

НАВОДНЕНИЯ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ 2019 ГОДА

**А.В. Шаликовский^{1,2}, А.П. Лепихин^{3,4,5}, А.А. Тиунов^{3,4},
К.А. Курганович^{1,2}, М.Г. Морозов⁶**

E-mail: vostokniivh@mail.ru

¹ ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, г. Чита, Россия

² ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», г. Чита, Россия

³ ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, г. Пермь, Россия

⁴ «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» – филиал ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Пермь, Россия

⁵ ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь, Россия

⁶ ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ: В статье представлены результаты исследования причин наводнений летом 2019 г. в Иркутской области, от которых пострадало более 100 населенных пунктов, а ущерб превысил 35 млрд руб. В наибольшей степени последствия наводнений ощутили на себе города Тулун и Нижнеудинск, расположенные на реках Ия и Уда.

Установлено, что формирование экстремальных паводков было обусловлено действием природных причин – редким сочетанием синоптических факторов с высокой предшествующей увлажненностью водосборов. Антропогенные факторы оказали незначительное влияние. Моделирование позволило выяснить причины формирования необычного паводка в бассейне р. Ия и восстановить хронологию затопления г. Тулун. С применением спектрального анализа космических снимков по индексу MNDWI автоматически идентифицированы объекты, подвергшиеся затоплению. Значительный ущерб от наводнений был обусловлен не только высотой паводков, но и системными проблемами водохозяйственной деятельности. Разработаны рекомендации по снижению риска наводнений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: наводнения, ущерб от наводнений, дождевые паводки, максимальный сток, факторы стока, трансформация паводков, модель формирования стока, модель затопления.

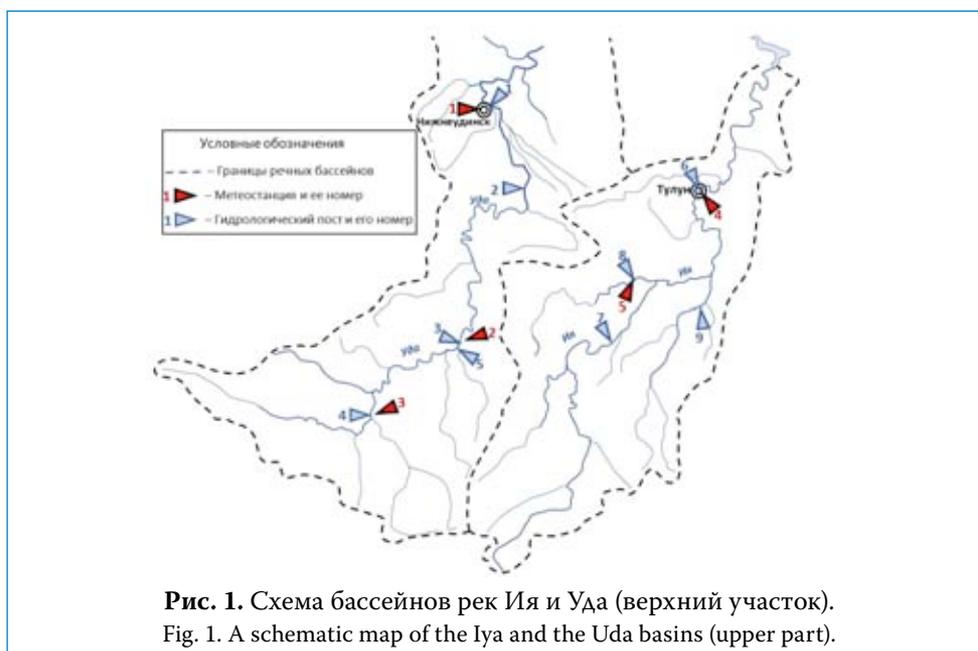
Летом 2019 г. в Иркутской области наблюдались две волны катастрофических паводков. В конце июня от наводнения пострадало 109 населенных

© Шаликовский А.В., Лепихин А.П., Тиунов А.А., Курганович К.А., Морозов М.Г., 2019

пунктов в 10 районах, расположенных в левобережной части бассейна р. Ангары. Через месяц очередное наводнение затронуло 58 населенных пунктов, большинство повторно, но и также поселения в Слюдянском районе на юго-западном побережье оз. Байкал, где выпало до 500 мм осадков (на метеостанции Хамар-Дабан за 25–29 июля 545 мм, из них 305 мм – за 28 июля).

В результате двух наводнений паводковыми водами унесено 1311 домов, 4191 домов признаны непригодными для проживания, 3846 – подлежащими ремонту. Предварительная сумма ущерба составила 35,152 млрд руб., из них 10,8 млрд руб. – потери от утраченного жилья, 20 млрд руб. – ущерб социальным, административным, инфраструктурным объектам [1]. Погибли 25 человек, 6 числятся пропавшими без вести.

