на рисунке 23, с помощью ГИС рассчитана площадь затопленной территории в период весеннего половодья 2017 г. – 0,73 км^2 при площади города в 13,7 км^2 [78].

3. 4 Результаты обработки данных дистанционного зондирования при мониторинге водосбора реки Ишим

С целью получения результатов мониторинга с использованием дистанционных методов в данном исследовании использованы возможности ГИС ArcGis 10.4, а именно инструменты группы «Гидрология»:

1. Выбрана и обозначена система обработки данных ЦМР для получения корректной гидро-ЦМР исследуемого района. Построена модель направления стока в бассейне р. Ишим (среднее течение), показывающая реальное направление стока на местности; модель суммарного стока территории, с изображением территорий увеличивающегося стока; модель системы водотоков с учетом отметок высот рельефа.

2. Путем сопоставления речной сети по топографическим картам и дренажной сети подтверждено соответствие полученных расчетов с помощью ГИС с реальной сетью крупных водотоков на исследуемой местности, выделена и определена площадь водосборного бассейна реки Ишим в пределах Северного Казахстана.

В результате обработки и интерпретации космических снимков в период весеннего половодья и межени для среднего течения р. Ишим на территории впадения в нее р. Жабай:

3. Определена территория, занимаемая во время разлива реки, а также участки долины, занятые рекой и водотоками в период межени.

4. Путем сопоставления данных установлено, что в местах замкнутых понижений в летнее время образуются неглубокие озера, преимущественно в южной части водосбора («степные блюдца»).

5. Рассчитана площадь подтопления крупнейшего населенного пункта на данном участке, г. Атбасар, которая составила 0,73 км^2 при рассчитанной площади городской застройки в 13,7 км^2, что составляет 5 % территории города (без учета пригородных построек и дачных территорий).

6. Установлено, что использование индекса NDVI возможно для получения данных относительно половодья реки, но имеются проблемы с построением растров в период межени.

7. В целом, использование гидрологически корректной цифровой модели рельефа позволяет провести анализ постоянных и временных водотоков в бассейне реки Ишим и определить зоны затопления в период половодья при условии отсутствия полноценной сети гидрологических постов и станций на водных объектах данного водосбора.

На данном этапе исследования появилась необходимость геоэкологического картографирования, которое позволило бы проанализировать данное неблагоприятное гидрологическое явление более детально и выявить его место в системе геоэкологического состояния рассматриваемой территории.

4 Геоэкологическая оценка и геоэкологическое картографирование территории водосбора реки Ишим для совершенствования системы геоэкологического мониторинга

4.1 Геоэкологическая оценка природных условий в пределах бассейна реки Ишим для жизнедеятельности человека

Как показывают многочисленные исследования в данной области, оценка экологического потенциала ландшафтов представляет собой достаточно сложную задачу. Причиной выступает многообразие критериев этой оценки и отсутствие для них общей единицы измерения.

А. Г. Исаченко [58, 59] под экологическим потенциалом ландшафта подразумевает его «способность обеспечивать потребности населения во всех необходимых первичных (т.е. собственно экологических, не связанных с производством) средствах существования – тепле, воздухе, воде, источниках пищевых продуктов, а также в природных условиях трудовой деятельности, отдыха, лечения, духовного развития».

В качестве общего критерия им принята тепло- и влагообеспеченность, от которых зависит территориальная дифференциация биологических, биогеохимических и многих других экологических показателей, а интегральным показателем тепло- и влагообеспеченности служит индекс биологической эффективности климата (ТК), представленный произведением годовой суммы активных температур воздуха выше 10 °С на коэффициент увлажнения (отношение годовой суммы осадков к годовой испаряемости).

В зависимости от величины индекса биологической продуктивности ландшафты распределены по 5 уровням экологического потенциала: от 0 до 8 – очень низкий, от 8 до 12 – низкий, от 12 до 16 – средний, от 16 до 20 – относительно высокий, 20 и более — высокий. Следует отметить, что принятую группировку надо рассматривать как примерную.

По данным климатических условий, приведенных в главе 2 данного исследования, на территории водосборного бассейна р. Ишим, выделены 3 подзоны, отличающиеся показателями суммы активных температур воздуха и коэффициентом увлажнения. Основываясь на результатах проведенных расчетов по определению индекса биологической продуктивности по методике Г. А. Исаченко, определены 3 индекса и выделены соответствующие уровни экологического потенциала ландшафтов для исследуемого бассейна (таблица 10).

Таблица 10 – Уровни экологического потенциала ландшафтов в бассейне р. Ишим

Территория	Сумма активных температур выше 10 ^{0}С, ^{0}С	Коэффициент увлажнения	Индекс ТК	Уровень экологического потенциала ландшафтов
К северу от 55 ^{0} с.ш.	1950–2200	0,77–0,63	13,3	средний
Южнее г. Перопавловск	2200–2150	0,63–0,56	13	средний
Вверх по течению р. Ишим от г. Сергеевка	2150–3000	0,57–0,27	17,1	относительно высокий

Как видно из таблицы 10, два участка имеют одинаковый уровень экологического потенциала ландшафтов – средний (от г. Сергеевка до границы с Российской Федерацией). Нет низкого и высокого показателя индекса, что характерно для территории, которая имеет незначительную протяженность с севера на юг и выровненный рельеф.

Объединив территории с одинаковым индексом биологической продуктивности, автором выделены 2 ландшафтные зоны, отличающиеся своим экологическим потенциалом (рисунок 27).

Согласно полученным результатам, экологический потенциал ландшафтов бассейна р. Ишим сменяется с севера на юг от среднего (13–13,3) до относительно высокого (17). Средний экологический потенциал характерен для участков, соответствующих лесостепной зоне и злаково-разнотравным степям. Южная часть бассейна с относительно высоким потенциалом, имеющая наиболее

развитую систему водотоков, покрыта разнотравно-ковыльной растительностью степей. Отмеченная закономерность соответствует широтной зональности смены ландшафтов на равнинах. При этом стоит отметить, что ландшафт с относительно высоким уровнем биологической продуктивности занимает более половины рассмотренной территории.

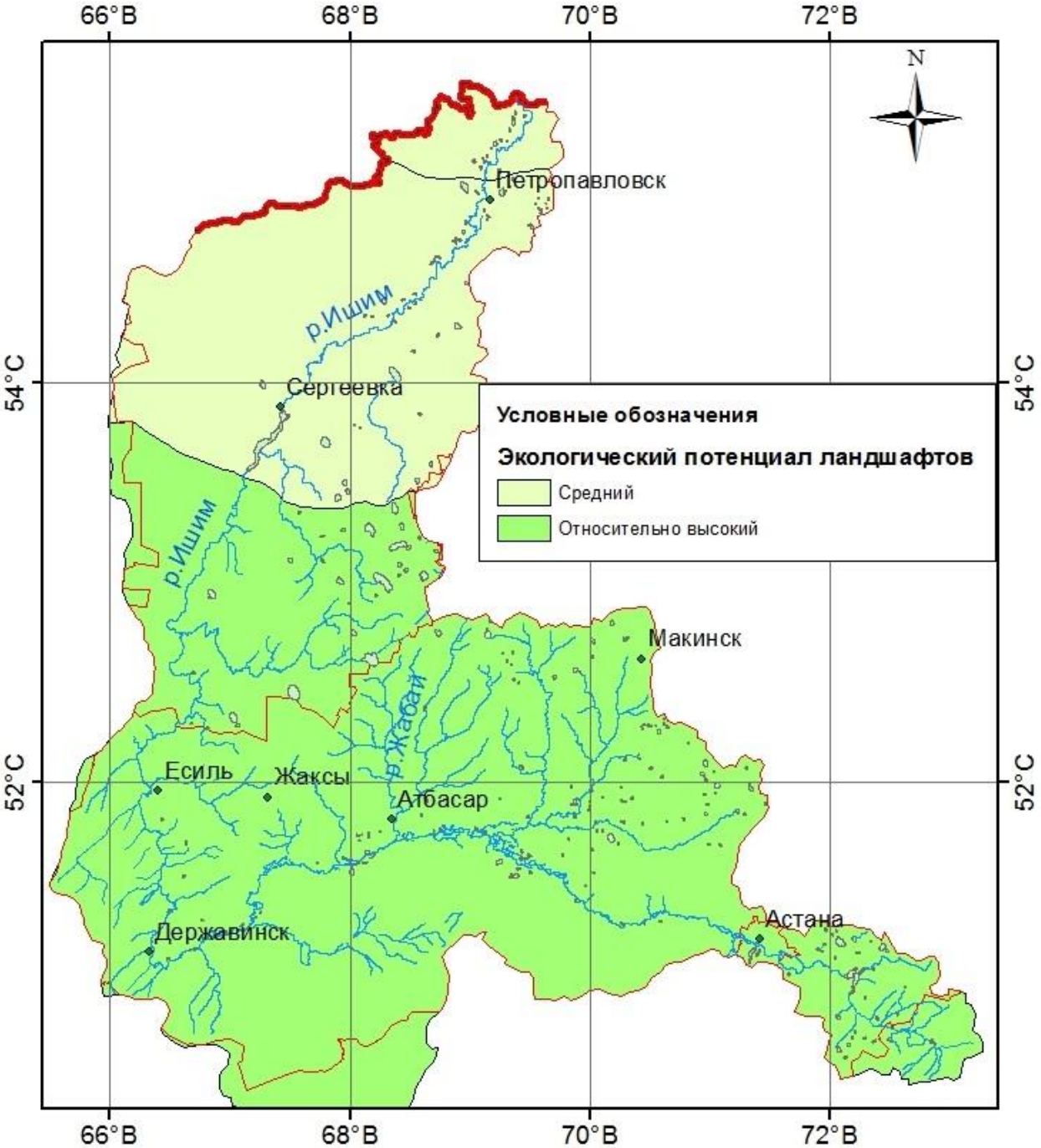

Рисунок 27 – Экологический потенциал ландшафтов бассейна р. Ишим (рассчитанный по методике А. Г. Исаченко)

Территории данных ландшафтов активно используются в сельском хозяйстве. Значительная часть распахана под посевы зерновых культур. Согласно официальным данным [21], по Ишимскому бассейну площадь лиманного орошения составляет 86302 га, площадь регулярного орошения – 53530 га. Площадь обводнения пастбищ по бассейну – более 1893761 га, из них в Северо-Казахстанской области этот показатель значительно выше, чем в Акмолинской области.

Таким образом, одной из форм антропогенного воздействия на ландшафты в бассейне р. Ишим можно считать сельскохозяйственную деятельность населения, связанную главным образом с экстенсивным растениеводством. Высокий уровень вовлеченности ландшафта речного бассейна в хозяйственную деятельность позволяет предположить, что он вносит определенный вклад в изменение качества и количества поверхностных вод бассейна.

4.2 Геоэкологическая оценка и картографирование источников антропогенного воздействия в бассейне реки Ишим

В результате антропогенной деятельности, связанной с освоением целинных земель и развитием инфраструктуры региона – г. Нур-Султан и других центров, на рассматриваемой территории произошло существенное изменение геоэкологических и гидрогеологических условий, связанное с воздействием следующих техногенных и сельскохозяйственных факторов:

- образованием большого количества населенных пунктов и их инфраструктуры: полигоны ТБО, склады ГСМ и удобрений, скотные дворы и навозохранилища, очистные сооружения, частные домовладения и др., оказывающие влияние на загрязнение окружающей среды, в частности поверхностных и подземных (грунтовых) вод;

- резкое увеличение площадей сельхозугодий различного назначения до 70-80 % площади с поливным и орошаемым земледелием, широким использованием минеральных удобрений (азотсодержащих и аммиачно-селитренных и др.);

- строительство гидротехнических сооружений, бетонирование берегов реки Ишим и ее притоков в черте города Нур-Султан (Астанинское вдхрн.);

- нарушение естественного стока атмосферных осадков за счет перепланировки поверхности в результате строительства автомагистралей, высотных насыпей, дамб, траншей и т.д.;

- интенсивное строительство на территории левобережья р. Ишим новой столицы Республики Казахстан с прокладкой инженерных коммуникаций к вновь строящимся зданиям и сооружениям.

