

<https://doi.org/10.31489/2024BMG4/183-196>

УДК 556.5.04

Получена: 15 августа 2024 г. | Одобрена для публикации: 26 сентября 2024 г.

А.В. Павленко¹, А.К. Мансурова², А. Кызырканов², Д.В. Черных^{3,4*}

¹Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан;

²Astana IT University, Астана, Казахстан;

³ФГБУН «Институт водных и экологических проблем СО РАН», Барнаул, Россия;

⁴Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

*Автор для корреспонденции: chernykh@mail.ru

Система мониторинга и обеспеченность данными прогноза наводнений Восточно-Казахстанской области

Статья посвящена сбору доступной информации о водных объектах Восточно-Казахстанской области, полученной из открытых источников Национальной гидрометеорологической службы Республики Казахстан и Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан с целью формирования базы атрибутивных данных с пространственной привязкой в ГИС и формированию основы последующих исследований, направленных на разработку и внедрение моделей прогнозирования наводнений. Проведен обзор исследований, посвященных прогнозу наводнений в разных регионах Казахстана и в других странах, в результате чего сформированы критерии оценки данных и системы гидрологического мониторинга. Приведена характеристика гидрологического режима основных репрезентативных водных объектов Восточного Казахстана. На основе пространственного анализа сети гидрологических постов и известных зон затопления дана оценка пространственному охвату государственной системы наблюдений и определены рекомендации по ее расширению. Сделаны выводы о возможности применения собранных данных при создании прогнозных моделей.

Ключевые слова: наводнения, мониторинг, ГИС, атрибутивные данные, Восточно-Казахстанская область, водные объекты, гидрологический пост, зоны затопления, гидрология, прогноз.

Введение

Наводнения относятся к одним из наиболее разрушительных стихийных бедствий, которые оказывают не только негативное влияние на различные отрасли экономики, но и являются реальной угрозой для жизни населения. Восточно-Казахстанская область одна из наиболее многоводных среди других областей Республики Казахстан, что увеличивает вероятность затоплений и связанные с этим риски. Особенность наводнений здесь всегда связывалась с их генезисом, который обуславливался характером местности, гидрологическим режимом водных объектов и климатическими особенностями. Прогнозирование наводнений с целью разработки эффективных противопаводковых мероприятий и минимизации рисков для региона остается приоритетной и актуальной задачей.

Целью настоящего исследования является формирование базы данных о водных объектах Восточно-Казахстанской области в программной среде ГИС с учетом особенностей и требований различных моделей прогнозирования наводнений для предварительной оценки паводковой ситуации. Объектом исследования выступает бассейн реки Ертис (Иртыш) в пределах Восточно-Казахстанской области.

В рамках исследования были поставлены следующие задачи:

- дать краткую характеристику водным объектам на территории Восточно-Казахстанской области, провести их типизацию в контексте существующей системы мониторинга;

- провести сбор, обработку и систематизацию имеющихся атрибутивных данных, сформировать единую базу гидрологических данных;
- визуализировать данные с помощью ГИС для получения интерактивных электронных карт с привязкой к атрибутивным данным.

Обзор международного опыта современных гидрологических исследований показывает повсеместное использование различных типов моделей для прогноза наводнений. Среди работ по мета-анализу [1–3] выделяются различные типы моделей, в том числе основанные на гидрологических, гидравлических данных, статистике, дистанционном зондировании и ГИС, искусственном интеллекте и машинном обучении, а также анализе комплексных решений. В цитируемых работах оцениваются преимущества и недостатки моделей, приводятся сведения о входных данных. В зависимости от типа данных различаются источники и подходы к их сбору. В ряду гидрологических данных выделяют два основных показателя — многолетние расходы и уровни воды в реках и водоемах. Кроме того, к важнейшим для моделирования данным относят метеоданные, величину снегозапасов, информацию о строении русла и дна, особенностях водосборных бассейнов, уровне и режиме грунтовых вод, состоянии регулирующих сток гидротехнических сооружений и др.

Современные системы, применяемые для составления долгосрочных и краткосрочных прогнозов, зачастую основаны на использовании одной или нескольких математических моделей, призванных облегчить анализ множества данных различного характера и дать своевременное экспертное заключение. При этом возможность и целесообразность применения тех или иных моделей обусловлены полнотой и доступностью входных данных о водных объектах и прилегающей к ним территории в границах водосборных бассейнов. Среди важнейших характеристик этой информации следует отметить ее географическую привязанность и корректное пространственное распространение. Исходя из объема информации, процессы ее сбора, хранения, систематизации и анализа наиболее удобно проводить в программной среде какой-либо ГИС, где хранение данных осуществляется посредством атрибутивных таблиц, связанных с представленными географическими объектами на электронных картах.

В последние годы для территории Республики Казахстан появляется все больше исследований, посвященных проблеме наводнений. В первую очередь, это труды специалистов, работающих в Институте географии и водной безопасности (г. Алматы). Из последних работ можно выделить [4, 5], где даётся описание режимов рек и особенностей наводнений для всей территории Казахстана, приводится сравнение специфики прохождения экстремальных периодов водного режима у разных групп рек.

Также среди работ, посвященных оценке рисков, связанных с наводнениями, можно выделить региональные исследования, проведенные в Акмолинской области, в результате которых получены данные о степени вероятности возникновения различных видов экологических рисков, выявлены закономерности развития их негативных последствий [6]. В работах [7, 8] представлены оценки изменения качественных и количественных характеристик рек Центрального Казахстана во время половодья и выявлены основные причины наводнений для рек бассейнов Нуры и Есилья в условиях современных климатических изменений. В статье [9] рассматриваются причины и оцениваются факторы, влияющие на частоту и интенсивность наводнений на реке Есиль у города Петропавловска, а также предложены меры по их предотвращению и минимизированию последствий. Работа [10] посвящена ретроспективной оценке катастрофических наводнений весны 2024 г. в Западном регионе Казахстана. Проведены гидрологические расчеты, исследованы характерные уровни воды в реке Жайык, а также площади затопления прибрежных территорий.

С учетом специфики текущего исследования, одной из наиболее важных работ является статья [11], в которой рассматриваются последствия паводковых явлений, характерных для территории Восточно-Казахстанской области, приводится краткий обзор наводнений в исследуемом районе, произошедших за последние 10 лет. В работе также проведен первичный анализ зон затопления отдельных рек на основе спутниковых изображений и предложен ряд мер по снижению рисков.

Немало работ посвящено применению методов дистанционного зондирования для оценки масштабов затопления и прогнозирования наводнений на территории Казахстана. К наиболее свежим работам по данной тематике можно отнести [12], где приведены результаты пространственного анализа наводнений, смоделированы зоны затопления отдельных территорий республики. В работе [13] рассматривается опыт применения модели FLOMIS для оперативного картирования зон подтопления в Западном Казахстане. Статья [14] посвящена применению ГИС-технологий и данных дистанцион-

ного зондирования для космического мониторинга наводнений. В исследовании [15] описываются концепция и основы разработки методических принципов мониторинга и прогнозирования наводнений на территории Восточно-Казахстанской области с последующей целью создания собственной системы прогнозирования паводков и затоплений. С 2001 г. в Республике Казахстан на базе Национального центра космических исследований и технологий обеспечен прием спутниковых данных Terra MODIS, которые позволяют вести оперативное наблюдение за потенциальными очагами опасных явлений природного характера. В работе [16] представлены результаты и краткая характеристика этой технологии.