В наибольшей степени от наводнений пострадали города Тулун и Нижнеудинск, расположенные в депрессиях Предсаянского предгорного прогиба – Ийской и Удинской грабенах. Источниками затопления являлись, соответственно, реки Ия и Уда, берущие начало на северных склонах Восточного Саяна (рис. 1). До створов расположения рассматриваемых городов площади водосборов этих рек различаются незначительно, но другие характеристики (тип водного режима, продольные профили и др.) существенно отличаются (табл. 1, рис. 2, рис. 3), что определило и значительные различия в характере их затопления. В июньское наводнение подъем уровня воды р. Уда в г. Нижнеудинск над предпаводковым составил 3,65 м, а р. Ия в г. Тулун – 8,83 м и сопро-

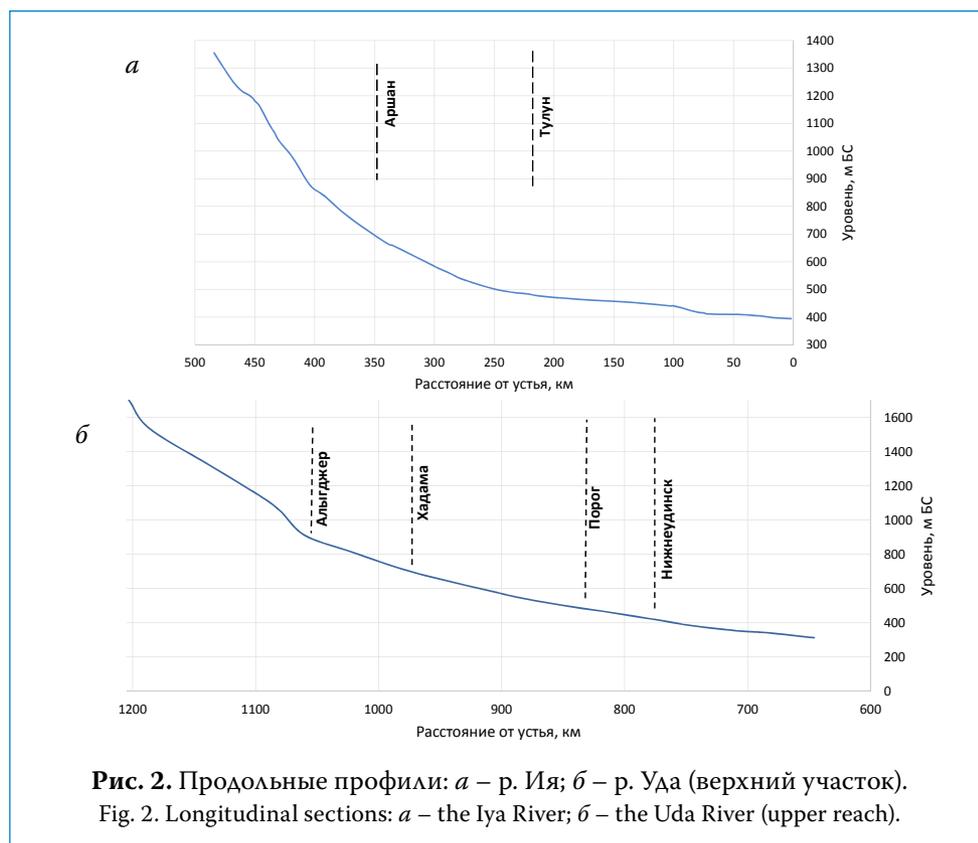


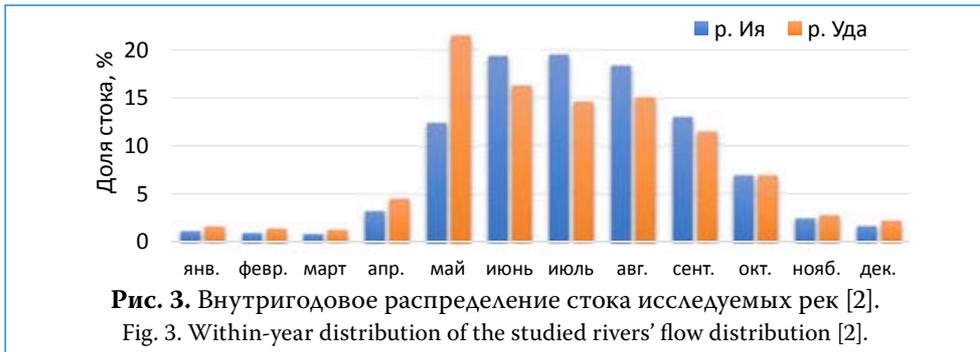
вождался переливом воды через защитные дамбы и образованием залома в отверстии автодорожного моста из остатков унесенных строений и корчей.

Таблица 1. Характеристики рек Ия и Уда

Table 1. Characteristics of the Iya River and the Uda River

Характеристика	р. Ия (г. Тулун)	р. Уда (г. Нижнеудинск)
Площадь водосбора, тыс. км ²	14,5	15,8
Средняя высота водосбора, м БС	1007	1293
Средний уклон водной поверхности (рис. 2)	0,0025	0,003
Тип водного режима (рис. 3)	Дальневосточный	Восточно-Сибирский





МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В связи с инициативным характером данного исследования в качестве исходных данных использованы общедоступные средства получения информации:

- метеорологические данные по станциям наблюдений, передаваемые во Всемирный центр метеоданных (NOAA);
- справочная информация об уровне рек (All Rivers.Info) по гидропостам в городах Тулун и Нижнеудинск;
- информация, опубликованная на сайтах муниципальных образований, в т. ч. оперативные данные об уровнях рек;
- космические снимки свободного доступа и др.

