



УДК 556.166(171.1)+528.94:004.4

<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.36.45>

Геоинформационно-картографический анализ разновременных мониторинговых данных затопления и подтопления территорий

Н. Ю. Курепина, И. Д. Рыбкина

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

Аннотация. С использованием ландшафтно-бассейнового подхода, с помощью геоинформационно-картографического метода проанализированы разновременные мониторинговые данные по затоплению и подтоплению территорий бассейна Верхней Оби в границах пяти регионов (Республики Алтай, Алтайского края, Кемеровской, Новосибирской и Томской областей) за 25-летний период. Изучена пространственно-временная изменчивость рядов данных, и выделены наиболее паводкоопасные речные бассейны и физико-географические области. Проведен сравнительный анализ двух периодов (1993–2002 и 2004–2018 гг.), определены тенденции к возникновению чрезвычайных ситуаций, полученные результаты представлены в картографическом формате. Установленные общие закономерности характера проявления стихийных бедствий могут быть использованы при идентификации причин происходящих процессов, что в дальнейшем позволит осуществить прогноз чрезвычайных ситуаций и минимизировать вероятностный ущерб населению и экономике.

Ключевые слова: бассейн Верхней Оби, затопления и подтопления, геоинформационно-картографический метод, ландшафтно-бассейновый подход.

Для цитирования: Курепина Н. Ю., Рыбкина И. Д. Геоинформационно-картографический анализ разновременных мониторинговых данных затопления и подтопления территорий // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2021. Т. 36. С. 45–62. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.36.45>

Введение

Территория бассейна Верхней Оби, находящаяся в зоне деятельности Верхне-Обского БВУ, расположена в административных границах Республики Алтай, Алтайского края, Кемеровской, Новосибирской и Томской областей. Общая площадь водосборного бассейна составляет 852,3 тыс. км². Несмотря на то что негативное воздействие природных вод для населения и экономики прежде всего связано с половодьями и паводками, повышением уровня грунтовых вод, маловодьями, опасными русловыми процессами, а также с абразией и переработкой берегов водохранилищ [Зиновьев, Голубева, Кошелев, 2012], по масштабам распространения лидируют чрезвычайные ситуации (ЧС), которые сопряжены с зонами затопления и подтопления указанных территорий [Опасные гидрологические явления ... , 2018; Шибких, 2008].

Затопление – покрытие территории водой в период половодья или паводков или вследствие устройства водоподъемного сооружения (плотины) в русле и долине реки [Чеботарев, 1978]. Подтопление – повышение уровня грунтовых вод, как правило, вызванное созданием гидротехнического сооружения и подпором поверхностных вод [Реймерс, 1990]. В соответствии с районированием территории России по условиям формирования паводков [Вильдяев, Логунов, 2008], Верхнеобский бассейн характеризуется максимальным речным стоком, обусловленным преимущественно таянием горных снегов и ледников. Как показывает практика, наибольшие катастрофические паводки регистрируются в случаях наложения снеговых или ледниковых и ливневых подъемов речных вод (именно так и случилось в мае-июне 2014 г. и в марте 2018 г.).

Согласно Национальному атласу России [2007, с. 196–197], в зависимости от генезиса опасных наводнений и паводков на территории Верхней Оби отмечаются снеговые районы (западная, восточная и северная части), дождевой (южная часть), смешанный (юго-восточная часть) и заторный (центральная часть) районы. Юг бассейна с максимальным превышением уровней начала затопления 1,5–2,0 м соответствует категории «опасный район»; восточная часть (юг Томской области), где максимальное превышение составляет 2,0–3,3 м, признана весьма опасной; остальная часть бассейна с максимальным превышением 0,8–1,5 м является умеренно опасной.

Анализ литературных источников последних десятилетий показывает, что в целях изучения и оценки процессов затопления и подтопления разными авторами применяются различные методические подходы и принципы: административно-территориальный [Земцов, Крыленко, Юмина, 2012; Падалко, 2017]; бассейновый [Корытный, 2006; Голубева, Курепина, 2011; Бешенцев, Борисова, 2013]; вероятностно-площадной [Борисова, 2016; Sources of uncertainty ... , 2018]; географо-гидрологический [К оценке опасности гидрологических ... , 2012; Сивохиц, Падалко, 2014; Ландшафтно-гидрологический подход ... , 2016; Prasad, Pani, 2017]; геоинформационно-картографический [Chen, Hill, Urbano, 2009; Курбатова, Горбачев, 2010; Визуализация гидрологической обстановки ... , 2013; Лисицкий, Тай, 2014; A GIS and remote sensing ... , 2014; Ловцкая, Кошелев, Балдаков, 2015; Геоинформационный анализ последствий..., 2015; Зиновьев, Кошелев, Марусин, 2018; Шаликовский, Соколов, 2018; Шихов, Абдулин, 2019]; математико-статистический [Rets, Kireeva, 2010; Тимофеева, Эглит, Морозова, 2011; Шаликовский, Курганович, 2012; Understanding flood regime ... , 2014; Flood pattern changes ... , 2015], – либо их совместное использование [Шишкин, 2014; Human influence on climate ... , 2016; Dang, Kumar, 2017; Changing climate shifts ... , 2017].

Представленное многообразие методических подходов дает возможность поиска и выбора оптимального из них для качественного выполнения научно-исследовательской работы по изучению пространственной локализации ЧС и временной динамики негативных гидрологических процессов на территории Верхней Оби. В нашем случае, исходя из наличия первоначальных

данных, целесообразно использовать геоинформационно-картографический метод исследования, позволяющий создавать карты и автоматизированно определять количественные характеристики площадей бассейнов рек, неблагоприятных по ЧС от затоплений и подтоплений, анализировать и визуализировать динамику их изменений.

Цель настоящей работы – проанализировать разновременные мониторинговые данные по затоплению и подтоплению территорий в бассейне Верхней Оби за 25-летний период на ландшафтно-бассейновой основе с применением геоинформационно-картографического метода. В соответствии с целью были решены следующие задачи:

1) в среде ГИС создан проект, объединяющий информацию по бассейновой и ландшафтной структурам Верхней Оби в границах пяти регионов (Республики Алтай, Алтайского края, Кемеровской, Новосибирской и Томской областей), к которым привязаны статистические сведения по зонам затопления и подтопления;

2) изучена пространственно-временная изменчивость рядов данных, выделены наиболее паводкоопасные речные бассейны и физико-географические области;

3) проведен сравнительный анализ двух периодов (1993–2002 и 2004–2018 гг.), определены тенденции к возникновению ЧС, полученные результаты представлены в картографическом формате.

Логическим завершением работы стало установление общих закономерностей характера проявления ЧС, связанных с затоплением и подтоплением территорий в бассейне Верхней Оби за 1993–2018 гг., которые могут быть использованы при идентификации причин происходящих процессов, что в дальнейшем позволит осуществить прогноз ЧС и минимизировать вероятностный ущерб населению и экономике.

Методы и материалы

В данном исследовании используется ландшафтно-бассейновый подход как методическая основа сравнительного анализа. Любой бассейн имеет поверхностный и подземный водосборы [Чеботарев, 1978], а одним из факторов величины стока является подстилающая поверхность, которая учитывается при определении ландшафтных особенностей территории. Кроме этого, анализ физико-географических условий водосбора построен на учете зональных гидротермических факторов формирования стока и их пространственно-временного распределения, определяющего внутригодовую изменчивость стока. Как известно, максимальная изменчивость стоковых характеристик наблюдается в пределах крупных речных бассейнов со сложным геолого-геоморфологическим строением водосборных территорий и охватывающих различные природные зоны [Сивохиц, Падалко, 2014]. И наоборот, речные бассейны, водосборы которых расположены в пределах одной природной зоны и геоморфологической единицы, как правило, имеют более однородную ландшафтную структуру, которая в свою очередь определяет равномерность показателей гидрологического и гидрохимического стока.