Воздействие вышеперечисленных факторов оказало большое влияние и осложнило и без того непростые естественно-природные гидрогеологические и экологические условия рассматриваемой аридной территории.

Естественно-природные объекты на данной территории (рудные месторождения и рудопроявления, геохимические аномалии, химический состав пород почв (грунтов), твердого стока рек) определяют природный фон поверхностных и подземных вод. Естественно-природные факторы в верхнем течении р. Ишим до Вячеславского водохранилища оказывают ограниченное влияние на загрязнение поверхностных вод тяжелыми металлами, сульфидами, концентрации их не превышают ПДК и лишь по кадмию, ртути и меди концентрации в отдельных случаях достигают 1-3 ПДК.

Основываясь на показателях КИЗВ для рек исследуемого бассейна за последние 2017 год [57], выделены основные виды тяжелых металлов, содержание в воде которых превышает кратность ПДК марганца, меди, сульфатов и цинка (рисунок 28). Значение размера ПДК соответствует данным, указанным в Методических рекомендациях по комплексной оценке качества вод по гидрохимическим показателям [83].

Согласно данным рисунка 28, наиболее подверженной антропогенному воздействию можно считать р. Жабай, которая является правым притоком р. Ишим. КИЗВ соответствует «высокому уровню загрязнения», превышение ПДК наблюдается для содержания всех рассмотренных химических элементов, включая тяжелые металлы.

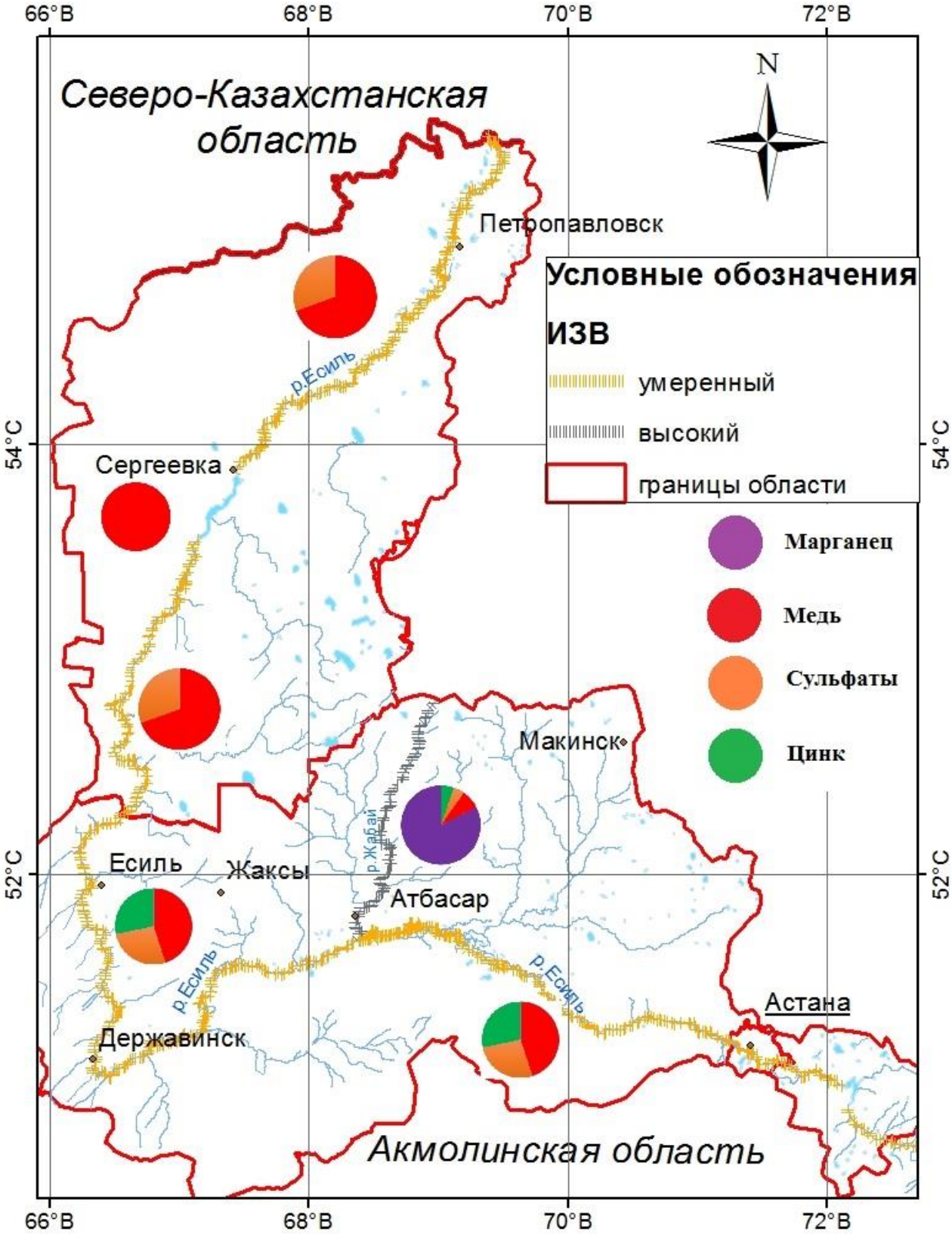

Рисунок 28 – Качество поверхностных вод бассейна р. Ишим (2017 г.)

В долине реки Ишим и ее притоков расположено большое количество сельскохозяйственных предприятий (бывшие совхозы и колхозы, ассоциации

крестьянских хозяйств, предприятия по переработке сельхозпродукции) и проживает большая часть сельского населения, расположены дачные массивы. Эти объекты оказывают влияние на параметры потребления кислорода (БПК5, ХПК), загрязнение воды соединениями азота, фенолами, нефтепродуктами, возможно и тяжелыми металлами.

Для определения территорий, занятых под посевные площади, отобраны и обработаны с помощью ГИС 74 космических снимка Landsat-8 за период июнь-сентябрь 2017 г. По результатам обработки и интерпретации космических снимков составлена картосхема (рисунок 29).

Как видно из картосхемы на рисунке 29, наибольшие сельскохозяйственные площади располагаются в южной части бассейна, на территории Акмолинской области (в т.ч. и в долине р. Жабай). При движении вниз по течению концентрация сельскохозяйственных угодий смещается непосредственно к пойме р. Ишим. Подобное уменьшение посевных площадей обусловлено уменьшением системы притоков и изменением рельефа и почвы, а также растительности к северу Республики.

Промышленные источники техногенного загрязнения включают:

- промышленные и коммунально-бытовые стоки предприятий, городов и поселков в реку или на рельеф местности и поля фильтрации, накопители – испарители сточных вод;

- поверхностные сливы талых и дождевых вод и дренажи с территорий предприятий, селитебных зон, полигонов отходов (золонакопителей, полигонов ТБО и др.);

- организованные и неорганизованные выбросы в атмосферу загрязняющих веществ и их последующая миграция в реку и водохранилища, депонирование в почва.

Гораздо сложнее дать количественную и качественную оценку загрязняющих веществ, поступающих в водоприемники с водосборной площади за счет плоскостного смыва, осажденных атмосферных поллютантов и вредных

веществ, содержащихся в отвалах, свалках промышленных и бытовых отходов, сбросах животноводческих комплексов, почвах сельскохозяйственных угодий.

Рисунок 29 – Территории бассейна р. Ишим, используемые для сельского хозяйства по результатам дешифрования космических снимков Landsat-8

Основными водоприемниками сточных вод являются реки. Проточность и постоянное возобновление стока обеспечивают разбавление загрязненной воды и самоочищение рек. В то же время реки выполняют важнейшую транзитную экологическую функцию в ландшафте, вынося из него значительную часть загрязнителей [58].

4.3 Геоэкологическая оценка и картографирование экологически неблагоприятных природных процессов

Природные явления в окружающей среде, представляющие опасность для человека и его хозяйственной деятельности, называют неблагоприятными и опасными явлениями. По мнению С. М. Мягкова [90], неблагоприятные явления – это результат неполной приспособленности размещения, средств и приемов производства к местным особенностям природы.

За последние 15 лет в Казахстане произошло более 300 наводнений различного происхождения, из них 70 % вызваны с весенним половодьем [28]. В период прохождения весеннего половодья в бассейне р. Ишим часто происходит выход воды на пойму и затопление обширных территорий. Частичному затоплению при прохождении половодий высокой обеспеченности подвергаются населенные пункты, расположенные в пойме реки и ее притоков [82]. Опасность наводнений заключается, в большинстве своем, в трудности предсказания данного явления, связанного с неравномерностью распределения многоводных лет в течении многолетнего периода. К тому же, величина паводка зависит не только от водности года, но и от множества других причин. Немаловажную роль играет и привлекательность территорий для ведения хозяйственной деятельности расположенных недалеко от водного объекта, поэтому вопреки здравому смыслу часто осваиваются именно потенциально опасные прибрежные территорий [121].

Согласно данным ДЧС [88, 111] в Северо-Казахстанской области наибольшие паводки в области отмечены в 1986, 1994, 2002, 2003, 2005, 2007, 2014, 2017 годах. Подтоплению подверглись населенные пункты районов: Ишимского, Айыртауского, Кызылжарского, им. Г. Мусрепова, им. Шал Акына. В Акмолинской области – 1964, 2007, 2014, 2017 г. подтоплению подверглись населенные пункты районов: Атбасарского, Астраханского, Сандыктауского, Целиноградского.

Для анализа и оценки неблагоприятных геоэкологических ситуаций в данном исследовании использованы административно-территориальные единицы

разного уровня (районы, области). Их достоинство заключается в возможности использования обширной статистической информации. Кроме того, как указывает в своей работе А. Н .Витченко [33], сбор информации по сетке административно-территориальных единиц остается наиболее понятным для лиц, принимающих административные и хозяйственные решения. Рассматриваемый в исследовании речной бассейн в пределах Северного Казахстана располагается на территории двух областей – Акмолинской и Северо-Казахстанской, в состав двух областей входит 30 районов и столица РК – г. Нур-Султан (рисунок 30).

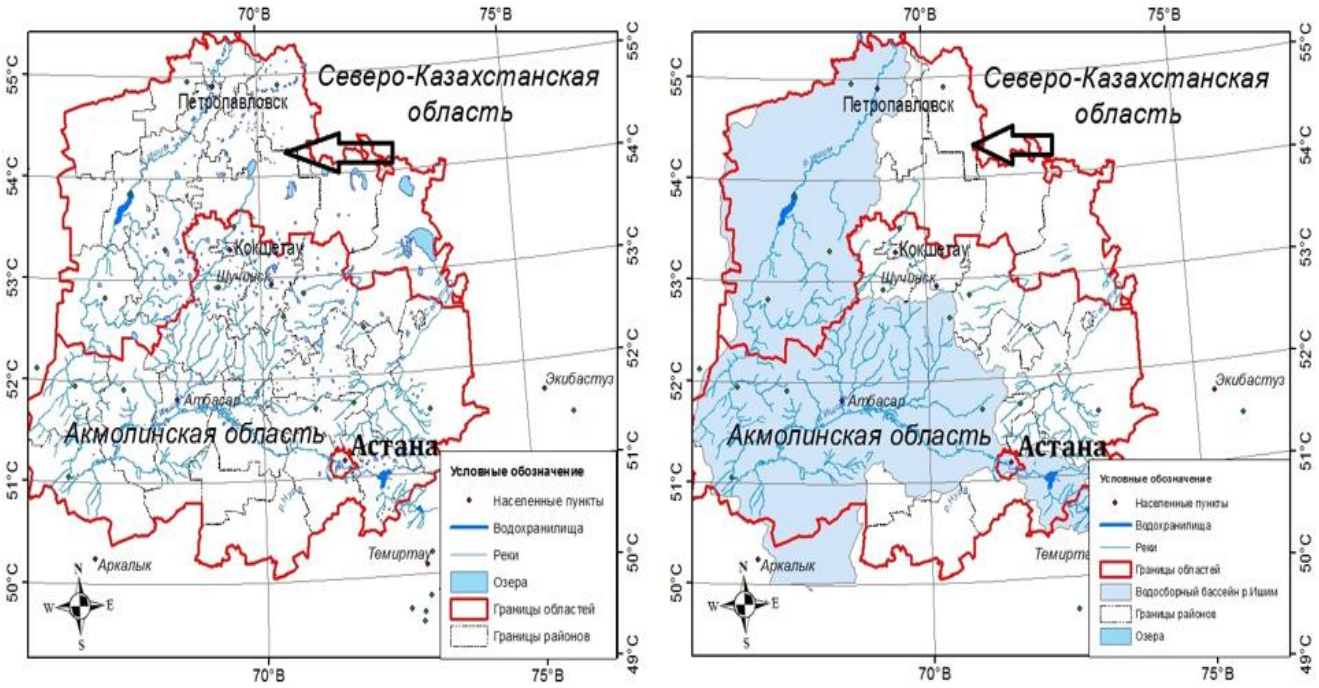

Рисунок 30 – Административно-территориальное деление Акмолинской и Северо-Казахстанской областей с наложением границ водосбора р. Ишим (голубой цвет)

Территория бассейна р. Ишим полностью или частично находится в пределах 25 районов рассмотренных областей.