Материалы и методы

Данные, собранные о водных объектах Восточно-Казахстанской области, доступные к использованию для прогнозирования наводнений, на текущий момент достаточно обширны, однако нуждаются в определенной обработке и оценке их применимости. Основным источником информации выступают государственные организации, осуществляющие сбор первичных данных путем проведения режимных наблюдений. Несмотря на практическую ценность, структура подачи информации имеет ряд неудобств и ограничений, что влияет не только на качество, но и на саму возможность применения отдельных наиболее эффективных моделей прогноза. Существующая сеть наблюдательных пунктов имеет ряд недостатков, связанных с полнотой охвата территории. Многие материалы, в частности архивные исторические, не оцифрованы, что осложняет работу с ними. Практически отсутствуют элементы визуализации и удобной для пользователя подачи информации. Почти не используются возможности, предоставляемые современными географическими информационными технологиями. Все эти проблемы отнимают у конечных пользователей большое количество времени на самостоятельные попытки структурировать данные удобным для них способом.

Единственным источником достоверной гидрометеорологической информации на территории Республики Казахстан является Национальная гидрометеорологическая служба Республики Казахстан — РГП «Казгидромет», занимающаяся в рамках программ гидрологического и метеорологического мониторинга сбором данных на пунктах государственной наблюдательной сети, их обработкой и прогнозированием опасных природных явлений. Не менее важными материалами о наиболее подверженных затоплениям территориях и принимаемых мерах для обеспечения безопасности населения обладают структурные подразделения Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. Материалы, используемые в настоящем исследовании, получены из открытых источников указанных организаций. Гидрологические данные приведены из гидрологических ежегодников РГП «Казгидромет» с 1960 по 2021 гг. В качестве инструментов для создания картографической базы данных использовалась программная среда ArcGISDesktop версии 10.4.1. Пространственная привязка атрибутивных данных осуществлялась в системе координат СК-42 (зона 14), наиболее удобной для отображения территории Восточно-Казахстанской области.

Результаты и их обсуждение

Территория Восточно-Казахстанской области полностью расположена в пределах Ертысского водохозяйственного бассейна (ВХБ). Общая площадь Ертысского ВХБ в пределах Республики Казахстан составляет около 545 тыс. км². Главной водной артерией, протекающей с юго-востока на северо-запад, является река Ертыс. В пределах Республики Казахстан ее протяженность составляет около 1835 км. Ертыс является транзитной рекой, берущей начало в Китайской Народной Республике, под названием Кара-Ертыс (Черный Иртыш), протекающей по территории Восточно-Казахстанской области, области Абай и Павлодарской области и далее впадающей на территории Российской Федерации в реку Обь, глобально являясь частью бассейна Северного Ледовитого океана [17].

Практически все водные объекты на территории Восточно-Казахстанской области являются либо составной частью реки Ертыс, либо ее притоками. Пересекая китайскую границу, река Кара-Ертыс впадает в озеро Жайсан, после чего вытекает из него уже под названием Ертыс, образуя Буктырминское водохранилище, переходящее ниже по течению в Усть-Каменогорское, а на границе с областью Абай — Шулбынское водохранилище. Гидрологически все они составляют единый водный объект. Питание реки смешанное, в пределах области, преимущественно, снегово-ледниковое. Сток реки Ертыс в пределах ВКО полностью зарегулирован плотинами трех крупнейших в РК ГЭС, образующих одноименные водохранилища, что минимизирует риски, связанные с затоплением территорий, при-

легающих к основному руслу реки. Исключение составляют участки, где река приобретает более равнинный характер, и ее русло становится многоукавным.

Для больших по площади озерных участков реки существует вероятность образования ветровых нагонных явлений [17]. Река Ертис никогда полностью не замерзает. Начало половодья приходится на март–апрель, а конец — на май–июнь. Среднегодовой расход воды реки Ертис в районе г. Усть-Каменогорска за весь период наблюдений с 1961 по 2021 гг. составляет 559 м³/с при среднегодовом уровне воды 287,25 мБС. Максимальный уровень воды на посту наблюдался 26.04.88 г. и составлял 292,84 мБС. При этом критический уровень начала выхода воды на пойму для данного участка составлял 287,88 мБС [18].

Т а б л и ц а 1

Многолетние данные по уровням воды за весь период наблюдений на гидрологических постах с наиболее полным непрерывным рядом не менее 10 лет, по состоянию на 2021 г.

№	Гидрологический пост	Критический уровень, см	Среднегодовой уровень, см	Высший уровень, см
1	р. Кара Ертис — с. Боран	525	255	555
3	р. УлкенБокен — с. Джумба	380	176	406
4	р. Куршим — с. Вознесенка	310	135	418
5	р. Нарын — с. Улькен Нарын	160	132	290
6	р. Буктырма — с. Печи	250	106	447
7	р. Буктырма — с. Лесная Пристань	530	324	750
8	р. Левая Березовка — с. Средигорное	200	79	252
10	р. Ульби — с. Ульби-Перевалочная	380	125	438
11	р. Оба — г. Шемонаиха	430	113	504
12	р. Глубочанка — с. Белокаменка	334	204	344
16	р. Буктырма — с. Берель	290	140	322
17	р. Белая — с. Белое	140	91	295
19	р. Красноярка — с. Предгорное	350	180	320
20	р. Абылайкит — с. Самсоновка	420	254	457
21	р. Улан — с. Герасимовка	440	294	524
23	р. Кандысу — с. Сарыолен	-	55	131

Т а б л и ц а 2

Многолетние данные по расходам воды за весь период наблюдений на гидрологических постах с наиболее полным непрерывным рядом не менее 10 лет, по состоянию на 2021 г.

№	Станция	Среднегодовой расход, м ³ /с	Наибольший расход, м ³ /с
1	р. Кара Ертис — с. Боран	290	2330
3	р. Улкен Бокен — с. Джумба	8	428
4	р. Куршим — с. Вознесенка	61	1050
5	р. Нарын — с. Улькен Нарын	10,8	166
6	р. Буктырма — с. Печи	109	1340
7	р. Буктырма — с. Лесная Пристань	216	2740
8	р. Левая Березовка — с. Средигорное	1,09	27,1
10	р. Ульби — с. Ульби-Перевалочная	64,7	2220
11	р. Оба — г. Шемонаиха	172	3050
12	р. Глубочанка — с. Белокаменка	0,65	8,37
16	р. Буктырма — с. Берель	37,3	444
17	р. Белая — с. Белое	17,1	305
19	р. Красноярка — с. Предгорное	3,28	58,4
20	р. Абылайкит — с. Самсоновка	5,54	72,2
21	р. Улан — с. Герасимовка	0,97	29
23	р. Кандысу — с. Сарыолен	4,83	21,1

По характеру стока и водному режиму все притоки реки Ертис в пределах ВКО целесообразно разделить на 3 группы. К группе I относятся правобережные притоки, берущие начало на хребтах и в предгорьях Юго-Западного Алтая. Они характеризуются постоянным стоком, многоводностью и обеспечивают большую часть питания реки Ертис. К ним, в первую очередь, относятся реки Буктырма, Оба, Ульби и в меньшей степени Куршим, Кальжир, Нарын и другие. Среди других крупных водных объектов необходимо отметить Маркаколь, проточное озеро, соединенное с рекой Кара-Ертис через ее приток Кальжир. Анализ водного режима рек I группы приведен на примере реки Буктырма [17].

Река Буктырма относится к горным рекам со смешанным типом питания. Начало половодья приходится на последнюю декаду апреля, а конец — на первую декаду июня. В отдельные годы с августа по ноябрь на реке наблюдаются паводковые явления, поднимающие уровень воды до значений половодья того же года. Нередко паводковые явления сопровождаются и периодом половодья, еще сильнее поднимая уровень в реке. Четко выраженной остается лишь зимняя межень с декабря по март. Устойчивый ледяной покров формируется во второй декаде декабря и держится до середины апреля. Периоды осеннего и весеннего ледохода могут сопровождаться образованием зажоров и заторов. Среднемноголетний расход воды реки Буктырма в районе с. Лесная Пристань за весь период наблюдений с 1954 по 2021 гг. составляет $216 \text{ м}^3/\text{с}$ при среднемноголетнем уровне воды 430,91 мБС (табл. 1 и 2). Максимальный уровень воды на посту наблюдался 31.03.18 г. и составлял 435,17 мБС. При этом критический уровень начала выхода воды на пойму для данного участка составляет 432,97 мБС. Для реки и ее притоков характерны наводнения в период половодья, кратковременных паводковых явлений и зажорно-заторного типа [18].