В качестве ландшафтной структуры бассейна Верхней Оби нами принята за основу совокупность иерархических единиц физико-географического районирования (в границах РФ), предложенная в ИВЭП СО РАН [Общая характеристика бассейна..., 2012]. Сочетание зональных и азональных факторов, определяющих региональную дифференциацию условий формирования стока, затрагивает как климатические и орографически обусловленные параметры приходной части водного баланса, так и параметры расходной составляющей водооборота территории, например в части испарения (за счет теплообеспеченности) и перераспределения величины стока между поверхностным и подземным водосбором. Особенно это заметно на уровне зональных областей, которые выделяются в пределах равнинной территории бассейна.

Бассейновая структура согласуется с принятым водохозяйственным районированием РФ (согласно Приказу МПР РФ от 25.04.2007 № 111), методика обоснования которого устанавливает основные принципы и критерии деления гидрографических единиц на водохозяйственные участки (площадь водосбора, объем водохранилищ, количество населенных пунктов и др.). Речной бассейн рассматривается нами, вслед за Ф. Н. Мильковым [1981], как парадинамическая система, в которой в результате активного обмена веществом и энергией в сложном взаимодействии находятся региональные природные комплексы; автором подчеркивается высокая упорядоченность бассейновой системы, достигаемая в результате направленного движения твердого и жидкого стока. Для целей выполняемого исследования существующее водохозяйственное районирование детализировано нами в части усложнения бассейновой структуры и выделения участков, имеющих длиннорядные гидрологические посты и периоды наблюдений (табл. 1).

Таблица 1

Бассейновая структура Верхней Оби (фрагмент)

Номер бассейна	Речные бассейны и водные объекты	Номер водохозяйственного участка	Название водохозяйственного участка	Площадь, тыс. км ²
1	Бассейн р. Чулышман (исток – устье)	13.01.01.001	Бассейн оз. Телецкое	17,0
2	Бассейн оз. Телецкое (без бассейна р. Чулышман)			3,3
3	Бассейн р. Бия (исток – устье)	13.01.01.002	Бия	17,1
4	Бассейн р. Катунь (исток – устье)	13.01.01.003	Катунь	60,9
5	Бассейн р. Песчаная (исток – устье)	13.01.02.003	Обь от слияния рек Бия и Катунь до г. Барнаула без р. Алей	5,8
6	Бассейн р. Ануй (исток – устье)			7,4
7	Бассейн р. Чарыш (исток – устье)			22,7

Геоинформационно-картографический метод исследования применяется нами для выполнения анализа и оценки пространственно-временных изменений зон затопления и подтопления в бассейне Верхней Оби в среде ГИС. Для этих целей используется программный продукт ArcGIS корпорации ESRI (США), в качестве картографической основы взята цифровая карта-основа мира масштаба 1:1 000 000 DCW (Digital Chart of the World), созданная этой же корпорацией, а также разномасштабные топографические карты (из фонда ИВЭП СО РАН).

Результаты

Для выполнения исследовательской работы, предусматривающей вычисление площадей паводкоопасных водосборных бассейнов, разработан ГИС-проект с использованием проекции Гаусса – Крюгера и системы координат Pulkovo 1995 GK Zone 14N (рис. 1). Перечень векторных слоев, составляющих ГИС-проект, представлен в табл. 2.

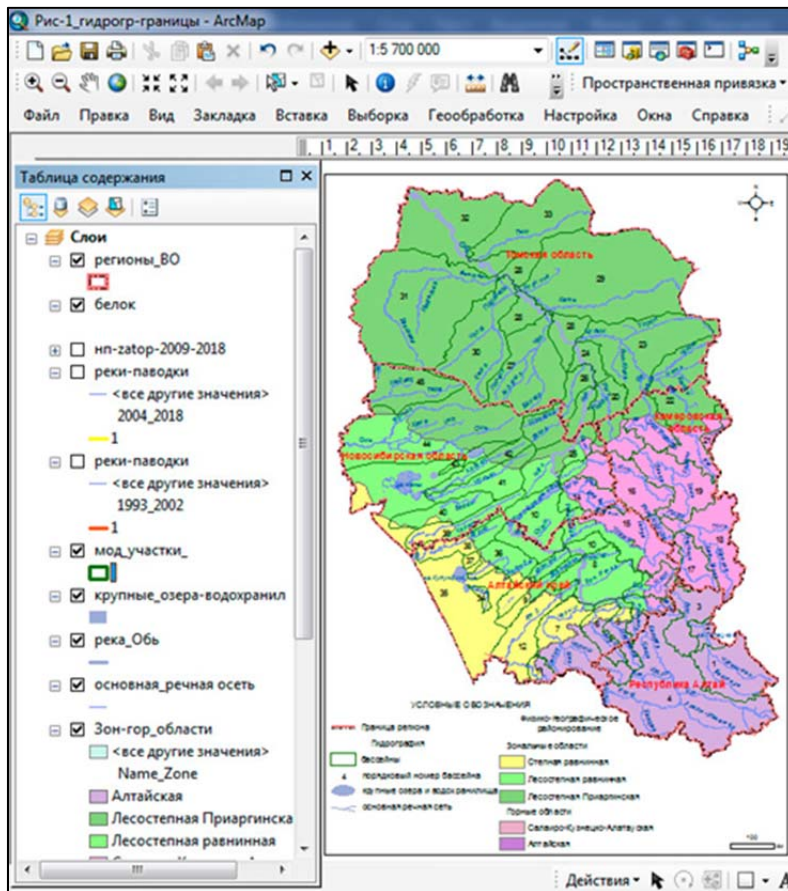


Рис. 1. Сформированный ГИС-проект

Таблица 2

Перечень исходных векторных слоев ГИС

№ п/п	Название	Тип покрытия*
Общегеографические		
1	Водоемы	S
2	Основные реки и их притоки	L
3	Населенные пункты	P
4	Границы регионов	S
Тематические		
5	Бассейны рек и озер	S
6	Наиболее паводкоопасные реки	L
7	Населенные пункты, подвергшиеся затоплению и подтоплению	P
8	Физико-географические районы	S
S – площадной, L – линейный, P – точечный		

При обработке и анализе разновременных данных привлечена статистическая информация, предоставленная Верхне-Обским бассейновым водным управлением за период 1993–2002 гг.¹ и региональными управлениями МЧС за 2004–2018 гг.