Анализируя данные ДЧС о подтопленных территориях в паводковый период на территории данных областей, автором выделены районы, в которые подтоплению подвергались населенные пункты в период весеннего половодья 2007, 2014, 2016, 2017 гг.:

- Акмолинская область: Атбасарский, Астраханский, Сандыктауский, Целиноградский районы.

- Северо-Казахстанская область (СКО): Айыртауский, Кызылжарский, Тайыншинский, Ишимский районы, г. Петропавловск.

Основываясь на данных о периодичности подтопления населенных пунктов, определены административные районы с разной повторяемостью данного неблагоприятного явления. С целью визуализации периодичности подтопления населенных пунктов создана картографическая модель (рисунок 31).

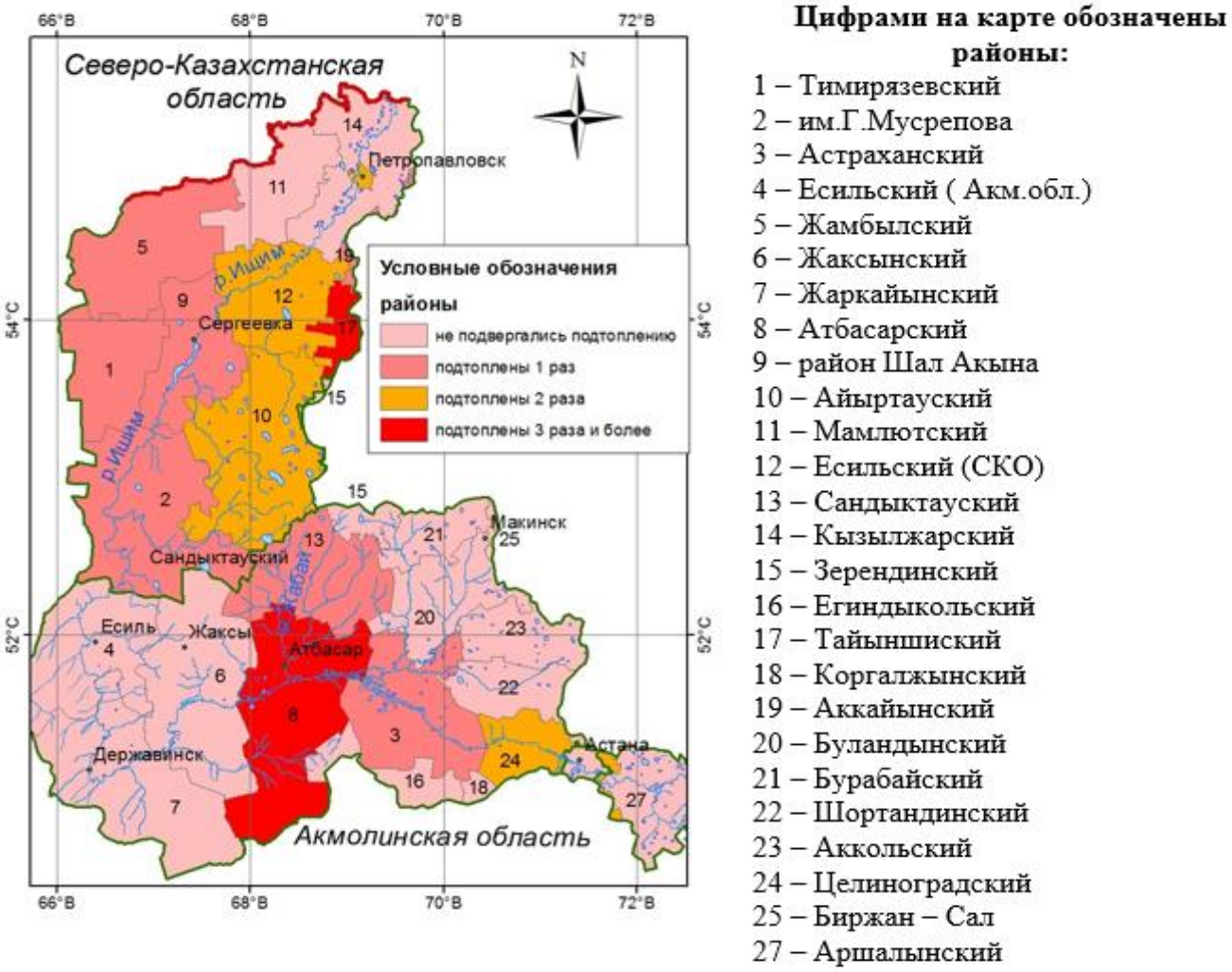

Рисунок 31 – Повторяемость подтоплений административных районов СКО и Акмолинской области (2002-2017 гг.)

Согласно полученным результатам, населенные пункты только одного района, Атбасарского, за рассмотренный период постоянно подвергались подтоплениям. Так, по сообщениям официальных СМИ [91] весной 2017 года город Атбасар

серьезно пострадал во время паводков в период половодья из-за прорыва земляной дамбы. Более 600 домов оказались затопленными, без крыши над головой остались 729 человек. Общая сумма ущерба составила свыше 332 миллионов тенге. На ликвидацию последствий паводка в Атбасарском районе из бюджета было выделено 513 миллионов тенге.

Несмотря на то, что Тайыншинский район также подвержен подтоплениям, осложнение ситуации связано с увеличением объема воды в период активного снеготаяния на территории бассейна р. Чаглинка, не входящего полностью в состав водосборного бассейна р. Ишим. Дважды во время наводнений 2002–2017 гг. были подтоплены Айыртауский и Есильский район (Северо-Казахстанская область), город Петропавловск и его окрестности, Целиноградский район.

После обобщения и анализа полученных результатов на территории бассейна р. Ишим автором выделена зона, подверженная возможному подтоплению в период весеннего половодья (рисунок 32).

Выделенная зона включает в себя 10 районов, расположенных в верхнем и среднем течении р. Ишим: Тимирязевский, Жамбылский, район Шал-Акына, Айыртауский, район им. Г. Мусрепова, Есильский, Целиноградский район, Атбасарский, Астраханский, Сандыктауский.

На основании исследований следует отметить, что для уменьшения негативных последствий затопления, в первую очередь, необходимо иметь достоверную информацию об участках, попадающих под затопление при прохождениях паводков различной обеспеченности и строго соблюдать правила их использования. Для установления границ зон затопления необходимо использовать современные цифровые технологии, основанные на применении космических съемок и дальнейшей обработкой их с помощью программных продуктов ГИС [121].

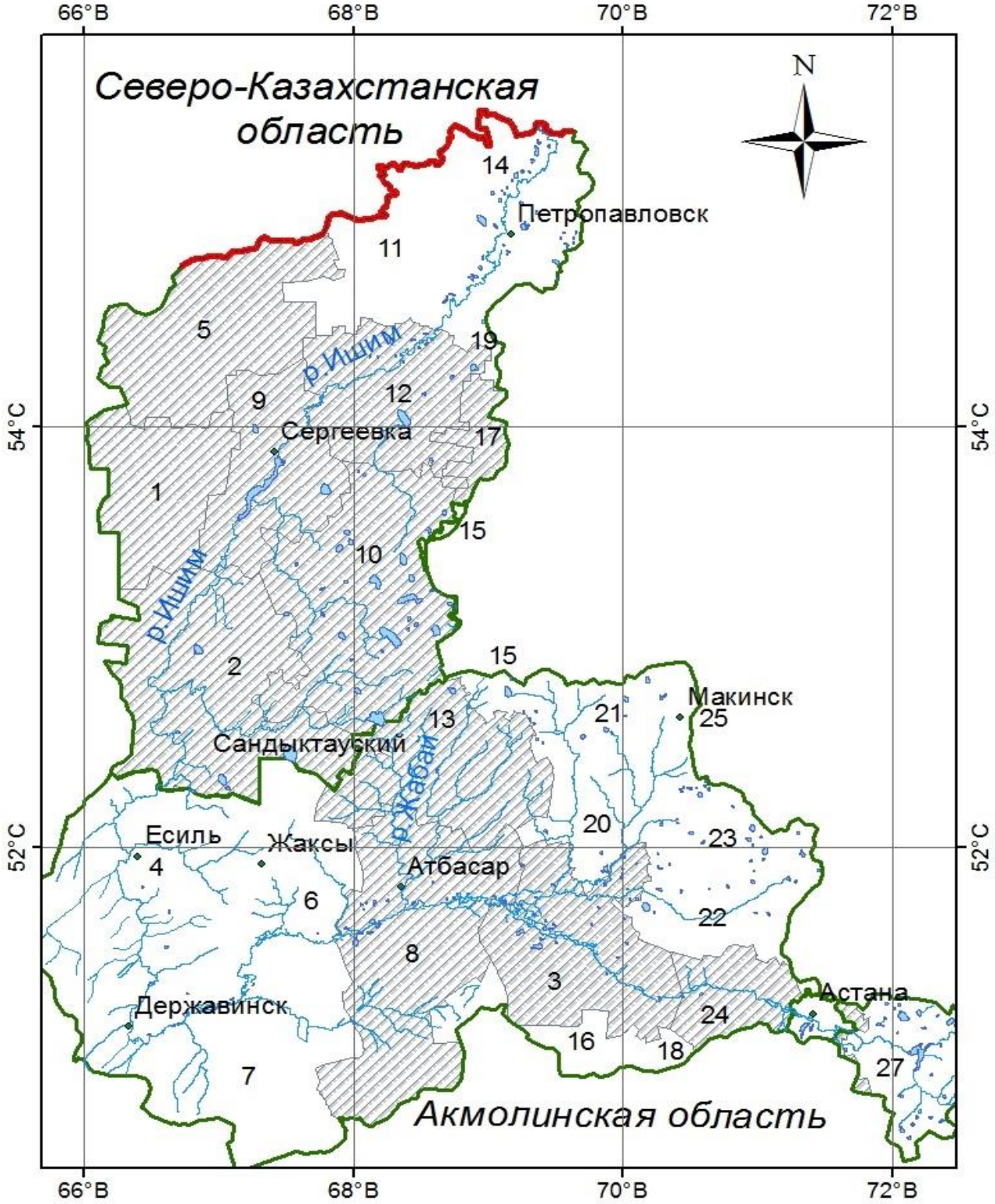

Рисунок 32 – Территория бассейна р. Ишим, подверженная возможному подтоплению в период весеннего половодья

4.4 Геоэкологическая оценка и картографирование гидроэкологических рисков в бассейне реки Ишим

Увеличивающаяся с каждым годом антропогенная нагрузка на отдельные участки водосборного бассейна, а также наличие неблагоприятных геоэкологических явлений приводит к формированию зон с потенциально высоким гидроэкологическим риском на отдельных участках р. Ишим или ее притоках.

Под риском С. М. Мягков [89] понимает «возможность нежелательных последствий какого-либо действия или течения событий, измеряемая вероятностью таких последствий или вероятной величиной потерь и зависящая от подверженности рассматриваемого объекта опасным воздействиям; его чувствительности, или уязвимости, по отношению к этим воздействиям; его защищенности от них».

В зависимости от опасности воздействия, в разных случаях использование терминов «риск» и «ущерб» равнозначно, т.к. в отдельных случаях риск рассчитывают наперед, а в других его можно оценить по величине фактических потерь и ущерба, понесенного в прошлом.