II группа притоков реки Ертис значительно менее многоводна, но в большинстве имеет постоянный сток. Все они берут начало на Калбинском хребте и впадают в Буктырминское, Усть-Каменогорское и Шульбинское водохранилища или на участке р. Ертис между последними. К наиболее крупным из них относят реки Улкен-Бокен, Кайынды, Аблакетка, Уланка, Дресвянка и Кызылсу. Наиболее многоводным притоком левобережья является река Улкен Бокен (Большая Буконь), впадающая в Буктырминское водохранилище с юго-востока и образующая достаточно широкие разливы в устье, что послужило аргументами для выбора ее в качестве примера при анализе рек II группы [17].

Улкен Бокен относится к равнинным рекам со смешанным типом питания, с преобладанием дождевого. Паводье наступает в середине апреля и заканчивается в конце мая. Нередкими являются паводковые явления в период летне-осенней межени. Зимняя межень длится с декабря по март. Устойчивый ледяной покров на реке Улкен Бокен формируется во второй декаде ноября и держится до второй декады апреля. Для реки также характерны зажорно-заторные явления. Среднемноголетний расход реки за период с 1953 по 2021 гг. составляет $8 \text{ м}^3/\text{с}$, при среднемноголетнем уровне 691,81 мБС (табл. 1 и 2). Река характеризуется достаточно неустойчивым уровнем стока за разные годы с максимальными уровнями расходов, колеблющимися от 14 до $70 \text{ м}^3/\text{с}$, что еще раз доказывает зависимость ее питания от дождевых осадков. Наивысший уровень в реке наблюдался 25.04.15 г. у с. Джумба, достигнув отметки 694,11 мБС и, превысив критический уровень (693,85 мБС) на 26 см. Для реки характерны паводковый тип и наводнения в период половодья, возможны образования заторов и зажоров [18].

В III группу попадают реки, берущие начало на хребтах Саур и Тарбагатай и стекающие к озеру Жайсан. Большинство этих рек теряется в песках или пересыхает. Они характеризуются резкими подъемами уровня и широким разливом в силу преобладания равнинного рельефа в их устье. Это обусловлено климатическими особенностями и строением Зайсанской впадины, в которой расположено озеро. На питание реки Ертис и озера Жайсан значительного влияния они не оказывают. Среди подобных рек с более устойчивым стоком можно выделить Кандысу, Уйдене, и Кендерлык. Ниже приведен анализ рек III группы на примере Кандысу [17].

Река Кандысу является ярким примером рек III типа со смешанным питанием, с преобладанием дождевого, впадает в озеро Жайсан с юга. Верховья реки имеют постоянный круглогодичный сток, тогда как низовья часто пересыхают. Воды из реки Кандысу доходят до озера Жайсан только в периоды половодья и наиболее сильных паводков. В среднем течении река перестает быть горной и достаточно сильно разливается. Для регулирования воды на реке Кандысу и сохранения стоков построено Кандысуское водохранилище и канально-арычная сеть, используемая для полива. Русло реки неустойчивое и разделяется на множество рукавов. Начало половодья на реке Кандысу приходится на ко-

нец марта, а конец — на начало мая. Паводковые явления наблюдаются достаточно часто в течение всего теплого периода года и напрямую зависят от количества осадков, нет четкой выраженности даже зимнего периода межени. Ледостав на реке неустойчив, начало ледовых явлений приходится на середину ноября, а конец — на третью декаду марта. Зажорно-заторные явления не наблюдались. Среднегоголетний расход воды реки Кандысу в районе с. Сарыюлен за весь период наблюдений с 2012 по 2021 гг. составлял $4,83 \text{ м}^3/\text{с}$ при среднегоголетнем уровне воды 996,55 м усл. (табл. 1 и 2). Максимальный уровень воды на посту наблюдался 29.03.12 г. и составлял 997,31 м усл. При этом критический уровень начала выхода воды на пойму для данного участка не установлен. Для реки и ее притоков характерны наводнения в период половодья и кратковременных паводковых явлений [18].

В рамках исследования был проведен сбор и структуризация данных гидрологических наблюдений. Результаты были оформлены в виде электронной карты с привязанной информацией в виде реляционных таблиц (рис. 1). Собранные данные позволяют дать оценку состоянию гидрологической наблюдательной сети в целом, предложить рекомендации по ее усовершенствованию и могут быть использованы в дальнейшем для разработки и наполнения моделей прогнозирования наводнений. Основным критерием пригодности данных гидрологических постов для построения прогнозных моделей является период непрерывных наблюдений не менее 10 лет. Анализ распределения гидрологических постов по территории позволил дать оценку охвата водных объектов государственной сетью мониторинга.