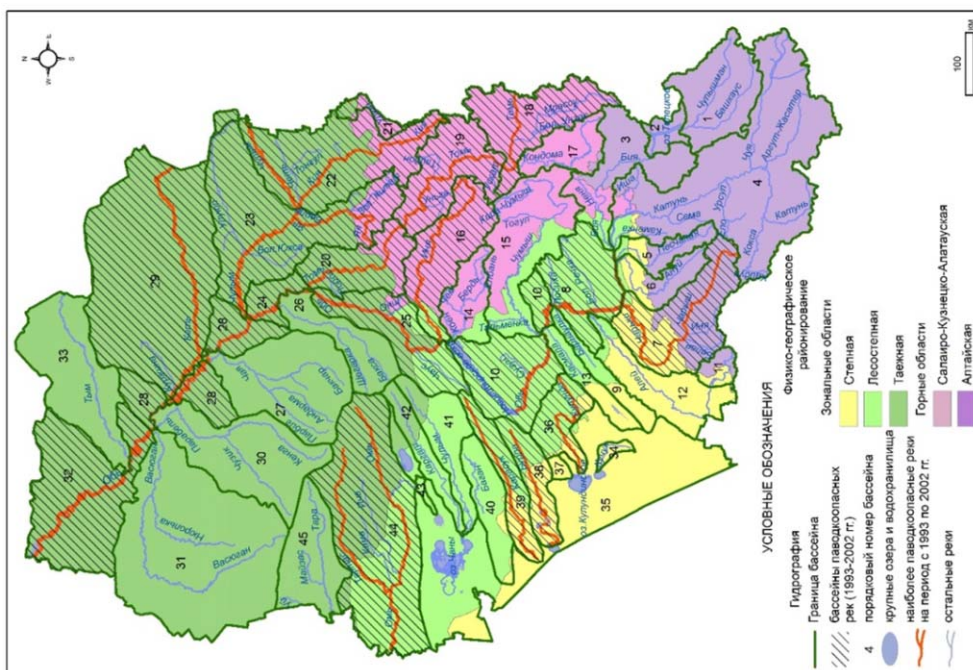
По имеющейся статистической информации за период наблюдений с 1993 по 2002 г., наиболее паводкоопасными признаны реки Обь, Чулым, Кеть, Томь, Омь и их притоки – Инья, Кия, Яя, Чарыш, Тартас, а также реки Обь-Иртышского междуречья – Карасук, Бурла, Кулунда (рис. 2, а). Всего определено 126 участков, на которых возможно затопление и подтопление населенных пунктов и объектов хозяйственного назначения. Существенными по негативному воздействию речных вод стали паводки 1993, 1997, 1999 и 2001 гг. Так, в паводок 2001 г. было затоплено 1758 жилых домов в 33 населенных пунктах².

В период с 2004 по 2018 г. к наиболее паводкоопасным рекам отнесены Алей, Бакчар, Инья, Иша, Каменка, Катунь, Кия, Кондома, Обь, Парбиг, Томь, Чарыш, Чая, Чулым, Чумыш (рис. 2, б). Отмечены годы с наибольшим количеством затопленных и подтопленных населенных пунктов: в бассейне р. Катунь в 2014 г. ЧС наблюдались в 92 населенных пунктах, в 2018 г. – в 27; в бассейне р. Чарыш в 2018 г. – в 57 населенных пунктах, в 2014 г. – в 36; в бассейне р. Бия в 2014 г. – в 41 населенном пункте, в 2018 г. – в 18; в бассейне р. Томь в 2015 г. – в 24 и в 2006 г. – в 12 населенных пунктах.

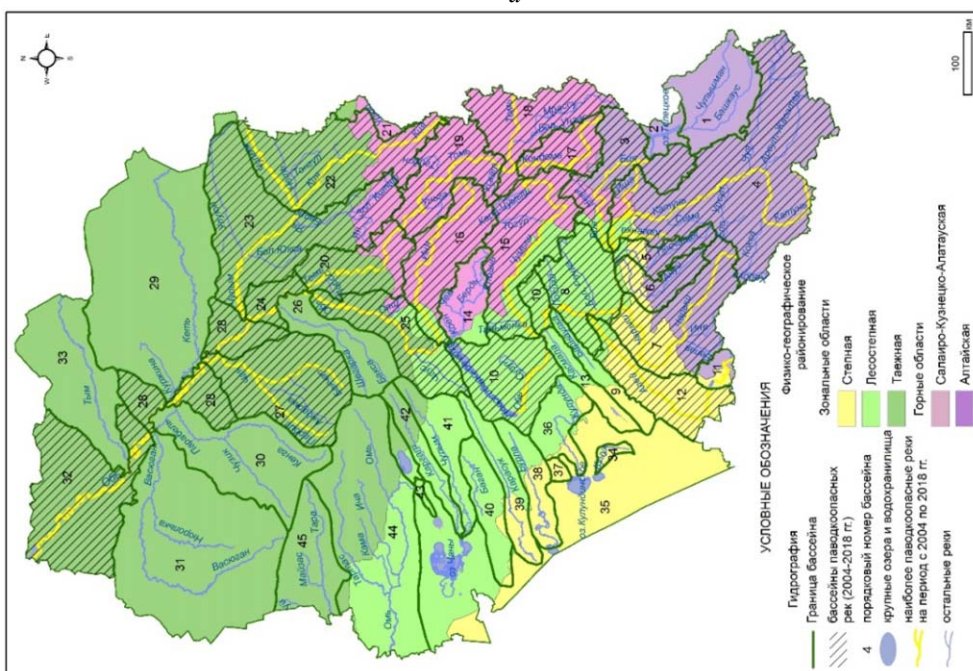
Ежегодно фиксировались ЧС в шести населенных пунктах Республики Алтай (на территории Чойского района) – в бассейнах рек Бия (в селах Красносельск и Бнырга) и Катунь (в селах Гусевка, Паспаул, Советский и Чоя).

¹ Концепция государственной программы по использованию, восстановлению и охране водных объектов бассейна Верхней Оби (2002–2010 годы). Барнаул, 2002. 24 с.

² Там же.



а



б

Рис. 2. Наиболее паводкоопасные бассейны рек по периодам: а) с 1993 по 2002 г.; б) с 2004 по 2018 г.

На карте порядковый номер бассейна: 1 – бассейн р. Чулышман (исток – устье), площадь 17,0 тыс. км²; 2 – бассейн оз. Телецкое (без бассейна р. Чулышман), 3,3; 3 – бассейн р. Бия (исток – устье), 17,1; 4 – бассейн р. Катунь (исток – устье), 60,9; 5 – бассейн р. Песчаная (исток – устье), 5,8; 6 – бассейн р. Ануй (исток – устье), 7,4; 7 – бассейн р. Чарыш (исток – устье), 22,7; 8 – бассейн верховьев р. Алей (российская часть бассейна) до Гилевского г/у, 2,9; 9 – бассейн р. Алей от Гилевского г/у до устья, 15,0; 10 – бассейн р. Барнаулка (исток – устье), 5,5; 11 – участок р. Обь (Барнаул) и бассейны рек Лосиха – Бобровка – Петровка – Большая Речка, Чемровка – Калманка и других притоков, 15,9; 12 – бассейн р. Касмала (исток – устье), 5,9; 13 – бассейн р. Чумыш (исток – устье), 24,0; 14 – участок р. Обь (Новосибирский г/у) и бассейны рек Ирмень – Сузун – Каракан – Мильтюш – Новосибирское вдхр. и др., 21,3; 15 – бассейн р. Бердь (исток – устье), 8,6; 16 – бассейн р. Иня (исток – устье), 18,0; 17 – участок р. Обь (Молчаново) с бассейнами рек Тула – Чик – Вьюна – Порос – Таган и др., 17,1; 18 – бассейн р. Кондома (исток – устье), 8,3; 19 – бассейн р. Томь от истока до г. Новокузнецка без р. Кондома, 22,2; 20 – бассейн р. Томь от г. Новокузнецка до г. Кемерово, 17,3; 21 – бассейн р. Томь от г. Кемерово до устья, 13,7; 22 – бассейн р. Чулым от истока до г. Ачинска, 36,7; 23 – бассейн р. Чулым от г. Ачинска до в/п с. Зырянское, 60,7; 24 – бассейн р. Чулым от в/п с. Зырянское до устья, 39,3; 25 – участок р. Обь (Молчаново до впадения р. Чулым) с бассейнами рек Чангара – Конная и др., 4,5; 26 – бассейн р. Шегарка (исток – устье), 12,3; 27 – участок р. Обь (Колпашево до впадения р. Кеть; Каргосок до впадения р. Васюган) с бассейнами рек Б. Тагош – Корта – Сандровка – Шуделька – Чунджелка, 16,8; 28 – бассейн р. Чая (исток – устье), 27,0; 29 – бассейн р. Кеть (исток – устье), 95,0; 30 – бассейн р. Парабель (исток – устье), 26,5; 31 – бассейн р. Васюган (исток – устье), 60,6; 32 – участок Оби (Александровское) с бассейнами рек Можа – Пыжина (Каилка) – Кульеган – Лымжа – Трайгорская, 35,4; 33 – бассейн р. Тым (исток – устье), 33,0; 34 – бассейн р. Кучук (исток – устье) без оз. Кучукское, 1,3; 35 – бессточная область бассейна озер Кучукское, Кулундинское, Топольное, Чаны, 59,3; 36 – бассейн р. Кулунда (исток – устье) без оз. Кулундинское, 8,6; 37 – бассейн р. Суетка (исток – устье), 1,0; 38 – бассейн р. Бурла (исток – устье), 8,7; 39 – бассейн р. Карасук (исток – устье), 9,5; 40 – бассейн р. Баган (исток – устье), 9,6; 41 – бассейн р. Чулым, 11,1; 42 – бассейн р. Каргат (исток – устье), 6,9; 43 – бассейн р. Карапуз с магистральным каналом, 0,7; 44 – фрагмент бассейна р. Омь, 48,0; 45 – фрагменты бассейнов рек Уй и Тара, площадь 15,5 тыс. км²