Оценка риска включает распознавание, измерение и характеристику угроз человеческому благосостоянию. В нее входят исследования причин риска и воздействия его реализации на группы населения. Для того чтобы выявить спектр угроз, которые превосходят пороги минимальных воздействий, определить, когда и где они наиболее вероятны, спрогнозировать и сравнить их последствия и оценить возможные направления ответных действий, применяются различные процедуры. Многие авторы относят оценку риска преимущественно к научным исследованиям, которые должны быть проведены, прежде чем будут выработаны стратегические решения в области управления [14].

В последние годы XX в. при анализе рисков большое развитие получил метод оценки и прогноза экологической ситуации, предложенный Б. И. Кочуровым [75]. Практически при анализе экологического риска учитываются негативные

изменения в свойствах, явлениях и процессах, характерных как для ландшафта в целом, так и для его компонентов.

Анализ экологического риска и составленные на его основе карты могут быть использованы как прогнозный и предпроектный материал при проведении превентивных природоохранных мероприятий, а также при обосновании объявления зон чрезвычайной экологической ситуации или экологического бедствия.

Наряду с упомянутыми выше комплексными оценками риска существуют оценки риска от какого-либо отдельного элемента окружающей среды. Одним из примеров может служить пространственная дифференциация гидроэкологического риска [69], которая в данном исследовании проведена по величине ИЗВ водных объектов бассейна р. Ишим. Для дифференциации речного бассейна приняты точки гидропостов, на которых проводились измерения ИЗВ, а также устья впадения крупных притоков р. Ишим. Количество населения, проживающего в населенных пунктах вблизи рек, рассчитано по официальным данным переписи населения 2009 г. [92]. Полученные результаты расчетов автором сведены в таблицу, с указанием численности населения на 1 км речной сети и показателя ИЗВ (таблица 11).

Таблица 11 – Исходные данные для расчета гидроэкологического риска рек бассейна р. Ишим по данным на 2017 г.

Участок реки	Количество человек на 1 км речной сети, чел/км	ИЗВ
р. Ишим (до впадения р. Аршалы)	1214,6	Умеренный уровень загрязнения
р. Ишим (от устья р. Аршалы до устья р. Жабай)	16,1	Умеренный уровень загрязнения
р. Жабай	84,4	Высокий уровень загрязнения
р. Ишим (до СКО)	21,9	Умеренный уровень загрязнения
р. Ишим (до Сергеевского вдхр.)	41,6	Умеренный уровень загрязнения
р. Ишим (от Сергеевского вдхр. до г. Петропавловск)	42,3	Умеренный уровень загрязнения
р. Ишим (от г. Петропавловск до границы с РФ)	1044,5	Умеренный уровень загрязнения

Для дифференциации речной сети, по методу, описанному Б. И. Кочуровым [74], по степени риска было выделено четыре равных интервала, каждому из которых присваивались баллы в зависимости от величины ИЗВ (с минимальной загрязненностью — 1 балл, с максимальной — 4 балла) и численности населения, приходящейся на 1 км длины речной сети (1 балл присваивался участкам рек с минимальной заселенностью, 4 балла — наиболее густо заселенным участкам). Результаты расчета представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Расчетные показатели для определения гидроэкологического риска

Степень загрязненности	Количество баллов	Количество человек на 1 км длины речной сети	Количество баллов
Чистая	1	0–50	1
Умеренный уровень	2	51–500	2
Высокий уровень	3	501–1000	3
Чрезвычайно грязная	4	Более 1000	4

Основываясь на расчетных показателях, приведенных в таблице 12, для каждого расчетного участка определялась сумма баллов по обоим показателям: степень загрязненности и количество человек на 1 км длины речной сети. Интервалы для присвоения баллов по количеству человек определены исходя из данных для исследуемой территории. Рассчитанные автором баллы представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Баллы гидрологического риска рек бассейна р. Ишим (2017 г.)

Участок реки	Количество человек на 1 км речной сети, баллы	ИЗВ, баллы	Сумма баллов по обоим показателям
р. Ишим (до впадения р. Аршалы)	4	2	6
р. Ишим (от устья р. Аршалы до устья р. Жабай)	1	2	3
р. Жабай	2	3	5
р. Ишим (до СКО)	1	2	3
р. Ишим (до Сергеевского вдхр.)	1	2	3
р. Ишим (от Сергеевского вдхр. до г. Петропавловск)	1	2	3
р. Ишим (от г. Петропавловск до границы с РФ)	4	2	6

Результаты проведенного исследования позволили выявить наиболее экологически неблагополучные участки рек и составить карту гидроэкологического риска в бассейне р. Ишим (рисунок 33).

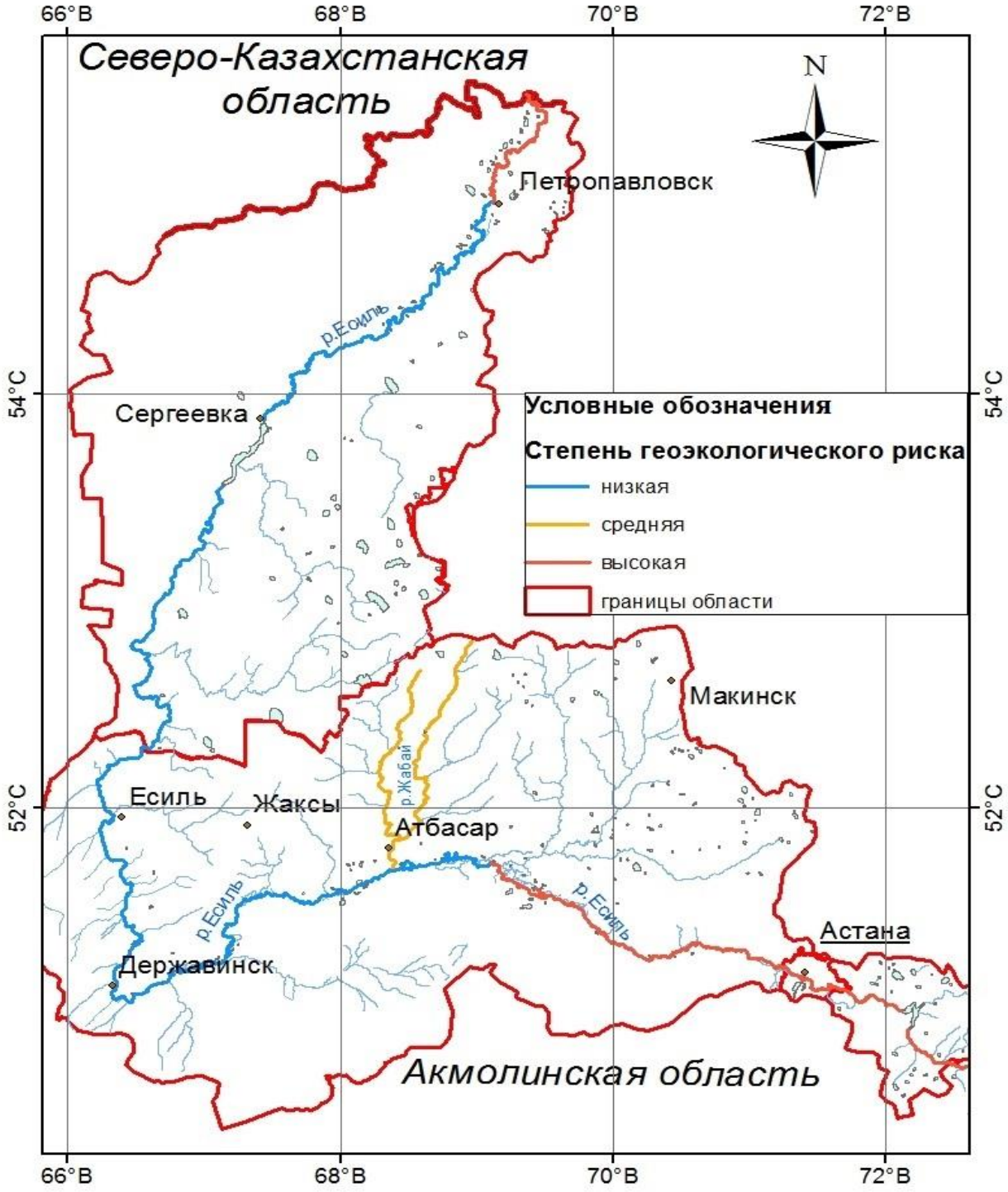

Рисунок 33 – Карта гидроэкологического риска поверхностных вод бассейна р. Ишим по состоянию на 2017 г.

К наиболее неблагополучным участкам, представленным на рисунке 33, были отнесены участки р. Ишим до впадения в нее р. Аршалы (Целиноградский, Аршалынский районы, Акмолинская область) и р. Ишим от г. Петропавловск до границы с Российской Федерацией (Кызылжарский район, СКО).

Чем больше загрязненность рек и плотность населения, тем выше степень гидроэкологического риска, то есть вероятного ущерба. В бассейне р. Ишим наибольшему гидрологическому риску подвержены участки в пределах крупных городов: Нур-Султан (Астана) и Петропавловск.

Меньшая степень гидроэкологического риска р. Жабай обусловлена низкой численностью населения, но более высоким уровнем загрязненности воды, которая является следствием площадного смыва с сельскохозяйственных угодий при большей разветвленности речной сети.

Следует отметить, что разреженность населения в бассейне реки Ишим приводит к сокращению нагрузки на водные источники на большей части реки в пределах Северного Казахстана.

4.5 Комплексная векторная картографическая модель гидрологических процессов бассейна реки Ишим

К. А. Салищев [107] определяет комплексное геоэкологическое картографирование как метод многостороннего и целостного показа действительности картографическими средствами.

Основываясь на результатах, полученных в результате картографирования отдельных геоэкологических показателей состояния водосборного бассейна р. Ишим в пределах Северного Казахстана, автором выделены зоны, которые подвержены:

1. Наибольшему антропогенному воздействию в результате сельскохозяйственной деятельности (в частности экстенсивное растениеводство).

2. Максимальному гидроэкологическому риску, основанному на количестве людей, проживающих на 1 км речной сети.

3. Повторяемости неблагоприятных геоэкологических явлений (весеннее половодье).

Объединив полученные данные, составлена комплексная геоэкологическая карта (геоэкологическая модель) водосборного бассейна р. Ишим, отражающая геоэкологическую обстановку на исследуемой территории (рисунок 34).