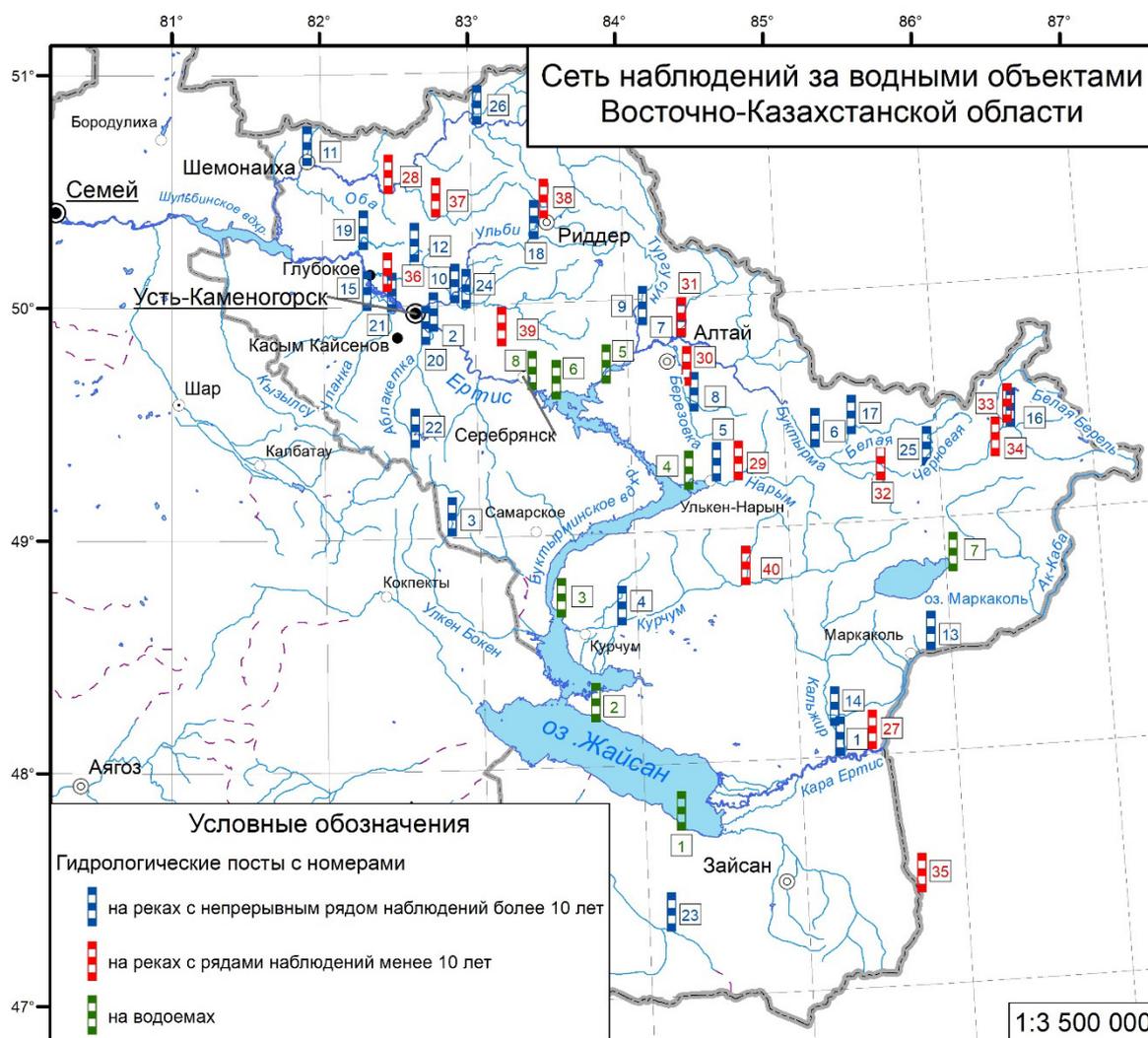


Рисунок 1. Карта распределения гидрологических постов государственной наблюдательной сети в границах Восточно-Казахстанской области

Государственная наблюдательная сеть в пределах Восточно-Казахстанской области представлена на 48 гидрологических постами. Из них 8 размещены на 3 водоемах и 40 — на 31 реке. Из 40 речных постов только 26 обладают достаточным для большинства гидрологических исследований непрерывным десятилетним рядом наблюдений, 5 из оставшихся 14 были созданы только в 2021 г. [18].

Наилучший охват наблюдениями осуществлен на реке Ертис совместно с озером Жайсан, водохранилищами и рекой Кара-Ертис. В целом на водном объекте размещены 7 озерных (2 на озере Жайсан и 5 на Буктырминском водохранилище) и 4 речных постов (по 2 на реке Кара-Ертис и на участке реки Ертис ниже Усть-Каменогорского водохранилища). Посты на водоемах существуют достаточно давно. Наиболее старые из них расположены у п. Тугыл (№ 1), который действует с 1931 г. (реорганизован в 1961 г.), и у с. Заводинка (№ 5), запущенный в работу с 1937 г. (реорганизован в 1963 г.). Реорганизация постов с перемещением оборудования связаны с запуском Буктырминского водохранилища в 1960 г. Остальные озерные посты также были построены в 60-е годы XX века в разное время с перерывом в пару лет. Следовательно, все действующие посты на Буктырминском водохранилище и озере Жайсан имеют ряды наблюдений не менее 60 лет, что является хорошим показателем и снижает вероятность ошибки при использовании моделей для прогнозирования наводнений на указанных водоемах. Кроме стандартного набора наблюдений за водным режимом и ледовыми явлениями, на данных постах ведутся наблюдения за температурой воды и повторяемостью ветра, что является важным для прогнозирования затоплений прибрежных территорий, связанных с ветровыми нагонами. Среди постов на реке Ертис, гидропост у п. Аблакетка (№ 2), расположенный ниже Усть-Каменогорского водохранилища, также действует с 1960 г., а речной пост у с. Уварово (№ 36) был запущен только в 2021 г. и достаточным рядом наблюдений обладать не может. Похожая ситуация существует и на реке Кара-Ертис, где речной пост № 1 у с. Боран (№ 1) ведет наблюдения с 2003 г., а гидропост на границе с КНР (№ 27) работает с 2016 г. Таким образом, среди из 11 постов на реке Ертис с водоемами, обладают достаточными рядами данных для построения актуальных моделей гидропрогноза только 9.

Крупнейший приток Ертиса — река Буктырма также достаточно хорошо охвачена системой гидрологических наблюдений. Общее число речных постов на ней и ее притоках составляет 12. Среди них 3 достаточно равномерно распределены по руслу самой Буктырмы (№ 6, 7 и 16), охватывая как верховья, так и низовья, 2 — на реке Березовка (№ 30) с притоком Левая Березовка (№ 8) и по 1-му на реках Хамир (№ 31), Тургысын (№ 9), Белая (№ 17), Сарымсакты (№ 32), Черновая (№ 25), Орел (№ 34) и Белая Берель (№ 33). На 2024 г. только 7 постов проходят критерий отбора 10 и более лет наблюдений, среди них посты на реках Буктырма, Левая Березовка, Тургысын, Белая, Черновая.

В пределах бассейна реки Ульби размещены 4 гидропоста. Из них 2 на реке Ульби (№ 10 и 18) в верхнем и нижнем течении, 1 — р. Киши Ульби (№ 24) и 1 — на реке Шаравка (№ 38). Все посты, кроме № 38 на Шаравке, имеют ряды наблюдений более 10 лет. Стоит отметить, что охват наблюдательной сетью на притоках реки Ульби гораздо ниже с учетом достаточно большой густоты речной сети. Нет стационарных постов наблюдений на реках Тихая и Громотуха, образующих при слиянии р. Ульби. Несмотря на то, что в рамках мониторинга качества поверхностных вод, ведутся наблюдения и отборы проб на химический состав в реках Филипповка и Брекса (притоки Тихой), расположенных в старейшем районе горнодобывающей промышленности, гидропосты здесь также отсутствуют. Слабо охвачена р. Киши Ульби, в верховьях которой расположено Малоульбинское водохранилище.

На реке Оба расположены 3 наблюдательных гидропоста (№ 11, 26 и 28) и 1 расположен на ее притоке Малой Убинке (№ 37). Рядами наблюдений более 10 лет обладают только посты № 11 и 26, расположенные в г. Шемонаиха и у с. Каракожа. Малое количество гидрологических постов объясняется низкой заселенностью северо-восточных и северных горных районов, где расположены верховья реки Оба и множество ее притоков, то есть отсутствует безотлагательная необходимость постоянного контроля режима реки ввиду отсутствия или низкой плотности объектов подверженных риску затопления. Среди потенциальных точек размещения новых постов можно выделить устье реки Оба, где она впадает в Шульбинское водохранилище и существуют риски затопления прибрежных территорий.

Река Куршим берет начало в горных хребтах Юго-Западного Алтая, но в нижнем течении становится равнинной, в устье образуя дельту при впадении в Буктырминское водохранилище. Притоки реки достаточно маловодны и незначительны. На реке Куршим расположены 2 гидрологических поста: у с. Вознесенка (№ 4) и у с. Маралды (№ 40), в нижнем и среднем течении, соответственно. Пост № 40 запущен только в 2020 г., из чего следует, что ряд наблюдений более 10 лет присутствует толь-

ко на гидропосте № 4. По охвату 2-х гидрологических постов для низовий бассейна реки вполне достаточно. Установка дополнительных постов в верховьях реки может сопровождаться сложностями, сопряженными с селевой опасностью района.

Бассейн реки Кальжир, включает в себя озеро Маркаколь и, соответственно, по 1 озерному и речному постам. Гидропост на озере Маркаколь (№ 8) — один из старейших, работает с 1942 г., что полностью соответствует критерию непрерывности и длине ряда наблюдений. Пост на реке Кальжир (№ 14) также имеет ряд наблюдений более 10 лет. Охват сетью постов в данном бассейне минимален, отсутствуют наблюдения на реках, впадающих в озеро Маркаколь, кроме реки Урунхайка, где расположен озерный пост. Дополнительный речной пост может быть установлен в верховьях реки Кальжир.