За 15-летний срок девять раз регистрировались ЧС в Кемеровской области – в бассейне р. Томь (в городах Кемерово и Новокузнецке) и на ее притоке р. Кондома (в г. Осинники).

В соответствии с физико-географическим районированием [Общая характеристика бассейна ... , 2012] на территории бассейна Верхней Оби наибольшая площадь принадлежит таежной зональной области; наименьшую занимает степная зональная область.

Площадной анализ пространственно-временной изменчивости ЧС с привязкой к ландшафтной структуре территории исследования показал следующее. За период с 1993 по 2002 г. наибольшую площадь, подверженную половодьями и паводкам, имели Салаиро-Кузнецко-Алатауская горная область, лесостепная и таежная зональные области (табл. 3).

Таблица 3

Площадные характеристики наиболее паводкоопасных речных бассейнов
Верхней Оби в границах физико-географических областей

Физико-географические области	Площадь, тыс. км ²	Площадь наиболее паводкоопасных бассейнов			
		1993–2002 гг.		2004–2018 гг.	
		тыс. км ²	%	тыс. км ²	%
Степная зональная	82,8	19,3	23,3	25,5	30,8
Лесостепная зональная	150,5	84,6	56,2	60,0	39,9
Таяжная зональная	394,9	220,9	55,9	157,4	39,9
Алтайская горная	115,3	14,1	12,2	93,4	80,7
Салаиро-Кузнецко-Алатауская горная	108,7	73,2	67,3	99,7	91,7

В 2004–2018 гг. негативное воздействие природных вод также отмечалось в Салаиро-Кузнецко-Алатауской горной области, но при этом площадь затопления и подтопления увеличилась на 24,4 %. Заметное сокращение территорий, где регистрировались ЧС, происходит в лесостепной зональной области – на 16,2 %. Вместе с тем значительный площадной скачок в проявлении ЧС паводкоопасного характера отмечен на территории Алтайской горной области – в 6,6 раза.

Здесь следует заметить, что согласно Национальному атласу России [2007, с. 192–193] слой полного речного стока с учетом поверхностной и подземной составляющих в Алтайской горной области колеблется от 200–300 в северо-западной части до 500 мм в центральной и южной частях, на остальной территории составляет 300–400 мм. В то же время для Салаиро-Кузнецко-Алатауской горной области показатели слоя стока постепенно снижаются с востока на запад от 800–1000 до 150 мм. В степной и лесостепной зональных областях общий сток имеет значения от 5 мм и менее в бессточной области Обь-Иртышского междуречья до 150 мм на востоке и западе. Для таяжной зональной области характерно преимущественное по всей территории значение слоя речного стока от 100 до 200 мм, и лишь в ее юго-западной части показатель снижается до 20–50 мм.

Принимая во внимание эти данные [Там же] и полученные результаты сравнительного анализа, следует отметить, что при невысоких средних значениях стока в степной зональной области отмечается существенное увеличение площади территорий, подверженных ЧС; в то время как в лесостепной зональной области наблюдается и вовсе сокращение таких площадей. Установленное возрастание площади паводкоопасных речных бассейнов горных областей соответствует более высоким значениям слоя стока по сравнению с равнинными зональными областями. В связи с этим большая часть паводкоопасных речных бассейнов расположены либо в горной местности, либо на стыке гор и равнины (рис. 3).

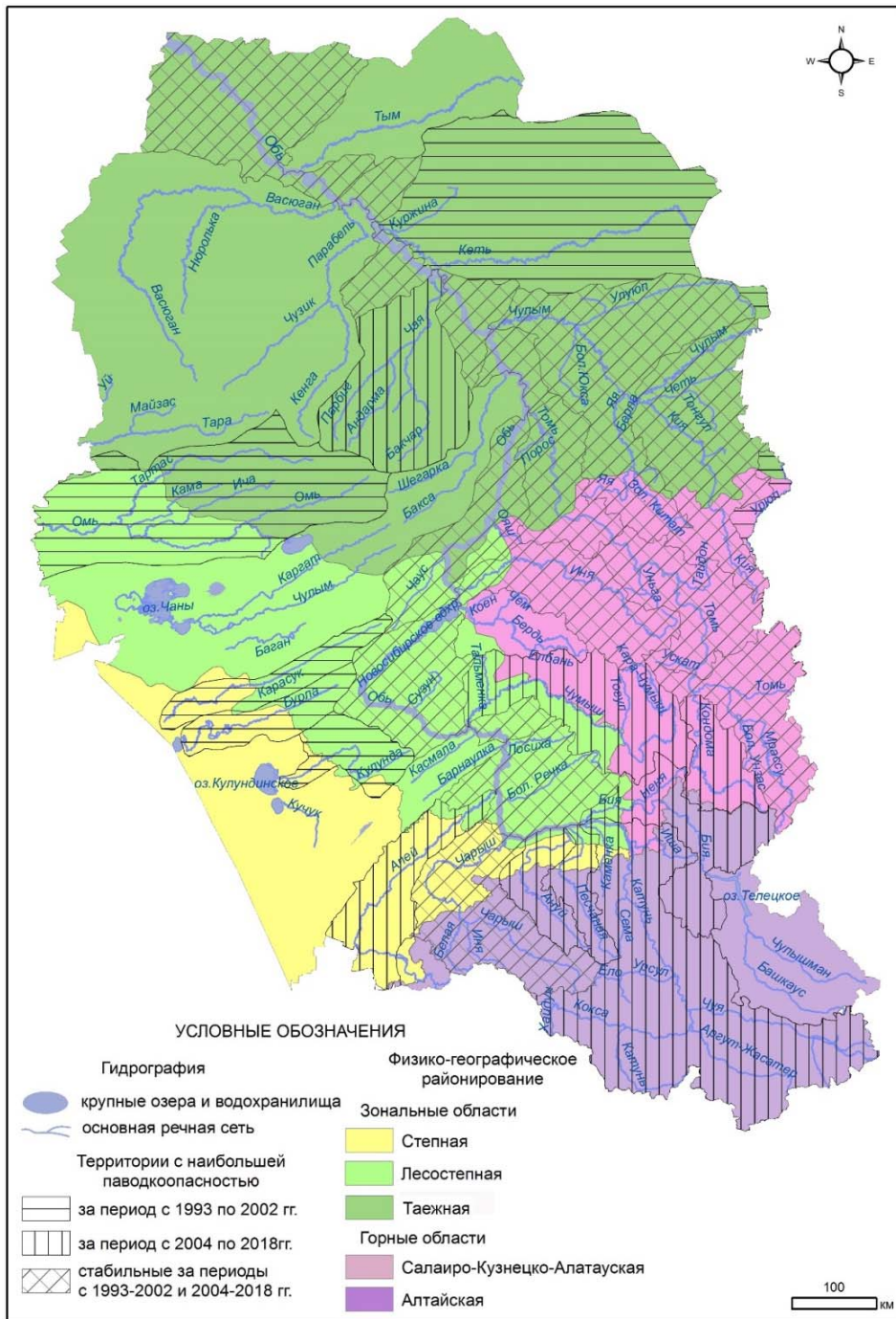


Рис. 3. Наиболее паводкоопасные территории за периоды 1993–2002 и 2004–2018 гг.