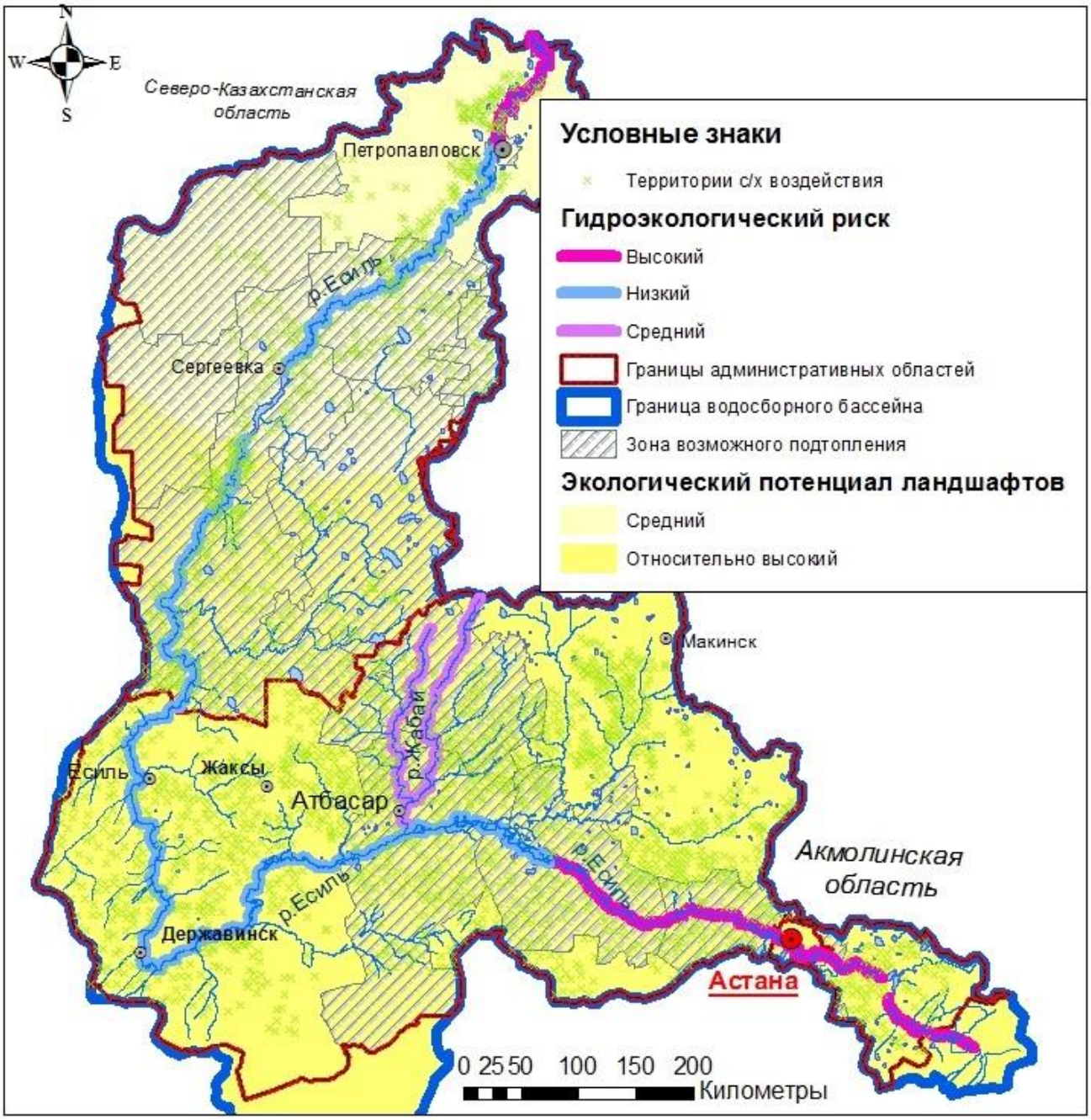

Рисунок 34 – Векторная картографическая модель гидрологических процессов водосборного бассейна р. Ишим

Анализируя комплексную карту, выделены территории, с разным уровнем сложившейся геоэкологической ситуации на сегодняшний день. Для выделения геоэкологических районов на территории использован способ выделения гомогенных районов на основании общности критериев. Под гомогенными районами, согласно определению, представленному в словаре [112] понимаются районы, обладающие внутренним однообразием – ареал, в каждой точке которого районируемый объект или явление характеризуется одним и тем же признаком или их набором.

Так, на территории водосборного бассейна р. Ишим выделены 3 типа районов, отличающихся различной степенью благоприятности геоэкологических условий (рисунок 35).

На основании выделения районов по общности признаков (степень гидроэкологического риска, повторяемости подтопления за период с 2002 по 2017 год, а также вовлечение территории в сельскохозяйственную деятельность), выделены три типа районов:

- район первого типа: с высоким гидроэкологическим риском, активно используемые в сельском хозяйстве, подверженные подтоплению в период весеннего половодья (район верхнего течения р. Ишим, включающий территории г. Нур-Султан, район в верхнем течении, на границе с Российской Федерацией, включающий г. Петропавловск).

- район второго типа: со средним и низким уровнем гидроэкологического риска, активно используемый в сельском хозяйстве, подверженный подтоплению в период весеннего половодья (Астраханский, Атбасарский, Сандыктауский районы Акмолинской области);

- район третьего типа: с низким уровнем гидроэкологического риска, активно используемый в сельском хозяйстве, подверженный подтоплению в период весеннего половодья (район им. Г. Мусрепова и Шал Акына, Есильский и Айыртауский районы).

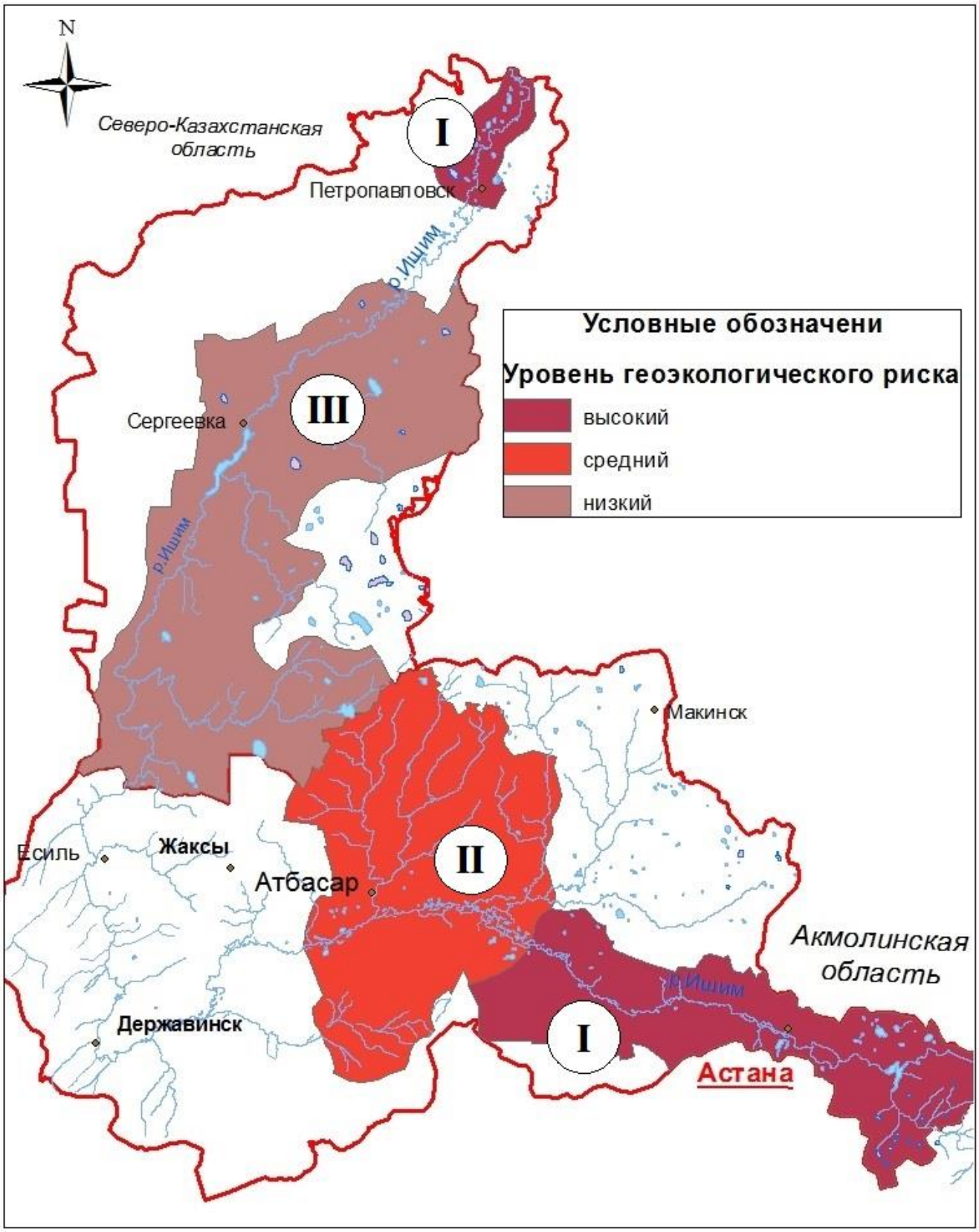

Рисунок 35 – Районы водосборного бассейна р. Ишим, отличающиеся различной степенью благоприятности геоэкологических условий

Все остальные территории определены как районы с низким уровнем гидроэкологического риска, на территории которых за исследуемый период не зафиксировано подтопления населенных пунктов в период весеннего половодья, но, также активно вовлеченные в сельское хозяйство ввиду высокого экологического потенциала ландшафтов.

4.6 Результаты геоэкологической оценки и геоэкологического картографирования территории водосбора реки Ишим

В ходе геоэкологической оценки состояния поверхностных водных источников Северного Казахстана в пределах бассейна р. Ишим, геоэкологическая оценка дана по следующим критериям: благоприятность природных условия для жизнедеятельности человека, степень антропогенного воздействия, экологически неблагоприятные гидрологические процессы, гидроэкологический риск.

В результате проведенной оценки и картографирования установлено:

1. Экологический потенциал ландшафтов на территории бассейна р. Ишим, согласно методу Г. А. Исаченко, сменяется с севера на юг от среднего (примерно до Сергеевского водохранилища) до относительно высокого (южная часть бассейна). Для южной части бассейна также характерна наибольшая густота речной сети, что, в совокупности с установленным высоким экологическим потенциалом, делает данный участок бассейна наиболее пригодным для человеческой деятельности. Равнинный рельеф способствует развитию сельского хозяйства, со значительной долей распашки земель. Также, здесь расположена столица Республики Казахстан, г. Нур-Султан, с населением более 1 млн. человек. Таким образом, южная часть бассейна р. Ишим подвержена большему антропогенному воздействию, чем северная часть.

2. В качестве основных источников загрязнения бассейна реки Ишим выступают естественно-природные факторы, сельскохозяйственные и техногенные объекты. Путем визуального дешифрования космических снимков

территории бассейна р. Ишим, а также обработки данных посредством ГИС, определены участки активного сельскохозяйственного использования (растениеводство), с территории которых происходит площадной смыв в водоемы бассейна в период снеготаяния или с дождевыми водами. Посредством картографирования, установлены районы с максимальным антропогенным воздействием на речную систему: верхнее течение р. Ишим, Акмолинская область. В качестве подтверждения результатов, составлена карта качества поверхностных вод с указанием химических элементов, превышающих кратность ПДК: наиболее загрязненной рекой считается р. Жабай, в которой на период исследования зафиксировано превышение ПДК марганца, меди, цинка, сульфатов.

3. Оценка неблагоприятных гидрологических явлений проводилась по повторяемости наводнений в результате весеннего половодья. Анализируя данные о повторяемости данного явления за последние 15 лет, определены административные районы, регулярно подвергающиеся подтоплению: Атбасарский район (Акмолинская область), Тайыншинский район (Северо-Казахстанская область). Путем дифференциации районов по интенсивности повторяемости данного явления определена и картирована территория, подверженная потенциальному подтоплению в период весеннего половодья.

4. Основываясь на демографических данных о численности населения в бассейне р. Ишим и ее притоков, на протяженности гидросети, рассчитанной с помощью ГИС и на показателях ИЗВ составлена карта гидроэкологического риска, отражающая участки речной сети, которые максимально подвержены влиянию в результате человеческой деятельности. Наибольшему гидроэкологическому риску подвержен участок р. Ишим в верхнем течении до устья р. Аршалы (правого притока р. Ишим) и от г. Петропавловск вниз по течению до границы с РФ. На высокий показатель гидроэкологического риска повлияло большое количество жителей в бассейне реки и умеренно высокий уровень ее загрязнения, при неразветвленной системе водотоков.

5. Составленная комплексная векторная геоэкологическая карта (модель), отражающая результаты геоэкологической оценки по вышеуказанным

критериям, позволила выделить районы с неблагоприятной геоэкологической обстановкой: район верхнего течения р. Ишим, включающий территории г. Нур-Султан, район в верхнем течении, на границе с Российской Федерацией, включающий г. Петропавловск.

4.7 Рекомендации по совершенствованию системы мониторинга

Формирование на территории водосборного бассейна р. Ишим районов с неблагоприятной геоэкологической обстановкой, выделенных автором на основании проведенного исследования, является результатом развития совокупности нескольких факторов, включая недостаточно развитую систему мониторинга на исследуемом участке. Основываясь на анализе вышеуказанных факторов, предлагается совершенствование системы национального мониторинга на территории Северного Казахстана, а именно в выделенных зонах по следующим направлениям:

1. В районах с высоким гидроэкологическим риском, равнинные территории которых активно эксплуатируются в сельском хозяйстве и подвержены подтоплению в период весеннего половодья усилить контроль за сбросом сточных вод от источников, расположенных в г. Петропавловск и г. Нур-Султан, так как основная нагрузка на данные районы исходит от крупных городов, ввиду их большой численности населения и быстрого развития и расширения их площади.