На реке Нарын имеются 2 гидрологических поста (№ 5 и 29), что вполне достаточно для ее низовий, учитывая небольшие размеры бассейна. В верховьях размещение гидропоста может быть сопряжено с селевой опасностью района. Недалеко в Буктырминском водохранилище расположен озерный пост № 4, в районе бывшего устья реки Нарын. Только пост № 5 непрерывно работает более 10 лет, пост № 29 был создан в 2020 г.

Среди более мелких рек, впадающих непосредственно в реку Ертис на разных участках, необходимо отметить, что по 1 посту расположено на реках Смолянка (№ 39), Глубочанка (№ 12) и Красноярка (№ 19). Учитывая малозначимость их бассейнов, этого вполне достаточно. Критерию непрерывности ряда наблюдений более 10 лет соответствуют только посты № 12 и 9. Гидропост на реке Смолянка был создан только в 2021 г.

Отдельно также стоит упомянуть пограничную с КНР реку бассейна Кара-Ертиса — Бас-Теректы, где также расположен 1 пост под номером 13. Он обладает достаточным рядом непрерывных наблюдений, несмотря на то, что сама река большого значения в стоке Кара Ертиса не имеет.

Среди водотоков II группы, являющихся левобережными притоками Ертиса гидропосты расположены на реках Улкен Бокен (№ 3), Аблакетка (№ 20), Сибе (№ 22), Уланка (№ 21) и Дресвянка (№ 15). Все указанные гидропосты имеют ряд непрерывных наблюдений более 10 лет. Учитывая маловодность данных рек, малый охват их наблюдательной сетью гидрологических постов вполне объясним. Перспективными местами размещения новых постов здесь являются реки левобережья Буктырминского водохранилища в Самарском районе области, которое в последние годы активно застраивается и начинает вовлекаться в сферу туризма. Примерами таких мест могут быть устья рек Улкен Бокен, Кайынды и Лайлинка.

Реки III группы получили наименьший охват гидрологической сетью. Практически единственным гидрологическим постом здесь является пост у с. Сарыолен на р. Кандысу (№ 23). Он запущен с 2012 г. и уже имеет достаточный для анализа ряд наблюдений, чего, однако, недостаточно для оценки ситуации по всей протяженности реки. Второй пост расположен на Улкен Уласты (№ 35), пограничной с КНР реке, сток которой номинально относится к бассейну Кара-Ертиса, но фактически теряется в песках на территории Китая. На определенных равнинных участках реки указанной группы достаточно широко разливаются ввиду малых перепадов высот, что приводит к затоплению больших участков земли. Перспективные гидрологические посты здесь можно разместить, в первую очередь, на реках Кендерлык и Уйдене, играющих важную роль в орошении.

В целом можно сделать вывод, что государственной сетью мониторинга режима поверхностных вод в наилучшей степени охвачено правобережье реки Ертис, за исключением труднодоступных горных территорий на границах с Россией и Китаем. Левобережная часть охвачена значительно меньше, здесь все еще имеется достаточное количество водоемов и рек, нуждающихся в режимных наблюдениях. В рамках настоящего предварительного исследования приведены только наиболее перспективные участки расширения гидрологической сети. Для более детального анализа необходимо провести моделирование территории и экспертную оценку полученных результатов, что и планируется осуществить в дальнейшем.

Созданная в рамках настоящего исследования база гидрологических данных была дополнена информацией о расположении населенных пунктов с наиболее частыми случаями регулярных затоплений в результате разлива рек. Источником данных послужили обработанные сводки, обзоры МЧС РК и публикации в средствах массовой информации за период с 2010 по 2021 гг. Результаты исследования оформлены в виде электронной карты с привязкой атрибутивных данных (рис. 2).

По пространственному распределению наибольшее количество затопляемых участков сконцентрировано в районе г. Усть-Каменогорска на участке реки Ертис и его притоках от нижнего бьефа

Усть-Каменогорской ГЭС до пос. Предгорное (Глубоковский район), в том числе на реке Ульби до г. Риддер, реках Красноярка, Глубочанка и других. Необходимо отметить, что большинство этих водных объектов охвачены сетью наблюдений гидрологических постов, за исключением наиболее мелких ручьев и проток.

Другой участок с наибольшей концентрацией населенных пунктов, подверженных затоплению, располагается на реке Буктырма от города Алтай до ее впадения в Буктырминское водохранилище. Отдельные очаги встречаются и выше по течению, а также на всех основных притоках. Бассейн реки Буктырма достаточно хорошо охвачен гидропостами, что позволяет достаточно точно прогнозировать затопления. Единственным неохваченным уязвимым населенным пунктом здесь является с. Чапаево на реке Крестовка.

Среди других крупных рек стоит выделить бассейн р. Оба, где затапливаемые населенные пункты достаточно сильно рассеяны и не везде имеются гидрологические посты. К таким участкам можно отнести пос. Усть-Таловку на р. Таловка (Шемонаихинский район) и с. Убинка в устье р. Оба.

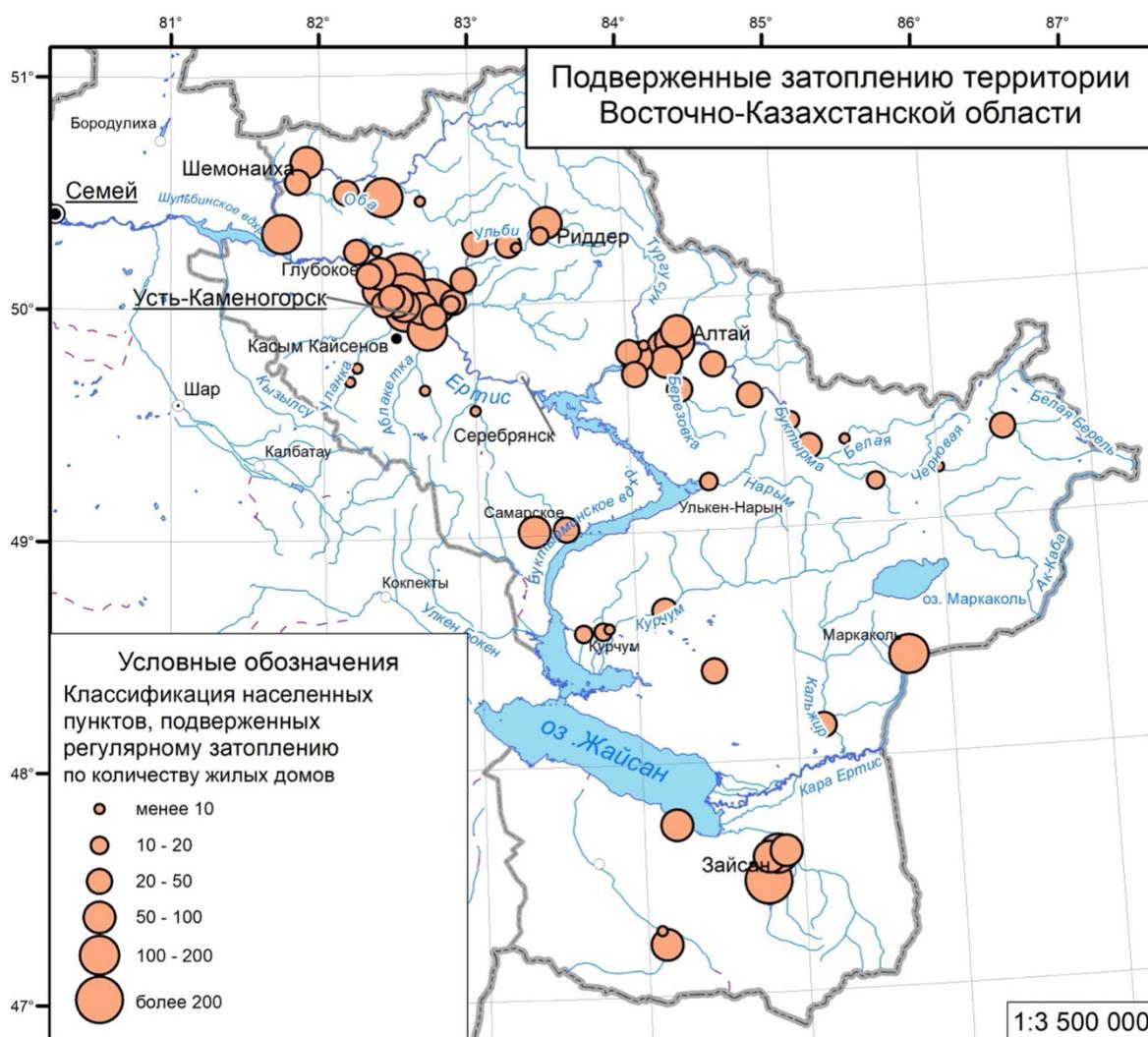


Рисунок 2. Карта подверженных затоплению участков Восточно-Казахстанской области по состоянию на 2021 г.