Заключение

В бассейне Верхней Оби ежегодно регистрируются ЧС, связанные с затоплением и подтоплением территорий. Несмотря на то что Обь является типично равнинной рекой, водный режим ее основных притоков (рек Бия, Катунь, Ануй, Чарыш, Песчаная) формируется в горных условиях и потому характеризуется пространственной неоднородностью, что существенно осложняет прохождение половодий и паводков на указанных реках.

Наиболее паводкоопасными, по имеющейся статистической информации, признаны реки Катунь, Чарыш и Бия. Проведенный геоинформационно-картографический анализ разновременных данных подтверждает эти сведения и также показывает наличие тенденции к увеличению за рассматриваемые периоды (1993–2002, 2004–2018 гг.) площади зон затопления и подтопления в границах степной зональной области (на 7,5 %), Салаиро-Кузнецко-Алатауской горной области (на 24,4 %) и особенно в пределах Алтайской горной области (в 6,6 раза).

Предлагаемое (более дробное) водохозяйственное деление бассейна Верхней Оби (по сравнению с существующим районированием) позволяет в дальнейшем использовать длиннорядовую наблюдаемую гидрологическую информацию в целях оценки и прогноза ЧС опасных природных явлений.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН, проект НИР № 0306-2021-0002.

Список литературы

Бешенцев А. Н., Борисова Т. А. Картографическая оценка природного риска от наводнений в бассейне оз. Байкал // Геодезия и картография. 2013. № 7. С. 26–30.

Борисова Т.А. Картографирование природных рисков от наводнений на реках бассейна озера Байкал // Успехи современного естествознания. 2016. № 4. С. 121–125.

Визуализация гидрологической обстановки в бассейнах крупных рек средствами ГИС-технологий / С. В. Борщ, Т. Е. Самсонов, Ю. А. Симонов, Е. А. Львовская // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2013. № 349. С. 47–62.

Вильдяев В. М., Логунов О. Ю. Проблемы управления паводками на территории России // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2008. № 3(99). С. 18–26.

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

Голубева А. Б., Курепина Н. Ю. Опыт оценки и картографирования опасности наводнений для территорий различных иерархических уровней (на примере Обь-Иртышского бассейна) // Ползуновский вестник. 2011. № 4-2. С. 34–37.

Земцов С. П., Крыленко И. Н., Юмина Н. М. Социально-экономическая оценка риска наводнений в прибрежных зонах Азово-Черноморского побережья Краснодарского края // Природные и социальные риски в береговой зоне Черного и Азовского морей : сб. науч. ст. конф. Москва, 16–19 июня 2012 г. М. : Триумф, 2012. С. 86–96.

Зиновьев А. Т., Голубева А. Б., Кошелев К. Б. Оценка опасных и неблагоприятных гидрологических ситуаций (негативного воздействия вод), рисков возникновения чрезвычайных ситуаций // Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша : монография / под ред.

Ю. И. Винокурова, А. В. Пузанова, Д. М. Безматерных. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2012. С. 26–30.

Зиновьев А. Т., Кошелев К. Б., Марусин К. В. Использование компьютерного моделирования и ГИС-технологий для научного обоснования инженерных решений по предотвращению затопления пойм рек // Водные ресурсы России: современное состояние и управление : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. Сочи, 8–14 окт. 2018 г. Новочеркасск : Лик, 2018. С. 98–105.

К оценке опасности гидрологических ситуаций на территории Российской Федерации / Е. А. Барабанова, А. Ф. Бумакова, И. С. Зайцева, Н. И. Коронкевич // Вопросы географии. М. : Кодекс, 2012. Сб. 133 : Географо-гидрологические исследования / отв. ред. Н. И. Коронкевич, Е. А. Барабанова. С. 383–393.

Корытный Л. М. Гидрологические опасности Сибири: классификация, распространенность, взаимообусловленность // Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда. Москва, 28 сент. – 1 окт. 2004 г. М. : Метеоагентство Росгидромета, 2006. С. 21–25.

Курбатова И. Е., Горбачев Д. В. Опыт использования анимационного картографирования для изучения катастрофических наводнений // Гео-Сибирь. 2010. Т. 1, № 3. С. 107–111.

Ландшафтно-гидрологический подход к обоснованию мониторинга речных бассейнов горных территорий / П. А. Кипкеева, Я. В. Волосухин, Т. В. Иванкова, Ю. Я. Потапенко // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 12-1 (54). С. 87–90. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.54.194>.

Лисицкий Д. В., Тай Н. А. Геоинформационный анализ возможных затоплений территории города Хошимина // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2014. Т. 7. С. 11–17.

Ловцкая О. В., Кошелев К. Б., Балдаков Н. А. Web-ГИС для визуализации результатов моделирования опасных гидрологических ситуаций // Известия АО РГО. 2015. № 4 (39). С. 49–52.

Мильков Ф. Н. Физическая география: современное состояние, закономерности, проблемы. Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1981. 400 с.

Национальный атлас России. Т. 2. Природа. Экология. 2007. URL: <https://национальныйатлас.рф/cd2/192-193/192-193.html> (дата обращения: 25.10.2020).

Общая характеристика бассейна // Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша (коллективная монография) / Ю. И. Винокуров, Ю. М. Цимбалей, Г. С. Зинченко, Н. В. Стоящева : под ред. Ю. И. Винокуров, А. В. Пузанов, Д. М. Безматерных. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2012. С. 9–11.

Опасные гидрологические явления в бассейне Верхней Оби: современные тенденции и прогнозирование / А. В. Пузанов, А. Т. Зиновьев, Д. М. Безматерных, В. Ф. Резников, Д. Н. Трошкин // Водное хозяйство России. 2018. № 4. С. 69–77. <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2018-4-5>.

Падалко Ю. А. Социально-экономическая уязвимость населения хозяйства от наводнений в бассейне р. Урал на территории Оренбургской области // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии : сб. тр. III Всерос. науч. конф. с междунар. участ. Барнаул, 28–30 авг. 2017 г. Барнаул : ФГБУН ИВЭП СО РАН. 2017. Т. 3. С. 249–256.

Реймерс Н. Ф. Природопользование : словарь-справочник. М. : Мысль, 1990. 637 с.

Сивохин Ж. Т., Падалко Ю. А. Географо-гидрологические факторы опасных гидрологических явлений в бассейне реки Урал // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2014. № 6. С. 53–61.

Тимофеева С. С., Эглит В. Э., Морозова О. В. Мониторинг наводнений на территории Иркутской области на основе ретроспективного анализа // Вестник ИрГТУ. 2011. № 9 (56). С. 82–89.

Чеботарев А. И. Гидрологический словарь. Л. : Гидрометеоздат, 1978. 308 с.

Шаликовский А. В., Курганович К. А. Управление риском наводнений в мире и в Российской Федерации // Вестник ЧитГУ. 2012. № 5(84). С. 21–31.

Шаликовский А. В., Соколов А. В. Проблемы установления границ зон затопления и подтопления // Водные ресурсы и водопользование : сб. материалов II науч.-практ. конф. Чита, 17–18 мая 2018 г. Чита : Забайк. гос. ун-т, 2018. С. 13–17.