2. В районах со средним и низким уровнем гидроэкологического риска, активно используемых в сельском хозяйстве, но также подверженных подтоплению в период весеннего половодья разработать систему временных гидропостов, действующих в разные режимные периоды на притоках р. Ишим – р. Териссакан, в среднем течении р. Жабай и р. Колутон, с целью сбора и обработки оперативной информации о гидрохимических показателях воды в данных водоемах по марганцу, меди, цинку и сульфатах. Особое внимание уделить сбору информации о качестве

воды в реках в весенне-летний период, когда наблюдается максимальная нагрузка на сельскохозяйственные земли в бассейнах вышеуказанных рек.

3. Для района с низким уровнем гидроэкологического риска, но территория которого активно используется в сельском хозяйстве и также подвержена подтоплению в период весеннего половодья, разработать систему гидропостов, действующих на притоках р. Ишим – р. Иманбурлык, р. Акканбурлык, с целью систематического сбора и обработки информации о гидрохимических показателях воды в данных водоемах, т.к. данные о качестве воды в этих реках эпизодичны и неполны.

4. Для всех выделенных районов, своевременную оценку и предупреждение развития половодья рекомендуется проводить с привлечением дистанционных методов исследования, в частности использования данных космической съемки Landsat-7 и Landsat-8, при необходимости дополняемых данными полевых работ. Главным преимуществом использования данных снимков является их высокое разрешение и размещение их в бесплатном доступе, что снижает финансовые затраты в данном направлении.

Заключение

В результате исследования, проведенного с целью геоэкологического мониторинга и геоэкологической оценки состояния территории водосборного бассейна р. Ишим с использование дистанционных методов и ГИС-технологий, автором установлено, что:

1. Для качественной организации геоэкологического мониторинга на территории водосборного бассейна р. Ишим недостаточна развита сеть наблюдательных постов. Так, постоянные или временные гидропосты размещены не на всех реках бассейна р. Ишим: отсутсвуют на р. Териссакан, на р. Жабай и р. Колутон посты установлены лишь в устьях рек, полностью отсутствует сеть наблюдения на мелких притоках. При условии, что в основе организации мониторинга в пунктах наблюдения лежат принципы комплексности и систематичности наблюдений, данное явление существенно тормозит организацию наблюдения за некоторыми участками территории. Поэтому, организация геоэкологического мониторинга на исследуемом объекте обязательно должна включать в себя использование данных дистанционного мониторинга.

2. Главными загрязнителями поверхностных водных источников Ишимского водного бассейна являются сульфаты, азот аммонийный и такие представители группы тяжелых металлов, как медь, цинк и марганец. При сравнении кратности превышения ПДК по данным веществам, установлено соответствие лет превышения концентрации загрязняющих веществ с годами подтопления территорий в результате весеннего половодья.

3. Анализ разновременных космических снимков, основанный на расчете вегетационного индекса NDVI для водосборного бассейна реки Ишим на территории Северного Казахстана позволил визуально определить территорию, подвергшуюся подтоплению в период весеннего половодья 2016, 2017 гг. на отдельных участках реки. Путем сравнения результатов обработки снимков Landsat-7 и Landsat-8 в разные режимные периоды реки наглядно определены

масштабы подтопления в период участившихся весенних половодий (на примере среднего течения р. Ишим и ее притока р. Жабай). Практически определена возможность использования гидрологически-корректной цифровой модели рельефа для анализа постоянных и временных водотоков в бассейне реки Ишим при отсутствии развитой сети гидропостов на выбранном участке.

4. На территории водосборного бассейна реки Ишим выделяются районы с разной степенью благоприятности геоэкологической ситуации, которые выделены на основании проведенной геоэкологической оценки и геоэкологического картографирования территории. В качестве основных критериев для геоэкологической оценки были использованы экологический потенциал ландшафтов бассейна р. Ишим, источники антропогенного воздействия, экологически неблагоприятные гидрологические процессы (весеннее половодье), гидроэкологический риск.

5. В целях экологически безопасного и сбалансированного развития областей, расположенных в бассейне р. Ишим в Северном Казахстане необходимо совершенствование системы геоэкологического мониторинга для своевременного сбора и обработки данных на участках территории, которые классифицированы автором как районы с неблагоприятной геоэкологической обстановкой.

6. Использованная методика может быть использована для дальнейшего изучения территории с позиции использования ее в хозяйственном процессе для социально-экономического развития страны.

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в создании и научном обосновании региональной модели обеспечения геоэкологической безопасности, исходя из полученных результатов исследования. Практическая значимость состоит в использовании материалов исследования в учебном процессе вузов, для подготовки специалистов в области геоинформационных систем, картографов, экологов и геоэкологов. Также, полученные данные могут быть использованы специалистами-практиками для разработки системы геоэкологического мониторинга на участках с неблагоприятной геоэкологической обстановкой.

По результатам данной работы также сделан вывод, что использование дистанционных методов и ГИС-технологий при геоэкологическом мониторинге в данном регионе является необходимым условием для планомерного социально-экономического развития исследуемой территории.

Список литературы

1. ArcGIS for Desktop. [Сайт]. – URL: http://desktop.arcgis.com/ru/ (дата обращения: 4.01.2019).

2. Atkinson P. M. Downscaling in remote sensing [Text] / P. M. Atkinson // Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. – 2013. – № 22. – P. 106–114.

3. Bartram J. Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programs [Text] / J. Bartram ; edited by Jamie Bartram and Richard Ballance. – London : E & FN Spon, 1996. – 383 с.

4. Chang N. B. Remote sensing for monitoring surface water quality status and ecosystem state in relation to the nutrient cycle: a 40-year perspective [Text] / N. B. Chang, S. Imen, B. Vannah // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. – 2015. – Т. 45. – №. 2. – P. 101–166.

5. ESRI: [сайт]. – URL: http://video.esri.com/watch/1899/creatinga-hydrologically-conditioned-dem (дата обращения 5.01.2019).

6. Gis-Lab: [сайт]. – URL: http://gis-lab.info/qa/ndvi.html (дата обращения 5.01.2019).

7. Huang C. DEM-based modification of pixel-swapping algorithm for enhancing floodplain inundation mapping [Text] / C. Huang, Y. Chen, J. P. Wu // Int. J. Remote Sens. – 2014. – № 35. – P. 365–381.

8. Kates R. W. A Biographical Memoir [Text] / R. W. Kates. – Washington : National academy of sciences, 2011. – 25 p.

9. Ma L. Extracting method for watershed characteristic based on DEM [Text] / L. Ma, W. N. Yang, F. Q. Zheng, Y. X. Li // Geospatial Information. – 2008. – № 2. – P. 69–71.

10. Maathuis B. Digital Elevation Model Based Hydro-processing [Text] / B. H. Maathuis, L. Wang // Geocarto International – 2008. – № 1. – P. 21–26.

11. Mc Feeters K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features [Text] / K. Mc Feeters // Int. J. Rem. Sens. – 1996. – №. 17. – P. 1425–1432.

12. Munn R. E. Global Environmental Monitoring System (GEMS): Action plan for Phase I [Text] / R. E. Munn // SCOPE secretariat. – 1973. – 130 p.

13. Rogers A. Reducing signature variability in unmixing coastal marsh Thematic Mapper scenes using spectral indices [Text] / A. Rogers, M. Kearney // Int. J. Rem. Sens. – 2003. – № 12. – P. 2317–2335.

14. Ryu J. H. Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat [Text] / J. H. Ryu, J. S. Won, K. D. Min // Remote Sens. Environ. – 2002. – № 83. – P. 442 – 456.

15. Singh K. V. Evaluation of NDWI and MNDWI for assessment of waterlogging by integrating digital elevation model and groundwater level [Text] / K. V. Singh, R. Setia, S. Sahoo // Geocarto Int. – 2015. – №30. P. – 650–661.

16. SRTM : [сайт]. – URL: http://srtm.csi.cgiar.org/download/ (дата обращения 4.01.2019).

17. Tang C. G. Automated extraction of watershed characteristics based on Arc Hydro Tools : a case study of Wujiang watershed In Guizhou Province Southwest China [Text] / C. G. Tang, C. Q. Liu // Earth and Environments. – 2006. – № 34. – P. 30–37.

18. TechSky : [сайт]. – URL: https://tech.sky-travels.ru/ (дата обращения 15.01.2019).

19. Verpoorter C. Automated mapping of water bodies using Landsat multispectral data [Text] / C. Verpoorter, T. Kutser, L. Tranvik // Limnol. Oceanogr. Methods. – 2012. – № 10. – P.1037–1050.

20. Zemtsov V. A. Hydrological risks in Western Siberia under the changing climate and anthropogenic influences conditions [Text] / V. A. Zemtsov, V. V. Paromov, S. Kopysov // International Journal of Environmental Studies. – 2014. – № 71(5). – P. 611–617.

21. Аймен У. Т. Вопросы использования и охраны водных ресурсов в Ишимском бассейне / У. Т. Аймен // Водное хозяйство Казахстана. – Астана : ОЮЛ “Ассоциация водного хозяйства Казахстана, 2013. – № 6. – С. 32–34.

22. Ануфриев Ф. Е. Мониторинг окружающей среды [Электронный ресурс] / Ф. Е. Ануфриев, Н. Н. Кривенко // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2015. – № 4. – URL:

https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-okruzhayuschey-sredy (дата обращения: 24.05.2019).

23. Афанасьев Ю. А. Мониторинг и методы контроля окружающей среды [Текст] : учебное пособие. 1 ч. / Ю. А. Афанасьев, С. А. Фомин. – М. : Изд-во МНЭПУ, 1998. – 208 с.

24. Белов С. В. Охрана окружающей среды. Экология человека. Безопасность жизнедеятельности [Текст] : учебник для вузов. Изд. 4-е, испр. и доп. / С. В. Белов. – М. : Высшая школа, 2004. – 606 с.

25. Бельдеева Л. Н. Экологический мониторинг : учебное пособие [Текст] / Л. Н. Бельдеева. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ им. И. И. Ползунова, 1999. – 122 с.

26. Берлянт А. М. Картография [Текст] : Учебник для вузов. / А. М. Берлянт. – М. : «Аспект-Пресс», 2002. – 336 с.

27. Божилина Е. А. Эколого-географическое картографирование [Текст] / Е. А. Божилина, Т. Г. Сваткова, С. В. Чистов. – М. : Изд-во МГУ, 1999. – 84 с.

28. Бурлибаев М. Ж. Гидрологические стихийные явления (мировые тенденции, хроника Беларуси и Казахстана) / М. Ж. Бурлибаев, А. А. Волчек, М. Ю. Калинин // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование, кн. 2. : материалы междунар. научно-практ. конф., посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни». – Алматы, 2016. – С. 372–377.

29. Бурлибаева Д. М. Гидроэкологические основы вододеления транзитного (поверхностного) стока трансграничных рек Казахстана [Текст] : дис. доктора философии. – Алматы, 2016. – 262 с.

30. Ветошкин А. Г. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы) [Текст] : учебное пособие / А. Г. Ветошкин, К. Р. Таранцева. – Пенза : Изд-во Пенз. технол. ин-та, 2004. – 249 с.

31. Виноградов Б. В. Аэрокосмический мониторинг экосистем [Текст] / Б. В. Виноградов. – М. : Наука, 1984. – 320 с.

32. Винокуров Ю. И. Трансграничный бассейн реки Иртыш в условиях современных вызовов / Ю. И. Винокуров, Б. А. Красноярова // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. Труды III Всероссийской

научной конференции с международным участием (в четырех томах). – 2017. – С. 3–12.

33. Витченко А. Н. Геоэкологическая оценка природно-антропогенных геосистем Беларуси [Электронный ресурс] / А. Н. Витченко, Г. И. Марцинкевич, М. Н. Брилевский [и др.] // Вестник БГУ. Сер. 2. – 2006. – № 3. – С.78–84. – URL: http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/24522/1/78-84.pdf (дата обращения 5.01.2019)

34. Владимиров А. М. Охрана и мониторинг поверхностных вод суши [Текст]. Учебник. / А. М. Владимиров, В. Г. Орлов – СПб. : РГГМУ, 2009. – 220 с.