Затапливаемые участки бассейнов рек Кальжир, Куршим и Нарын в основном сосредоточены в низовьях и при впадении в реку Кара Ертыс и Буктырминское водохранилище. Все они охвачены гидрологическими постами, как и р. Бас-Теректы. Единственным неохваченным населенным пунктом в Куршимском районе остается с. Каратагай на р. Калгутты, в полноводные периоды впадающей в Буктырминское водохранилище.

Левобережные реки II группы наблюдательной сетью охвачены достаточно слабо, в результате чего здесь местами встречаются подверженные затоплениям небольшие населенные пункты. Среди них административный центр с. Самарское на реке Лайлинка, с. Миролюбовка на р. Кайынды, с. Уланское и Жанузак в верховьях реки Уланка, с. Асубулак на реке Унгырды и с. Бестерек на ручье Колбала.

Среди рек III группы, как отмечалось выше, единственный гидрологический пост расположен на р. Кандысу, здесь же находятся подверженные затоплению населенные пункты, с. Сарыолен и Жанааул. На реке Уйдене гидрологических постов нет и при этом расположены 4 подверженных затоплениям населенных пункта (с. Кенсай, Жарсу, Бакасу и Сарыжыра).

В районе пос. Тугыл также имеется затапливаемый участок на реке Кабыргатал. Речных постов здесь нет, однако имеется пост на озере Жайсан.

Необходимо отметить, что не все зоны затопления охвачены в рамках настоящего исследования, в том числе остались без внимания населенные пункты и базы отдыха, размещенные на побережье Буктырминского водохранилища. Это объясняется тем, что информация по многим из них достаточно разрознена и сложна для качественной обработки, а данное исследование посвящено предварительному сбору информации о водных объектах с последующей целью подбора подходящей модели для прогнозирования наводнений. В дальнейшем база данных будет уточнена и дополнена.

Заключение

Анализ зарубежного и отечественного опыта в области исследования наводнений показал важность использования длительных рядов данных непрерывных наблюдений с четкой пространственной привязкой для получения возможности применения наиболее точных и комплексных моделей прогнозирования.

Анализ основных притоков р. Ертис в пределах Восточно-Казахстанской области позволил выделить 3 группы рек по водному режиму и территориальным особенностям.

К группе I отнесены правобережные притоки, берущие начало на хребтах и предгорьях Юго-Западного Алтая. Они характеризуются постоянным стоком, многоводностью и обеспечивают большую часть питания р. Ертис. К ним в первую очередь относятся р. Буктырма, Оба, Ульби и в меньшей степени Куршим, Кальжир, Нарын и другие. Среди других крупных водных объектов необходимо отметить Маркаколь, проточное озеро, соединенное с рекой Кара-Ертис через ее приток Кальжир. Начало половодья на этих реках приходится на последнюю декаду апреля, а конец — на первую декаду июня. В отдельные годы с августа по ноябрь могут наблюдаться опасные паводковые явления, поднимающие уровень воды до значений половодья того же года. Зимняя межень длится с декабря по март. Устойчивый ледяной покров формируется во второй декаде декабря и держится до середины апреля. Периоды осеннего и весеннего ледохода могут сопровождаться образованием зажоров и заторов.

II группа притоков р. Ертис значительно менее многоводна, но в большинстве имеет постоянный сток. Все они берут начало на Калбинском хребте и впадают в Буктырминское, Усть-Каменогорское и Шульбинское водохранилища или на участке р. Ертис между ними. К наиболее крупным из них относят р. Улкен-Бокен, Кайынды, Аблакетка, Уланка, Дресвянка и Кызылсу. Реки II группы отнесены к равнинным рекам со смешанным типом питания, с преобладанием дождевого. Половодье наступает в середине апреля и заканчивается в конце мая. Нередкими являются паводковые явления в период летне-осенней межени. Зимняя межень длится с декабря по март. Для рек II группы характерны паводковый тип и наводнения в период половодья, возможны образования заторов и зажоров.

В III группу попадают реки, берущие начало на хребтах Саур и Тарбагатай и стекающие к озеру Жайсан. Большинство этих рек теряется в песках или пересыхает. Они характеризуются резкими подъемами уровня и широким разливом в силу преобладания равнинного рельефа в их устье. Это обусловлено климатическими особенностями и строением Зайсанской впадины, в которой расположено озеро. На питание реки Ертис и озера Жайсан значительного влияния они не оказывают. Среди подобных рек с более устойчивым стоком можно выделить Кандысу, Уйдене, и Кендерлык. Реки III типа имеют смешанное питание с преобладанием дождевого. Верховья рек имеют постоянный круглогодичный сток, тогда как низовья часто пересыхают, их воды доходят до озера Жайсан только в периоды половодья и наиболее сильных паводков. Русло неустойчивое и может разделяться на множество рукавов. Начало половодья приходится на конец марта, а конец — на начало мая. Паводковые явления наблюдаются достаточно часто в течение всего теплого периода года и напрямую зависят от

количества осадков, нет четкой выраженности даже зимнего периода межени. Ледостав неустойчив, начало ледовых явлений приходится на середину ноября, а конец — на третью декаду марта. Зажорно-заторные явления никогда не наблюдались. Для реки и ее притоков характерны наводнения в период половодья и кратковременных паводковых явлений.

Проведенный анализ гидрологических данных позволил установить, что из 48 гидрологических постов государственной наблюдательной сети в пределах Восточно-Казахстанской области только 26 работают продолжительное время, достаточное для того, чтобы накопить ряд непрерывных наблюдений более 10 лет. По пространственному размещению гидропостов определено, что в наибольшей степени ими охвачены бассейны рек I группы и в наименьшей — III группы. К перспективным районам размещения дополнительных гидропостов отнесены бассейны р. Ульби, Оба, верховья р. Куршим, Нарын и Кальжир, реки левобережья Буктырминского водохранилища (Улкен-Бокен, Кайынды и Лайлинка) и реки бассейна озера Жайсан (Кандысу, Кендерлык и Уйдене). Приведены только наиболее перспективные участки расширения гидрологической сети. Для более детального анализа необходимо провести моделирование территории и экспертную оценку полученных результатов, что и планируется осуществить в дальнейшем.