Шибких А. А. Применение ГИС при исследовании чрезвычайных ситуаций на реках (на примере рек бассейна Верхней Оби) // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2008. Т. 1, № 2. С. 128–132.

Шихов А. Н., Абдулин Р. К. Атласное веб-картографирование опасных гидрометеорологических явлений Уральского Прикамья // Вестник ПФИЦ. 2019. № 3. С. 49–60. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.3.5>.

Шишкин И. А. Геоинформационная система оценки состояния инженерных сооружений защиты территорий от подтопления : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2014. 21 с.

A GIS and remote sensing techniques for the assessment of land use change impact on flood hydrology: the case study of Yialias basin in Cyprus / D. D. Alexakis, M. G. Grillakis, A. G. Koutroulis, A. Agapiou, K. Themistocleous, I. K. Tsanis, S. Michaelides, S. Pashiardis, C. Demetriou, K. Aristeidou, A. Retalis, F. Tymvios, D. G. Hadjimitsis // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2014. Vol. 14. P. 413–426. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-413-2014>.

Changing climate shifts timing of European floods / G. Blöschl, J. Hall, J. Parajka, R. A. P. Perdigão, B. Merz, B. Arheimer, G. T. Aronica, A. Bilibashi, O. Bonacci, M. Borga, I. Čanjevac, A. Castellarin, G. B. Chirico, P. Claps, K. Fiala, N. Frolova, L. Gorbachova, A. Gül, J. Hannaford, S. Harrigan, M. Kireeva, A. Kiss, T. R. Kjeldsen, S. Kohnová, J. J. Koskela, O. Ledvinka, N. Macdonald, M. Mavrova-Guirguinova, L. Mediero, R. Merz, P. Molnar, C. Montanari, A. Murphy, M. Osuch, V. Ovcharuk, I. Radevski, M. Rogger, J. L. Salinas, E. Sauquet, M. Šraj, J. Szolgay, A. Viglione, E. Volpi, D. Wilson, K. Zaimi, N. Živković // Science. 2017. Vol. 357, N 6351. P. 588–590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>.

Chen J., Hill A. A., Urbano L. D. A GIS-based model for urban flood inundation // Journal of Hydrology. 2009. Vol. 373, N 1-2. P. 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.04.021>.

Dang A. T. N., Kumar L. Application of remote sensing and GIS-based hydrological modelling for flood risk analysis: a case study of District 8, Ho Chi Minh city, Vietnam // Geomatics, natural hazards and risk. 2017. Vol. 8, N 2, P. 1792–1811. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1388853>.

Flood pattern changes in the rivers of the Baltic countries / D. Sarauskiene, J. Kriauciuniene, A. Reihan, M. Klavins // Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. 2015. Vol. 23, N 1. P. 28–38. <https://doi.org/10.3846/16486897.2014.937438>.

Human influence on climate in the 2014 southern England winter floods and their impacts / N. Schaller, A. L. Kay, R. Lamb, N. R. Massey, G. Jan van Oldenborgh, F. E. L. Otto, S. N. Sparrow, R. Vautard, P. Yiou, I. Ashpole, A. Bowery, S. M. Crooks, K. Haustein, C. Huntingford, W. J. Ingram, R. G. Jones, T. Legg, J. Miller, J. Skeggs, D. Wallom, A. Weisheimer, S. Wilson, P. A. Stott, M. R. Allen // Nature Climate Change. 2016. <https://doi.org/10.1038/nclimate2927>. URL: https://www.researchgate.net/publication/292337427_Human_influence_on_climate_in_the_2014_southern_England_winter_floods_and_their_impacts

Prasad R. N., Pani P. Geo-hydrological analysis and sub watershed prioritization for flash flood risk using weighted sum model and Snyder's synthetic unit hydrograph // Modeling Earth Systems and Environment. 2017. Vol. 3, N 3. P. 1491–1502. <https://doi.org/10.1007/s40808-017-0354-4>.

Rets E. P., Kireeva M. B. Hazardous hydrological processes in mountainous areas under the impact of recent climate change: case study of Terek River basin // IAHS Publications. 2010. Vol. 340. P. 126–134.

Sources of uncertainty in a probabilistic flood risk model / B. Winter, K. Schneeberger, M. Huttenlau, J. Stötter // *Natural Hazards*. 2018. Vol. 91. P. 431–446. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3135-5>.

Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment / J. Hall, B. Arheimer, M. Borga, R. Brazdil, P. Claps, A. Kiss, T. R. Kjeldsen, J. Kriauciuniene, Z. W. Kundzewicz, M. Lang, M. C. Llasat, N. Macdonald, N. McIntyre, L. Mediero, B. Merz, R. Merz, P. Molnar, A. Montanari, C. Neuhold, J. Parajka, R. A. P. Perdigao, L. Plavcova, M. Rogger, J. L. Salinas, E. Sauquet, C. Schar, J. Szolgay, A. Viglione, G. Bloschl // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2014. Vol. 18, Iss. 7. P. 2735–2772. <https://doi.org/10.5194/hess-18-2735-2014>.

Geoinformation-Cartographic Analysis of Different Monitoring Data on Flooding and Underflooding Zones

N. Yu. Kurepina, I. D. Rybkina

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russian Federation

Abstract. In the Upper Ob river basin, emergency events (EE) are mainly associated with flooding and underflooding of settlements and economic facilities. Using the landscape-basin approach and geoinformation-cartographic method, we analyzed different monitoring data on flooding and flooding zones within the boundaries of five regions (the Republic of Altai, Altai Krai, Kemerovo, Novosibirsk and Tomsk oblasts) for the 25-year period. Spatial-temporal variability of data series was studied and most flood-prone river basins as well as physical and geographical zoning units were defined. A comparative analysis of two periods (1993-2002 and 2004-2018) was performed, trends in emergency occurrence were revealed, and the findings were presented in a cartographic format. The established general patterns of emergency manifestation can be used to identify the causes of occurring processes. In the future, it will allow to forecast emergency events and minimize probable damage to population and economy.

Keywords: Upper Ob river basin, flooding and underflooding zones, geoinformation-cartographic method, landscape-basin approach.

For citation: Kurepina N.Yu., Rybkina I.D. Geoinformation-Cartographic Analysis of Different Monitoring Data on Flooding and Underflooding Zones. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2021, vol. 36, pp. 45-62. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.36.45> (in Russian)

References

Beshentsev A.N., Borisova T.A. Kartograficheskaya otsenka prirodnogo riska ot navodnenii v basseine oz. Baikal [Cartographic assessment of the flood risk in the lake. Baikal]. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and Cartography], 2013, no. 7, pp. 26-30. (in Russian)

Borisova T.A. Kartografirovanie prirodnykh riskov ot navodnenii na rekakh basseina ozera Baikal [Mapping of natural risks from floods in the rivers of the Baikal basin]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [The successes of modern natural science], 2016, no. 4, pp. 121-125. (in Russian)

Borshch S.V., Samsonov T.E., Simonov Yu.A., L'vovskaya E.A. Vizualizatsiya gidrologicheskoi obstanovki v basseinakh krupnykh rek sredstvami GIS-tehnologii [Visualization of the hydrological situation in the basins of large rivers by means of GIS technologies]. *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiiskoi Federatsii* [Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation], 2013, no. 349, pp. 47-62. (in Russian)

Vil'dyaev V.M., Logunov O.Yu. Problemy upravleniya pavodkami na territorii Rossii [Flood management problems in Russia]. *Ispolzovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii* [Use and protection of natural resources in Russia], 2008, no. 3, pp. 18-26. (in Russian)

Novakovskii B.A., Kolesnikova O.N., Prasolova A.I., Permyakov R.V. Geoinformatsionnyi analiz posledstviy katastroficheskikh navodnenii po materialam DZZ [Geoinformation analysis of the consequences of catastrophic floods based on remote sensing data]. *Geomatika* [Geomatics], 2015, no. 2, pp. 52-56. (in Russian)