35. Водный кодекс Республики Казахстан [Электронный ресурс] от 9 июля 2003 года № 481-II (с изменениями и дополнениями по состоянию на 19.04.2019 г.). Доступ из справ.-правовой системы «Параграф». – URL: https://online.zakon.kz/document/?doc_id=1042116 (дата обращения 15.01.2019).

36. Геологическая служба США. USGS : [Сайт]. – URL: https://www.esri-cis.ru (дата обращения 7.01.2019).

37. Герасимов И. П. Научные основы современного мониторинга окружающей среды [Текст] / И. П. Герасимов // Известия АН СССР. Серия география. – 1975. – № 3. – С. 13–25.

38. Герасимов И. П. Принципы и методы геосистемного мониторинга [Текст] / И. П. Герасимов // Известия АН СССР. Серия география. – 1982. – № 2. – С. 5–11.

39. Герасимов И. П. Экологические проблемы в прошлой, настоящей и будущей географии мира [Текст] / И. П. Герасимов. – М. : Наука, 1985. – 248 с.

40. Гидрологическая и метеорологическая информация [Текст] : письмо РГП «Казгидромет» Министерства энергетики Республики Казахстан от 19.11.2018 г. № 13-09 / 3491.

41. Говорушко С. М. Влияние человека на природу : иллюстрированный атлас мира [Комплекс] / С. М. Говорушко. – Владивосток : Дальневосточный федеральный университет, 2016. – 375 с.

42. Горшков М. В. Экологический мониторинг [Текст] : учебное пособие / М. В. Горшков. – Владивосток : Изд-во ТГЭУ, 2010. – 313 с.

43. ГОСТ 17.1.1.01–77 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения (с Изменениями N 1, 2) [Электронный ресурс] – Введ. 1978-07-01. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2001. – 31 с. – URL: https://files.stroyinf.ru/Data/335/33582.pdf (дата обращения 12.01.2019).

44. ГОСТ 17.1.1.02-77 Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов [Электронный ресурс]. – URL: http://docs.cntd.ru/document/1200005823 (дата обращения 5.12.2018).

45. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1995 г.» [Текст] – М. : Центр международных проектов, 1996. – 458 с.

46. Данные по МС Атбасар [Текст] : письмо РГП «Казгидромет» Министерства энергетики Республики Казахстан от 20.11.2019 г. № 15-09 / 3542.

47. Емельянов А. Г. Комплексный геоэкологический мониторинг [Текст] / А. Г. Емельянов. – Тверь : ТГУ, 1994. – 88 с.

48. Заурбек А. К. Водные ресурсы Казахстана : использование, охрана и проблемы сохранения устойчивости природных комплексов [Текст] / А. К. Заурбек, Е. М. Калыбекова. – Алматы : ТОО «Дайк-Пресс», 2010. – 268 с.

49. Земцов В. А. Климатические изменения и их гидрологические последствия в Западной Сибири / В. А. Земцов, В. В. Паромов // Междунар. науч.-практ. конф. «Вторые Виноградовские Чтения. Искусство гидрологии» (18–22 ноября 2015 г., Санкт-Петербург). Сб. расширенных тез. – СПб., 2015. – С. 38–41.

50. Золовский А. П. Картографические исследования проблемы охраны природы [Текст] / А. П. Золовский, Е. Е. Маркова, Г. О. Пархоменко. – Киев : Наукова думка, 1978. – 151 с.

51. Изображение Земли из космоса : примеры применения : Научно-популярное издание [Текст]. – М.: ООО «Инженерно-технологический центр «Сканекс», 2005. – 100 с.

52. Израэль Ю. А. Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка изменения окружающей природной среды [Текст] / Ю. А. Израэль // Метеорология и гидрология. – 1974. – № 7. – С. 3–8.

53. Израэль Ю. А. О программе комплексного фонового мониторинга состояния окружающей природной среды [Текст] / Ю. А. Израэль, Л. М. Филиппова, Ф. Я. Ровинский // Метеорология и гидрология. – 1978. – № 9. – С. 5–11.

54. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды [Текст] / Ю. А. Израэль. – М. : Гидрометеоиздат, 1984. – 560 с.

55. Инженерная экология [Текст] : Учебник для вузов / Под ред. проф. В. Т. Медведева. – М. : Гардарика, 2002. – 687 с.

56. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2016 год [Электронный ресурс] / Департамент экологического мониторинга РГП «КАЗГИДРОМЕТ». – Астана, 2016. – 412 с. – URL: https://kazhydromet.kz/ru/bulleten/okrsreda?year=2016 (дата обращения 5.01.2019).

57. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2017 год [Электронный ресурс] / Департамент экологического мониторинга РГП «КАЗГИДРОМЕТ». – Астана, 2017. – 353 с. – URL: https://kazhydromet.kz/ru/bulleten/okrsreda?year=2017 (дата обращения 5.01.2019).

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

59. Исаченко А. Г. Ландшафтное районирование России как основа регионального эколого-географического анализа [Текст] / А. Г. Исаченко // Известия РГО. – 1996. – Т. 128. – Вып. 5. – С. 42–60.

60. Какпанова А. К. О солевом балансе озер Северо-Казахстанской области. 2012. [Электронный ресурс]. – URL: https://articlekz.com/article/12051 (дата обращения 21.11.2018).

61. Картографическая изученность России (топографические и тематические карты) [Карты] / Под ред. А. А. Лютого и Н. Н. Комедчикова. – М. : Институт географии РАН, 1999. – 319 с.

62. Касьяненко А. А. Контроль качества окружающей среды [Текст] / А. А. Касьяненко. – М. : Изд-во РУДН, 1992. – 136 с.

63. Качество поверхностных вод на территории Республики Казахстан за 2010 год (обзор водного компонента информационного бюллетеня Министерства энергетики Республики Казахстан РГП «Казгидромет» департамент экологического мониторинга «О состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2010 год») [Электронный ресурс] / Обзор подготовлен советником председателя КВР МСХ Петраковым И. А. – Алматы, 2010. – 105 с. – URL: http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/files/water_quality_kz_2010_r.pdf (дата обращения 5.01.2019).

64. Качество поверхностных вод на территории Республики Казахстан за 2011 год (обзор водного компонента информационного бюллетеня Министерства энергетики Республики Казахстан РГП «Казгидромет» департамент экологического мониторинга «О состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2011 год») [Электронный ресурс] / Обзор подготовлен советником председателя КВР МСХ Петраковым И. А. – Алматы, 2011. – 107 с. – URL: http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/files/water_quality_kz_2011_r.pdf (дата обращения 5.01.2019).

65. Качество поверхностных вод на территории Республики Казахстан за 2012 год (обзор водного компонента информационного бюллетеня Министерства энергетики Республики Казахстан РГП «Казгидромет» департамент экологического мониторинга «О состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2012 год») [Электронный ресурс] / Обзор подготовлен советником председателя КВР МСХ Петраковым И. А. – Алматы, 2012. – 101 с. – URL: http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/files/water_quality_kz_2012_r.pdf (дата обращения 5.01.2019).

66. Качество поверхностных вод на территории Республики Казахстан за 2013 год (обзор водного компонента информационного бюллетеня Министерства энергетики Республики Казахстан РГП «Казгидромет» департамент экологического мониторинга «О состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2013 год») [Электронный ресурс] / Обзор подготовлен советником председателя КВР МСХ Петраковым И. А. – Алматы, 2013. – 110 с. – URL: http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/files/water_quality_kz_2013_r.pdf (дата обращения 5.01.2019).

67. Качество поверхностных вод на территории Республики Казахстан за 2014 год (обзор водного компонента информационного бюллетеня Министерства энергетики Республики Казахстан РГП «Казгидромет» департамент экологического мониторинга «О состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2014 год») [Электронный ресурс] / Обзор подготовлен советником председателя КВР МСХ Петраковым И. А. – Алматы, 2014. – 131 с. – URL: http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/files/water_quality_kz_2014_r.pdf (дата обращения 5.01.2019).

68. Качество поверхностных вод на территории Республики Казахстан за 2015 год (обзор водного компонента информационного бюллетеня Министерства энергетики Республики Казахстан РГП «Казгидромет» департамент экологического мониторинга «О состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2015 год») [Электронный ресурс] / Обзор подготовлен советником председателя КВР МСХ Петраковым И. А. – Алматы, 2015. – 175 с. – URL: http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/files/water_quality_kz_2015_r.pdf (дата обращения 5.01.2019).

69. Клюев Н. Н. Россия и ее регионы : внешние и внутренние экологические угрозы [Текст] / Н. Н. Клюев и др. – М. : Наука, 2001. – 216 с.

70. Коваль П. В. Геоэкология : анализ методов геоэкологической оценки природно-техногенных систем [Текст] / П. В. Коваль, Е. А. Руш // Инженерная экология. – 2006. – № 1. – С. 3–32.

71. Копылов И. С. Принципы и критерии интегральной оценки геоэкологического состояния природных и урбанизированных территорий [Электронный ресурс] / И. С. Копылов // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6. – 285 с. – URL: www.science-education.ru/100-5214 (дата обращения 5.01.2019).

72. Коронкевич Н. И. Наводнения и борьба с ними [Текст] / Н. И. Коронкевич // Новое в жизни, науке, технике. Серия Науки о Земле. – М. : Знание, 1982. – № 6. – 48 с.

73. Костин А. В. Цифровая модель рельефа (методы создания и направления использования) [Электронный ресурс] / А. В. Костин // Наука и техника в Якутии. –

2011. – № 1. – С.23–28. – URL: http://st-yak.narod.ru/pdf/20-5.pdf (дата обращения 6.01.2019).

74. Кочуров Б. И. Геоэкологическое картографирование : учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений [Текст] / Б. И. Кочуров, Д. Ю. Шишкина, А. В. Антипова. – М. : Издательский центр «Академия», 2009. – 192 с.

75. Кочуров Б. И. Местное самоуправление и эколого-хозяйственное устройство территории [Текст] / Б. И. Кочуров, Ю. Г. Иванов, В. А. Лобковский и др. // Реферативный журнал ВИНИТИ. Экология человека, серия 86. – ВИНИТИ М, 1999. – Т. 1. – С. 9–19.

76. Крупенио Н. Н Экологический мониторинг [Текст] : Учебное пособие / Н. Н. Крупенио – М. : Маршрут, 2005. – 132 с.

77. Ломакина С. С. Возможности дистанционного зондирования для осуществления геоэкологического мониторинга водных объектов / С. С. Ломакина, О. В. Мезенцева // Сборник материалов I Международной научно-практической конференции. Геодезия, землеустройство и кадастры : проблемы и перспективы развития, посвященная 100-летию советской геодезии и картографии (Омск, 15 марта 2019). – Омск, 2019. – С. 81–84. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=37393510 (дата обращения 15.01.2019).

78. Ломакина С. С. Использование данных космической съемки Landsat-8 для мониторинга поверхностных вод (на примере р. Есиль) / С. С. Ломакина, О. В. Мезенцева // XLVIII Международные научные чтения (памяти С. О. Костовича) : (2 мая 2019 г., г. Москва). – Москва : ЕФИР, 2019. – С.91–95. – URL: http://efir-msk.ru/sbornik/K-MSK-48.pdf

79. Ломакина С. С. Построение гидро-ЦМР для анализа водосборного бассейна / С. С. Ломакина, О. В. Мезенцева // Сборник материалов I Международной научно-практической конференции. Геодезия, землеустройство и кадастры : проблемы и перспективы развития, посвященная 100-летию советской геодезии и картографии (Омск, 15 марта 2019). – Омск, 2019. – С. 85–88. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=37393511

80. Майстренко В. Н. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов [Текст] / В. Н. Майстренко, Р. З. Хамитов, Г. К. Будников. – М. : Химия, 1996. – 319 с.

81. Матвиенко И. И. Мониторинг окружающей среды [Текст] : Учеб. пособие / И. И. Матвиенко, Е. С. Лен. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2008. – 101 с.

82. Мезенцева О. В. Геоэкологический мониторинг водосборного бассейна реки Ишим на территории Республики Казахстан в условиях весеннего половодья за период 2002–2017 гг. / О. В. Мезенцева, С. С. Ломакина // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 12–2. – С. 368–373 – URL: http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37022 (дата обращения: 27.03.2019).