Анализ данных МЧС РК позволил выделить наиболее проблемные участки рек затапливаемых территорий и сравнить эти участки с охватом гидрологических постов. К проблемным участкам, нуждающимся в расширении государственной сети наблюдений, отнесены следующие населенные пункты: с. Чапаево на р. Крестовка (район Алтай), пос. Усть-Таловка на р. Таловка и с. Убинка в устье р. Оба (Шемонаихинский район), с. Каратогай на р. Калгутты (Куршимский район), с. Самарское на р. Лайлинка и с. Миролюбовка на р. Кайынды (Самарский район), с. Уланское и Жанузак в верховьях р. Уланка, с. Асубулак на р. Унгырды и с. Бестерек на ручье Колбала (Уланский район), с. Кенсай, Жарсу, Бакасу и Сарыжыра на р. Уйдене и пос. Тугыл на р. Кабыргатал (Зайсанский район). Уязвимые участки выделены предварительно, в том числе остались без внимания населенные пункты и базы отдыха, размещенные на побережье Буктырминского водохранилища.

Созданная картографическая база данных с применением ГИС-технологий послужит отправной точкой для более детальных исследований на основе моделирования и экспертных оценок. Анализ собранных материалов свидетельствует о том, что существующий объем гидрологических данных недостаточен для глобального моделирования всей территории ВКО целиком в крупном масштабе, и для прогнозирования наводнений потребуется применение подходов, направленных на использование косвенных данных о климате, особенностях рельефа и др. На текущем этапе целесообразнее сфокусировать усилия на отдельных локальных участках, в особенности на уязвимых населенных пунктах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования по научным, научно-техническим программам на 2024–2026 гг. по теме «Разработка системы прогнозирования катастрофических паводков в Восточно-Казахстанской области с применением данных ДЗЗ, ГИС-технологий и машинного обучения» (ИРН BR24992899).

Список литературы

- 1 Kumar V. Comprehensive overview of flood modeling approaches: A review of recent advances / V. Kumar et al. // *Hydrology*. — 2023. — Vol. 10, No 7. — P. 141. <https://doi.org/10.3390/hydrology10070141>
- 2 Antwi-Agyakwa K.T. Know to predict, forecast to warn: a review of flood risk prediction tools / K.T. Antwi-Agyakwa, M.K. Afenyo, D.B. Angnuureng // *Water*. — 2023. — Vol. 15, No 3. — P. 427. <https://doi.org/10.3390/w15030427>
- 3 Mosavi A. Flood prediction using machine learning models: Literature review / A. Mosavi, P. Ozturk, K. Chau // *Water*. — 2018. — Vol. 10, No 11. — P. 1536. <https://doi.org/10.3390/w10111536>
- 4 Plekhanov P.A. Natural hydrological risks and their prevention in Kazakhstan / P.A. Plekhanov // *Cent Asian J Water Res (CAJWR)*. — 2017. — Vol. 3, No 1. — P. 2084. <https://doi.org/10.15406/ijh.2019.03.00154>
- 5 Плеханов П.А. Гидрологические риски природного характера и их предупреждение в Казахстане / П.А. Плеханов // *Central Asian Journal of Water Research*. — 2017. — Т. 3, Вып. 1. — С. 1917.
- 6 Aitzhanova M. Environmental Risk Assessment of Spring Floods in the Akmola Region of Kazakhstan / M. Aitzhanova, S. Zhaparova // *International Journal of Sustainable Development & Planning*. — 2023. — Vol. 18, No 10. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.181033>

- 7 Алағуджаева М.А. Условия формирования наводнений на территории Центрального Казахстана / М.А. Алағудова и др. // Гидрометеорология и экология. — 2023. — № 4 (111). — С. 61–73. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2023-111-4-61-73>
- 8 Акпамбетова К.М. Геоморфологические и гидрологические условия изменения речных долин Центрального Казахстана в период половодий / К.М. Акпамбетова, Г.Б. Абиева, Г.М. Жангожина // Естественные и технические науки. — 2018. — № 5. — С. 126–128. <https://doi.org/10.25633/etn.2018.05.04>
- 9 Медеу Н.Н. Исследование наводнений и затоплений на реке Есиль у города Петропавловск / Н.Н. Медеу, А.Ф. Елтай // Гидрометеорология и экология. — 2024. — № 2 (113). — С. 16–24. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2024-113-2-16-24>
- 10 Турсунова А.А. Историческая справка о гидрологических характеристиках наводнений на реке Жайык / А.А. Турсунова // География и водные ресурсы. — 2024. — № 2. — С. 40–51. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-2-40-51.11>
- 11 Садвакасова С.Р. Анализ затопления территории Восточно-Казахстанской области / С.Р. Садвакасова, А.Ұ. Шыныбек, Т.С. Мусина // Гидрометеорология и экология. — 2022. — № 4 (107). — С. 36–44. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2022-107-4-36-44>
- 12 Алағуджаева М.А. Гидрологическое цифровое прогнозное моделирование зон затопления территории Северного Казахстана на основе высоко детальной цифровой модели рельефа / М.А. Алағуджаева и др. // Гидрометеорология и экология. — 2023. — № 4 (111). — С. 74–84. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2023-111-4-74-84>
- 13 Spivak L. Space monitoring of floods in Kazakhstan / L. Spivak et al. // Mathematics and Computers in Simulation. — 2004. — Vol. 67, No 4-5. — P. 365–370. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2004.06.018>
- 14 Arkhipkin O.P. Space monitoring of floods in Kazakhstan / O.P. Arkhipkin, L.F. Spivak, G.N. Sagatdinova // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. — IEEE, 2007. — P. 4582–4584. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2007.4423877>
- 15 Chettykbayev R.K. Analysis of computer modeling tools for assessing the risk of flooding in the East Kazakhstan region / R.K. Chettykbayev, N.F. Denisova // Digitalization and Industry 4.0: Economic and Societal Development: An International and Interdisciplinary Exchange of Views and Ideas. — 2020. — P. 283–290. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27110-7_20
- 16 Arkhipkin O.P. Development of Flood Space Monitoring in Kazakhstan / O.P. Arkhipkin, L.F. Spivak, G.N. Sagatdinova // Geoscience and Remote Sensing New Achievements. — 2010. — P. 419–436. <https://doi.org/10.5772/9113>
- 17 Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление: [В 21-м т.] // Т. V: Климат Казахстана — основа формирования водных ресурсов. — 2012.
- 18 Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. — Т. 1. — С. 1971–1988.

А.В. Павленко, А.Қ. Мансурова, А. Қызырқанов, Д.В. Черных

Шығыс Қазақстан облысындағы су тасқынының болжау деректерімен қамтамасыз етілуі және бақылау жүйесі

Мақала Шығыс Қазақстан облысындағы су объектілері туралы қолжетімді ақпаратты жинақтауға арналған. Бұл мәліметтер Қазақстан Республикасының Ұлттық гидрометеорологиялық қызметі мен Қазақстан Республикасының Төтенше жағдайлар министрлігінің ашық дерек көздерінен алынған. Жинақталған мәліметтер негізінде географиялық ақпараттық жүйеде (ГАЗ) кеңістіктік байланыстыру арқылы атрибуттік мәліметтер базасын құру және су тасқынын болжау модельдерін әзірлеу мен енгізуге бағытталған кейінгі зерттеулер негізін қалыптастыру көзделген. Қазақстанның әртүрлі аймақтарындағы және шетелдердегі су тасқынын болжау бойынша зерттеулерге шолу жүргізіліп, нәтижесінде мәліметтерді бағалау критерийлері мен гидрологиялық мониторинг жүйесі жасалды. Шығыс Қазақстанның негізгі су объектілерінің гидрологиялық режиміне сипаттама берілді. Гидрологиялық бекеттер желісі мен белгілі су басу аймақтарының кеңістіктік талдауы негізінде мемлекеттік бақылау жүйесінің кеңістіктік қамтуына баға беріліп, оны кеңейту бойынша ұсыныстар айқындалды. Жиналған мәліметтерді болжамдық модельдер жасау барысында қолдану мүмкіндігі туралы қорытындылар жасалды.

Кілт сөздер: су тасқыны, бақылау, ГАЗ, атрибуттік мәліметтер, Шығыс Қазақстан облысы, су объектілері, гидрологиялық бекет, су басу аймақтары, гидрология, болжам.