Golubeva A.B., Kurepina N.Yu. Opyt otsenki i kartografirovaniya opasnosti navodnenii dlya territorii razlichnykh ierarkhicheskikh urovnei (na primere Ob'-Irtyshskogo basseina) [Experience in assessing and mapping the flood hazard for territories of various hierarchical levels (on the example of the Ob-Irtysh basin)]. *Polzunovskii vestnik* [Polzunovsky Bulletin], 2011, no. 4-2, pp. 34-37. (in Russian)

Zemtsov S.P., Krylenko I.N., Yumina N.M. Sotsial'no-ekonomicheskaya otsenka riska navodnenii v pribrezhnykh zonakh Azovo-Chernomorskogo poberezh'ya Krasnodarskogo kraya. *Prirodnye i sotsial'nye riski v beregovoii zone Chernogo i Azovskogo morei* [Natural and social risks in the coastal zone of the Black and Azov seas]. Proc. of sci. articles following the seminar. Moscow, June 16-19, 2012. Moscow, Triumf Publ., 2012, pp. 86-96. (in Russian)

Zinov'ev A.T., Golubeva A.B., Koshelev K.B. Otsenka opasnykh i neblagopriyatnykh gidrologicheskikh situatsii (negativnogo vozdeistviya vod), riskov vozniknoveniya chrezvychainykh situatsii [Assessment of hazardous and unfavorable hydrological situations (negative impact of water), risks of emergencies]. *Sovremennoe sostoyanie vodnykh resursov i funktsionirovanie vodokhozyaistvennogo kompleksa basseina Obi i Irtysha* [Current state of water resources and functioning of the water management complex of the Ob and Irtysh basin]. Eds. Yu.I. Vinokurov, A.V. Puzanov, D.M. Bezmaternykh. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2012, pp. 26-30. (in Russian)

Zinov'ev A.T., Koshelev K.B., Marusin K.V. Ispolzovanie komp'yuternogo modelirovaniya i GIS-tehnologii dlya nauchnogo obosnovaniya inzhenernykh reshenii po predotvrashcheniyu zatopleniya poim rek. *Vodnye resursy Rossii: sovremennoe sostoyanie i upravlenie* [Water Resources of Russia: Current State and Management]. Proc. of the All-Russian Scientific and Practical Conference Sochi, October 08-14, 2018. Novocherkassk, Lik Publ., 2018, pp. 98-105. (in Russian)

Korytnyi L.M. Hidrologicheskie opasnosti Sibiri: klassifikatsiya, rasprostranennost', vzaimoobuslovlennost' [Hydrological hazards of Siberia: classification, prevalence, interdependence]. *Tezisy dokladov VI Vserossiiskogo gidrologicheskogo s"ezda* [Abstracts of the VI All-Russian Hydrological Congress]. Moscow, September 28 – October 1, 2004. Moscow, Meteoaagentstvo Rosgidrometa Publ., 2006, pp. 21-25. (in Russian)

Kurbatova I.E., Gorbachev D.V. Opyt ispolzovaniya animatsionnogo kartografirovaniya dlya izucheniya katastroficheskikh navodnenii [Experience in using animation mapping to study disastrous floods]. *Geo-Sibir* [Geo-Siberia], 2010. vol. 1, no. 3, pp. 107-111. (in Russian)

Barabanova E.A., Bumakova A.F., Zajceva I.S., Koronkevich N.I. K ocenke opasnosti gidrologicheskikh situatsiy na territorii Rossijskoj Federatsii [To an estimation of danger of hydrological situations on the territory of the Russian Federation]. *Voprosy geografii. Sb. 133: Geografo-gidrologicheskie issledovaniya* [Problems of Geography. Vol. 133: Geographical-hydrological Studies]. Eds. N.I. Koronkevich, E.A. Barabanova. Moscow, Kodeks Publ., 2012, pp. 383-393. (in Russian)

Kipkeeva P.A., Volosukhin Ya.V., Ivankova T.V., Potapenko Yu.Ya. Landshaftno-gidrologicheskii podkhod k obosnovaniyu monitoringa rechnykh basseinov gornykh territorii [Landscape-hydrological approach to the substantiation of monitoring of river basins in mountain areas]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* [International research journal], 2016, no. 12-1 (54), pp. 87-90. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.54.194> (in Russian)

Lisitskii D.V., Tai N.A. Geoinformatsionnyi analiz vozmozhnykh zatopenii territorii goroda Khoshimina [Geoinformation analysis of possible flooding of the territory of Ho Chi Minh city]. *Interekspos Geo-Sibir* [Interexpo Geo-Siberia], 2014, vol. 7, pp. 11-17. (in Russian)

Lovtskaya O.V., Koshelev K.B., Baldakov N.A. Web-GIS dlya vizualizatsii rezul'tatov modelirovaniya opasnykh gidrologicheskikh situatsii [Web-GIS for visualizing the results of modeling hazardous hydrological situations]. *Izvestiya AO RGO* [News from the Altai Branch of the Russian Geographic Society], 2015, no. 4 (39), pp. 49-52. (in Russian)

Mil'kov F.N. *Fizicheskaya geografiya: sovremennoe sostoyanie, zakonomernosti, problem* [Physical geography: current state, patterns, problems]. Voronezh, Publishing House of the Voronezh University, 1981, 400 p. (in Russian)

Natsionalnyi atlas Rossii [National Atlas of Russia]. Vol. 2. Priroda. Ekologiya. 2007, pp. 192-193. Available at: <https://natsional'nyiatlas.rf/cd2/192-193/192-193.html> (in Russian)

Vinokurov Yu.I., Tsimbalei Yu.M., Zinchenko G.S., Stoyashcheva N.V. Obshchaya kharakteristika basseina [General characteristics of the basin]. *Sovremennoe sostoyanie vodnykh resursov i funkcionirovanie vodokhozyaistvennogo kompleksa basseina Obi i Irtysha (kollektivnaya monografiya)* []. Eds. Yu.I. Vinokurov, A.V. Puzanov, D.M. Bezmaternykh. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2012, pp. 9-11. (in Russian)

Puzanov A.V., Zinov'ev A.T., Bezmaternykh D.M., Reznikov V.F., Troshkin D.N. Opasnye gidrologicheskie yavleniya v bassejne Verhnej Obi: sovremennye tendentsii i prognozirovaniye [Current state of water resources and functioning of the water management complex of the Ob and IRTYSH basins Dangerous hydrological phenomena in the Upper Ob basin: current trends and forecasting]. *Vodnoe hozyajstvo Rossii* [Water management in Russia], 2018, no. 4, pp. 69-77. <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2018-4-5>

Padalko Yu.A. Sotsialno-ekonomicheskaya uyazvimost naseleniya khozyaistva ot navodnenii v basseine r. Ural na territorii Orenburgskoi oblasti [Socio-economic vulnerability of the population of the economy to floods in the basin of the river. Ural in the Orenburg region]. *Sbornik trudov III Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem Vodnye i ekologicheskie problemy Sibiri i Tsentralnoi Azii* [Proceedings of the III All-Russian Scientific Conference with International Participation Water and Environmental Problems of Siberia and Central Asia]. Barnaul, August 28-30, 2017. Barnaul, Publishing House of the FGBUN IVEP SO RAN, 2017, vol. 3, pp. 249-256. (in Russian)

Remers N.F. *Prirodopolzovanie* [Nature management. Dictionary-reference]. Moscow, Mysl Publ., 1990, 364 p. (in Russian)