83. Методические рекомендации по комплексной оценке качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям [Электронный ресурс]. – Астана, 2012. – 32 с. – URL: https://www.twirpx.com/file/2034462/ (дата обращения 15.01.2019).

84. Методические указания по принципам организации системы наблюдений и контроля за качеством воды водоемов и водотоков на сети Госкомгидромета в рамках ОГСНК [Текст]. – Л. : Гидрометеоиздат, 1984. – 40 с.

85. Мидоренко Д. А. Мониторинг водных ресурсов [Текст] : Учеб. пособие / Д. А. Мидоренко, В. С. Краснов. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2009. – 77 с.

86. Мильков Ф. Н. Физическая география : Учение о ландшафте и географическая зональность [Текст] / Ф. Н. Мильков. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1986. – 326 с.

87. Минеев А. Л. Подготовка цифровой модели рельефа для исследования экзогенных процессов северных территорий Российской Федерации [Текст] / А. Л. Минеев, Ю. Г. Кутинов, З. Б. Полякова и др. // Пространство и Время. – 2015. – № 3 (21). – С. 278–291.

88. Министерство внутренних дел Республики Казахстан. Комитет по чрезвычайным ситуациям [сайт]. – URL: http://www.emer.gov.kz/ru (дата обращения 5.01.2019).

89. Мягков С. М. География природного риска : монография [Текст] / С. М. Мягков. – Москва : Издательство МГУ, 1995. – 220 с.

90. Мягков С. М. Пути к социально-экологической устойчивости России / С. М. Мягков // Вестник Московского университета. Серия 5 : География. – 1995. – № 5. – С. 3–9.

91. Наводнение в Атбасаре : дешевле переселить людей, чем строить дамбу [Электронный ресурс] // Sputniknews.kz: [сайт]. [2014]. – URL: https://ru.sputniknews.kz/regions/20171115/3776302/navodnenie-v-atbasare-deshevle-pereselit-lyudej-chem-stroit-dambu.html (дата обращения: 12.01.2019).

92. Население Республики Казахстан. Итоги Национальной переписи населения Республики Казахстан 2009 года. Статистический сборник [Текст] / Под ред. Смаилова А. А. – Астана, 2011. – Т. 1. – 242 с.

93. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Выпуск 18 [Электронный ресурс] / Отв. редактор Ц. Г. Канович. – Гидрометеорологическое издательство, 1966. – 655 с. – URL: https://vk.com/topic-140076474_35041690 (дата обращения 1.03.2018).

94. Новаковский Б. А. Геоинформационный анализ последствий катастрофических наводнений по материалам ДЗЗ / Б. А. Новаковский, А. И. Прасолов, Р. В. Пермяков // Геоматика. – 2015. – № 2. – С. 52–56.

95. Новаковский Б. А. Фотограмметрические технологии геоинформационного моделирования наводнений [Текст] / Б. А. Новаковский, А. И. Прасолов, Р. В. Пермяков // Геодезия и картография. – 2014. – № 3. – С. 37–42.

96. Официальный интернет-ресурс Атбасарского района : [сайт]. – URL: http://atbasar.akmo.gov.kz

97. Официальный сайт Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства США «Landsat Science» [Электронный ресурс]. – URL: https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-7 (дата обращения 25.01.2019).

98. Перечень рыбохозяйственных нормативов. Предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно-безопасных уровней воздействия (ОБУВ)

вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение [Текст]. – М. : ВНИРО, 1999. – 304 с.

99. Ровинский Ф. Я. Методы анализа загрязнения окружающей среды [Текст] : Токсические металлы и радионуклиды / Ф. Я. Ровинский, С. Б. Иохельсон, Е. И. Юшкан; под ред. Ф. Я. Ровинского. – М. : Атомиздат, 1978. – 264 с.

100. Ротанова И. Н. Водно-экологическое картографирование на основе ГИС-технологий / И. Н. Ротанова, В. Г. Ведухина, М. Цимбалей // Мир науки, культуры, образования. – 2009. – № 2 (14). – С. 23–26.

101. Ротанова И. Н. Геоинформационные системы для решения проблем водно-экологической безопасности: опыт на примере Обь-Иртышского бассейна [Электронный ресурс] / И. Н. Ротанова, В. Г. Ведухина, О. В. Ловцкая и др. // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2011. – № 2. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/geoinformatsionnye-sistemy-dlya-resheniya-problem-vodno-ekologicheskoy-bezopasnosti-opyt-na-primere-ob-irtyshskogo-basseyna (дата обращения: 21.11.2019).

102. Ротанова И. Н. Гидроморфно-экологический анализ бассейново-ландшафтной системы [Текст] / И. Н. Ротанова, А. А. Вагнер, В. Г. Ведухина и др. // Экологическая оценка и картографирование. – 2008. – № 6. – С. 33–36.

103. Ротанова И. Н. Экологическое картографирование : современное картографическое познание действительности [Текст] / И. Н. Ротанова // Мир науки, культуры, образования. – 2008. – № 4 (11). – С. 20–24.

104. Руденко Л. Г. Становление и развитие эколого-географического картографирования / Л. Г. Руденко, А. И. Бочковская // География и природные ресурсы. – 1992. – № 3. – С. 13–21.

105. Савиных В. П. Информационные технологии в системах экологического мониторинга [Текст] : монография / В. П. Савиных, В. Ф. Крапивин, И. И. Потапов. – М. : Геодезкартиздат, 2007. – 388 с.

106. СанПиН № 4630–88 Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения [Электронный ресурс] – Введ. 1988-06-04.

– Доступ из справ.-правовой системы «Параграф». – URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30000082 (дата обращения 17.01.2019).

107. Селиверстов Ю. П. Основы геоэкологии [Текст] : учебник / Под ред. В. Г. Морачевского. – СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского университета – 1994. – 351 с.

108. Сладкопевцев С. А. Проблемы и перспективы развития геоэкологического мониторинга [Текст] / С. А. Сладкопевцев // Проблемы региональной экологии. – 2014. – № 4. – С. 127–130.

109. СНиП РК 2.04-01-2001. Строительная климатология [Электронный ресурс] / - Введ. 2002-03-01. - Доступ из справ.-правовой системы «Параграф». - URL: https://online.zakon.kz/document/?doc_id=30008590 (дата обращения 15.12.2018).

110. Собисевич А. В. Мониторинг природной среды : история и современное состояние (по материалам архива РАН) [Текст] / А. В. Собисевич // Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова. Материалы научной конференции. – М., 2018. – С. 55–61.

111. Сорок сел в Северном Казахстане могут быть подтоплены во время паводка – ДЧС [Электронный ресурс] // Zakon.kz: [сайт]. [2010]. – URL: https://www.zakon.kz/207906-sorok-sel-v-severnom-kazakhstane-mogut.html (дата обращения: 24.12.2018).

112. Социально-экономическая география : понятия и термины. Словарь-справочник [Текст] / Отв. ред. А. П. Горкин. – Смоленск : Ойкумена, 2013. – 328 с.

113. Среднемесячный расход воды [Текст] : письмо РГП «Казгидромет» Министерства энергетики Республики Казахстан от 23.10.2018 г. № 13-09/3186.

114. Теория и методология геоэкологической оценки качества окружающей среды природно-хозяйственных геосистем [Текст] / М. Н. Брилевский, А. Н. Витченко, Н. В. Гагина, С. М. Новик // Природно-хозяйственные регионы Беларуси : монография / под науч. ред. А. Н. Витченко. – Минск : БГПУ, 2005. – С. 4–24.

115. Трифонова Т. А. Дистанционные метогды в экологических исследованиях / Т. А. Трифонова, Н. В. Мищенко. – Владимир : ВлГУ, 2008. – 42 с.

116. Трофимов А. М. Региональный геоэкологический анализ [Текст] / А. М. Трофимов, В. А. Рубцов. – Казань : Меддок, 2005. – 228 с.

117. Трофимов В. Т. Классификация техногенных воздействий на геологическую среду [Текст] / В. Т. Трофимов, В. А. Королёв, А. С. Герасимова // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – М. : Наука. – № 5. – С. 96–107.

118. Трубина Л. К. Геоэкологический мониторинг [Текст] : конспект лекций: 020804 "Геоэкология" / Л. К. Трубина. - Новосибирск : СГГА, 2012. – 78 с.

119. Тунакова Ю. А. Экологический мониторинг [Текст]. Учебное пособие / Ю. А. Тунакова, А. В. Желовицкая, Р. А. Шагидуллина – Казань: Изд-во «Отечество», 2014. – 152 с.

120. Турсунов А. А. Гидроэкологические проблемы Казахстана [Электронный ресурс] / А. А. Турсунов. – Институт центральноазиатских и кавказских исследований Швеции. – URL: https://www.ca-c.org/journal/13-1998/st_09_tursunov.shtml (дата обращения 20.01.2019).

121. Тусупбеков Ж. А. Применение цифровых технологий при определении границ зон затопления г. Тара Омской области / Ж. А. Тусупбеков, А. А. Шарапов, Е. А. Шарко // Цифровое сельское хозяйство региона: основные задачи, перспективные направления и системные эффекты: сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию экономического факультета ФГБОУ ВО Омский ГАУ [Электронный ресурс]. – Омск : Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2019. – С. 294–298.

122. Тынабаева А. Основы экологической экспертизы и аудита [Электронный ресурс] / А. Тынабаева, К. Абубакирова. – Алматы, 2016. – URL: https://www.litres.ru/a-tanybaeva/osnovy-ekologicheskoy-ekspertizy-i-audita/chitat-onlayn/ (дата обращения 15.01.2019).

123. Хромых В. В. Изучение проблем природопользования в долинах крупных рек с использованием ГИС и данных дистанционного зондирования (на примере нижнего Притомья) / В. В. Хромых, О. В. Хромых // Материалы международной научно-практической конференции: География и геоэкология:

проблемы науки, практики и образования, 19 мая 2016 г. – М. : ИИУ МГОУ, 2016. – С. 192–199.

124. Хромых В. В. Аналитическая парадигма ГИС [Текст] / В. В. Хромых // Современные проблемы географии и геологии: Материалы III Международной научно-практической конференции с элементами школы-семинара для студентов, аспирантов и молодых ученых, 11-12 ноября 2014 г. НИ ТГУ. – Томск, 2014. – С. 390–395.

125. Чумаченко А. Н. Построение гидрологически-корректной цифровой модели рельефа (на примере Саратовской области) [Электронный ресурс] / А. Н. Чумаченко, Д. П. Хворостухин, В. А. Морозова // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. – 2018. – № 2. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-gidrologicheski-korrektnoy-tsifrovoy-modeli-reliefa-na-primere-saratovskoy-oblasti (дата обращения 8.01.2019).

126. Шибутов М. М. Проект водоохранных зон и полос реки Ишим (краткий итоговый отчет) [Текст] / М. М. Шибутов. – Алматы, 2004. – С. 6–7.

127. Шихов А. Н. Геоинформационные системы : применение ГИС-технологий при решении гидрологических задач [Текст] : практикум: учеб. пособие / А. Н. Шихов, Е. С. Черепанова, А. И. Пономарчук. – Пермь : Изд-во Пермский государственный национальный исследовательский университет. – 2014. – 91 с.

128. Экологический мониторинг. Методы биологического и физикохимического мониторинга [Текст]. Часть IV : учеб. пособие / под ред. Д. Б. Гелашвили. – Н.-Новгород : Изд-во ННГУ, 2000. – 427 с.

129. Язиков Е. Г. Геоэкологический мониторинг [Текст]. Учебное пособие для вузов / Е. Г. Язиков, А. Ю. Шатилов. – Томск, ТПУ, 2003. – 336 с.

130. Яковченко С. Г. Создание геоинформационных систем в инженерной гидрологии [Текст] : дис. … докт. техн. наук : 25.00.35 : защищена 8.11.07 / Яковченко Спартак Геннадьевич. – Барнаул, 2007. – 406 с.

131. Ясаманов Н. А. Основы геоэкологии [Текст] : учеб. пособие для эколог. специальностей вузов / Н. А. Ясаманов. – М.: Академия, 2003. – 352 с.