A.V. Pavlenko, A.K. Mansurova, A. Kyzyrkanov, D.V. Chernykh

Monitoring System and Data Availability for Flood Forecast in the East Kazakhstan Region

This article focuses on collecting available information about water bodies in the East Kazakhstan Region, sourced from open data provided by the National Hydrometeorological Service of the Republic of Kazakhstan and the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan. The goal is to create a spatially referenced attribute data base in a GIS framework and to lay the foundation for subsequent research aimed at developing and implementing flood forecasting models. A review of studies on flood forecasting in various regions of Kazakhstan and other countries was conducted, resulting in the formation of criteria for evaluating data and hydrological monitoring systems. The article also provides a characterization of the hydrological regime of key representative water bodies in East Kazakhstan. Based on spatial analysis of the hydrological station network and known flood zones, an assessment of the spatial coverage of the state observation system was made, and recommendations for its expansion were developed. Conclusions were drawn regarding the applicability of the collected data in creating predictive models.

Keywords: floods, monitoring, GIS, attribute data, East Kazakhstan Region, water bodies, hydrological station, flood zones, hydrology, forecasting.

References

- 1 Kumar, V., Sharma, K.V., Caloier, T., Mehta, D.J., & Singh, K. (2023). Comprehensive Overview of Flood Modeling Approaches: A Review of Recent Advances. *Hydrology*, 10(7), 141. <https://doi.org/10.3390/hydrology10070141>
- 2 Antwi-Agyakwa, K.T., Afenyo, M.K., & Angnuureng, D.B. (2023). Know to Predict, Forecast to Warn: A Review of Flood Risk Prediction Tools. *Water*, 15(3), 427. <https://doi.org/10.3390/w15030427>
- 3 Mosavi, A., Ozturk, P., & Chau, K. (2018). Flood Prediction Using Machine Learning Models: Literature Review. *Water*, 10(11), 1536. <https://doi.org/10.3390/w10111536>
- 4 Plekhanov, P.A., & Medeu, N.N. (2019). Hydrological risks and their prevention in Kazakhstan. *Cent Asian J Water Res (CAJWR)*, 3(1), 2084. <https://doi.org/10.15406/ijh.2019.03.00154>
- 5 Plehanov, P.A. (2017). Gidrologicheskie riski prirodnogo kharaktera i ikh preduprezhdenie v Kazakhstane [Hydrological risks of natural character and their prevention in Kazakhstan]. *Central Asian Journal of Water Research*, 3(1), 1917 [in Russian].
- 6 Aitzhanova, M., & Zhaparova, S. (2023). Environmental Risk Assessment of Spring Floods in the Akmola Region of Kazakhstan. *International Journal of Sustainable Development & Planning*, 18(10). <https://doi.org/10.18280/ijstdp.181033>
- 7 Alagudzhaeva, M.A., Sadvakasova, S.R., Elbasieva, B.B., & Aimbetov, A.A. (2023). Usloviia formirovaniia navodnenii na territorii Tsentralnogo Kazakhstana [Conditions of flood formation on the territory of central Kazakhstan]. *Gidrometeorologiya i ekologiya — Hydrometeorology and Ecology*, 4 (111), 61–73. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2023-111-4-61-73> [in Russian].
- 8 Akpambetova, K.M., Abieva, G.B., & Zhangozhina, G.M. (2018). Geomorfologicheskie i gidrologicheskie usloviia izmeneniia rechnykh dolin Tsentralnogo Kazakhstana v period polovodii [Geomorphologic and hydrologic conditions of changes in river valleys of central Kazakhstan during floods]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki — Natural and Technical Science*, 5, 126–128. <https://doi.org/10.25633/etn.2018.05.04> [in Russian].
- 9 Medeu, N., & Eltai, A.G. (2024). Issledovanie navodnenii i zatopenii na reke Esil u goroda Petropavlovsk [Study of floods and inundations on the Esil River near the city of Petropavlovsk]. *Gidrometeorologiya i ekologiya — Hydrometeorology and ecology*, 2(113), 16–24. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2024-113-2-16-24> [in Russian].
- 10 Tursunova, A.A. (2024). Istoricheskaia spravka o gidrologicheskikh kharakteristikakh navodnenii na reke Zhaik [Historical background on the hydrological characteristics of floods on the Zhaiyk River]. *Geografiia i vodnye resursy — geography and water resources*, 2, 40–51. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-2-40-51.11> [in Russian].
- 11 Sadvakasova, S., Shynybek, A., & Musina, T. (2023). Analiz zatopeniia territorii Vostochno-Kazakhstanskoi oblasti [Analysis of flooding in the territory of East Kazakhstan region]. *Gidrometeorologiya i ekologiya — Hydrometeorology and ecology*, 4(107); 36–44. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2022-107-4-36-44> [in Russian].
- 12 Ragimovna, S. (2023). Gidrologicheskoe tsifrovoe prognoznoe modelirovanie zon zatopeniia territorii Severnogo Kazakhstana na osnove vysokodetalnoi tsifrovoi modeli relefa [Hydrological digital forecast modeling of flooding zones in northern Kazakhstan on the basis of highly detailed digital elevation model]. *Gidrometeorologiya i ekologiya — Hydrometeorology and ecology*, 4(111), 74–84. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2023-111-4-74-84> [in Russian].
- 13 Spivak, L., Arkhipkin, O., Pankratov, V., Vitkovskaya, I., & Sagatdinova, G. (2004). Space monitoring of floods in Kazakhstan. *Mathematics and Computers in Simulation*, 67(4-5), 365–370. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2004.06.018>
- 14 Arkhipkin, O.P., Spivak, L.F., & Sagatdinova, G. N. (2007). Space monitoring of floods in Kazakhstan. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4582–4584. Barcelona, Spain. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2007.4423877>

15 Chettykbayev, R.K., & Denisova, N.F. (2020). Analysis of computer modeling tools for assessing the risk of flooding in the East Kazakhstan region. *Digitalization and Industry 4.0: Economic and Societal Development: An International and Interdisciplinary Exchange of Views and Ideas*, 283–290. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27110-7_20

16 Arkhipkin, O., Spivak, L., & Sagatdinova, G. (2010). Development of Flood Space Monitoring in Kazakhstan. *Geoscience and Remote Sensing. New Achievements*, 419–436. <https://doi.org/10.5772/91113>

17 (2012). *Vodnye resursy Kazakhstana: Otzenka, prognoz, upravlenie: [V 21 tome]. T. V: Klimat Kazakhstana — osnova formirovaniia vodnykh resursov [Water Resources of Kazakhstan: Assessment, Forecasting, Management: in 21 Volumes. Vol. V: Climate of Kazakhstan — Basis of Water Resources Formation]* [in Russian].

18 *Gosudarstvennyi vodnyi kadastr. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushy, 1, 1971–1988 [State water cadastre. Annual data on terrestrial surface water regime and resources, 1, 1971–1988]* [in Russian].

Information about the authors

Pavlenko Anatoliy Vladimirovich — PhD-student, Department of Ecology and Geography, Higher School of IT and Natural Sciences, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: ellezard@mail.ru;

Mansurova Aiganym Kanatkyzy — Junior researcher, Big Data and Blockchain Technologies, Astana IT University, Astana, Kazakhstan; e-mail: mansurova.aiganum@gmail.com;

Kyzyrkanov Abzal — PhD, Department of Computer Engineering, Astana IT University, Astana, Kazakhstan; e-mail: abzzall@gmail.com;

Chernykh Dmitry Vladimirovich — Doctor of geographical sciences, Chief researcher of Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Professor of Altai State University, Barnaul, Russia; e-mail: chernykhd@mail.ru.