Sivokhip Zh.T., Padalko Yu.A. Geografo-gidrologicheskie faktory opasnykh gidrologicheskikh yavlenii v basseine reki Ural [Geographic and hydrological factors of hazardous hydrological phenomena in the Ural river basin]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical series], 2014, no. 6, pp. 53-61. (in Russian)

Timofeeva S.S., Eglit V.E., Morozova O.V. Monitoring navodnenii na territorii Irkutskoi oblasti na osnove retrospektivnogo analiza [Flood monitoring in the Irkutsk region based on retrospective analysis]. *Vestnik IrGTU* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2011, no. 9 (56), pp. 82-89. (in Russian)

Chebotarev A.I. *Gidrologicheskii slovar* [Hydrological Dictionary]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1978, 308 p. (in Russian)

Shalikovskii A.V., Kurganovich K.A. Upravlenie riskom navodnenii v mire i v Rossiiskoi Federatsii [Flood risk management in the world and in the Russian Federation]. *Vestnik ChitGU* [Bulletin of the Chita State University], 2012, no. 5 (84), pp. 21-31. (in Russian)

Shalikovskii A.V., Sokolov A.V. Problemy ustanovleniya granits zon zatopeniya i podtopleniya [Problems of demarcation of zones of flooding and flooding]. *Vodnye resursy i vodopolzovanie* [Water resources and water use]. Proc. of the II scientific-practical conference Chita, May 17-18, 2018. Chita, Publishing House of the Zabaikal'skii State University, 2018, pp. 13-17. (in Russian)

SHibkih A.A. Primenenie GIS pri issledovanii chrezvychajnyh situacij na rekah (na primere rek bassejna VerhnejObi). *Interespo Geo-Sibir*, 2008, vol. 1, no. 2, pp. 128-132.

Shikhov A.N., Abdulin R.K. Atlasnoe veb-kartografirovanie opasnykh gidrometeorologicheskikh yavlenii Uralskogo Prikam'ya [Atlas web mapping of hazardous hydrometeorological phenomena of the Ural Kama region]. *Vestnik PFITs* [Perm Federal Research Centre Journal], 2019, no. 3, pp. 49-60. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.3.5> (in Russian)

Shishkin I.A. *Geoinformatsionnaya sistema otsenki sostoyaniya inzhenernykh sooruzhenii zashchity territorii ot podtopleniya* [Geographic information system for assessing the state of engineering structures to protect territories from flooding]. St. Petersburg, 2014, 21 p. (in Russian)

Alexakis D.D., Grillakis M.G., Koutroulis A.G., Agapiou A., Themistocleous K., Tsanis I.K., Michaelides S., Pashiardis S., Demetriou C., Aristeidou K., Retalis A., Tymvios F., Hadjimitsis D.G. GIS and remote sensing techniques for the assessment of land use change impact on flood hydrology: the case study of Yialias basin in Cyprus. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2014, vol. 14, pp. 413-426. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-413-2014>.

Blöschl G., Hall J., Parajka J., Perdigão R.A.P., Merz B., Arheimer B., Aronica G.T., Bilibashi A., Bonacci O., Borga M., Čanjevac I., Castellarin A., Chirico G.B., Claps P., Fiala K., Frolova N., Gorbachova L., Gül A., Hannaford J., Harrigan S., Kireeva M., Kiss A., Kjeldsen T.R., Kohnová S., Koskela J.J., Ledvinka O., Macdonald N., Mavrova-Guirguinova M., Mediero L., Merz R., Molnar P., Montanari C., Murphy A., Osuch M., Ovcharuk V., Radevski I., Rogger M., Salinas J.L., Sauquet E., Šraj M., Szolgay J., Viglione A., Volpi E., Wilson D., Zaimi K., Živković N. Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, 2017, vol. 357, no. 6351, pp. 588-590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>.

Chen J., Hill A.A., Urbano, L.D. A GIS-based model for urban flood inundation. *Journal of Hydrology*, 2009, vol. 373, no. 1-2, pp. 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.04.021>.

Dang A.T.N., Kumar L. Application of remote sensing and GIS-based hydrological modelling for flood risk analysis: a case study of District 8, Ho Chi Minh city, Vietnam. *Geomatics, natural hazards and risk*, 2017, vol. 8, no. 2, pp. 1792-1811. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1388853>.

Sarauskiene D., Kriauciuniene, J., Reihan, A., & Klavins, M. Flood pattern changes in the rivers of the Baltic countries. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 2015, vol. 23(1), pp. 28-38. <https://doi.org/10.3846/16486897.2014.937438>.

Schaller, N., Kay, A.L., Lamb, R., Massey, N.R., Jan van Oldenborgh, G., Otto, F.E.L., Sparrow, S.N., Vautard, R., Yiou, P., Ashpole, I., Bowery, A., Crooks, S.M., Haustein, K., Huntingford, C., Ingram, W.J., Jones, R.G., Legg, T., Miller, J., Skeggs, J., Wallom, D., Weisheimer, A., Wilson, S., Stott, P.A. and Allen, M.R. Human influence on climate in the 2014 southern England winter floods and their impacts. *Nature Climate Change*, 2016. <https://doi.org/10.1038/nclimate2927>. URL: https://www.researchgate.net/publication/292337427_Human_influence_on_climate_in_the_2014_southern_England_winter_floods_and_their_impacts.

Hall J., Arheimer B., Borga, M., Brazdil, R., Claps, P., Kiss, A., Kjeldsen, T.R., Kriauciuniene, J., Kundzewicz, Z.W., Lang, M., Llasat, M.C., Macdonald, N., McIntyre, N., Mediero, L., Merz, B., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Neuhold, C., Parajka, J., Perdigao, R.A.P., Plavcova, L., Rogger, M., Salinas, J.L., Sauquet, E., Schar, C., Szolgay, J., Viglione, A., Blöschl, G. Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2014, vol. 18, issue 7, pp. 2735-2772. <https://doi.org/10.5194/hess-18-2735-2014>.

Prasad R.N., Pani P. Geo-hydrological analysis and sub watershed prioritization for flash flood risk using weighted sum model and Snyder's synthetic unit hydrograph. *Modeling Earth*

Systems and Environment, 2017, vol. 3(3), pp. 1491-1502. <https://doi.org/10.1007/s40808-017-0354-4>

Rets E.P., Kireeva M.B. Hazardous hydrological processes in mountainous areas under the impact of recent climate change: case study of Terek River basin. IAHS Publications, 2010, vol. 340, pp. 126-134.

Winter B, Schneeberger K., Huttenlau M., Stötter J. Sources of uncertainty in a probabilistic flood risk model. *Natural Hazards*, 2018, vol. 91, pp. 431-446. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3135-5>

Курепина Надежда Юрьевна

*кандидат географических наук
старший научный сотрудник
лаборатория водных ресурсов
и водопользования
Институт водных и экологических
проблем СО РАН
Россия, 656038, г. Барнаул,
ул. Молодежная, 1
e-mail: nyukurepina@mail.ru*

Kurepina Nadezhda Yurievna

*Candidate of Science (Geography)
Senior Researcher, Laboratory
of Water Resources Management
Institute for Water and Environmental
Problems SB RAS
1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038
Russian Federation
e-mail: nyukurepina@mail.ru*

Рыбкина Ирина Дмитриевна

*кандидат географических наук
заведующая, лаборатория водных
ресурсов и водопользования
Институт водных и экологических
проблем СО РАН
Россия, 656038, г. Барнаул,
ул. Молодежная, 1
e-mail: irina.rybkina@mail.ru*

Rybkina Irina Dmitrievna

*Candidate of Science (Geography)
Head, Laboratory of Water Resources
Management
Institute for Water and Environmental
Problems SB RAS
1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038
Russian Federation
e-mail: irina.rybkina@mail.ru*

Код научной специальности: 25.00.33

Дата поступления: 15.03.2021