В исследуемых бассейнах выше Тулуна и Нижнеудинска расположено 7 гидрологических постов, на двух из которых (пос. Аршан и с. Уйгат) также проводятся метеонаблюдения (табл. 2). В информационных системах свободного доступа результаты мониторинга по всем постам отсутствуют.

Таблица 2. Действующие гидрологические посты в бассейнах рек Уда и Ия
Table 2. Active hydrological posts in the Uda and Iya basins

№ на рис. 1	Река	Наименование поста	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км	Открыт	Отметка «0» поста, м БС	Метеонаблюдения
Бассейн р. Уда							
1	Уда	Нижнеудинск	758	15 800	01.01.1934	401,35	–
2	Уда	Порог	817	13 600	16.10.1988	467,85	–
3	Уда	Хадама	970	9760	29.12.1965	697,40	–
4	Уда	Алыгджер	1062	4980	23.10.1937	912,57	–
5	Хадама	Хадама	0,6	419	01.07.1973	697,41	–
Бассейн р. Ия							
6	Ия	Тулун	119	14500	04.08.1920	448,91	–
7	Ия	Аршан	292	5140	12.05.1941	572,42	+
8	Икей	Икей	18	2400	01.11.1944	н/д	–
9	Кирей	Уйгат	22	2950	17.06.1949	483,92	+

В связи с недостатком данных, для анализа паводковой ситуации летом 2019 г. были применены результаты дистанционного зондирования Земли и методы математического моделирования. Для автоматизации выделения затопленных территорий использовался спектральный анализ космических снимков миссии Sentinel-2 Европейского космического агентства (ESA Copernicus) с вычислением модифицированного нормализованного разностного водного индекса MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) [3]:

$$MNDWI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{SWIR}}{\rho_{Green} + \rho_{SWIR}}, \quad (1)$$

где ρ_{Green} и ρ_{SWIR} – интенсивность излучения в зеленом и коротковолновом инфракрасном участках спектра.

Для спутника Sentinel-2 MNDWI определялся с использованием 3 и 11 спектральных каналов:

$$MNDWI = \frac{\rho_{band3} - \rho_{band11}}{\rho_{band3} + \rho_{band11}}, \quad (2)$$

где ρ_{band3} и ρ_{band11} – интенсивность излучения в 3 и 11 спектральных каналах Sentinel-2.

Граница определения водных поверхностей по MNDWI проходит через ноль, значения индексов больше нуля соответствуют водным поверхностям. Пространственное разрешение зеленого канала Sentinel-2 равно 10 м, коротковолнового инфракрасного – 20 м, поэтому для вычисления индекса предварительно производилось повышение разрешения изображения инфракрасной области до 10 м методом билинейной интерполяции. Для моделирования формирования стока в бассейне р. Ия использовали программный комплекс RiverFlow2D GPU компании Hydronia LLC, представляющий собой двумерную модель, которая позволяет учитывать осадки, испарение и инфильтрацию воды [4].

Для описания участка водосбора р. Ия до г. Тулуна построена модель с применением треугольной нерегулярной сетки со средней длиной ребра элемента 100 м. Количество элементов сетки составило 3 157 429 при числе узлов сетки 1 581 521. Характерные размеры модели стока воды: длина – около 200 км, ширина – от 70 до 110 км, общая площадь модели – около 13 656 км². Для задания морфометрии использована цифровая модель рельефа (ЦМР) местности из базы данных SRTM 30 [5] со средним пространственным разрешением около 50 м. При моделировании процесса формирования стока не учитывались инфильтрация и испарение, т. к. в июне 2019 г. в рассматриваемом районе наблюдалась дождливая погода (рис. 4), приведшая к переувлажнению почв.

Период моделирования составил 8 суток – с 25 июня по 2 июля, из них первые трое суток с осадками, остальные – без осадков. Распределение осадков было принято равномерным по всей площади бассейна.



Моделирование хода затопления г. Тулун проводили с использованием модели в среде RiverFlow 2D GPU [4] со следующими характеристиками: средняя длина ребра элемента треугольной нерегулярной сетки – 10 м; количество элементов сетки – 401 570 при числе узлов сетки 201 984. Характерные размеры модели затопления: длина – около 10 км, ширина – от 1 до 6 км, общая площадь модели – около 23,5 км². Цифровая модель рельефа (ЦМР) местности получена путем оцифровки карт свободного доступа с уточнением расположения берегов р. Ия и защитных дамб по космическим снимкам. Автомобильный мост задан схематично – в виде горизонтальной балки с 9 опорами шириной 2 м.

Для моделирования волны паводка использовали фактически наблюдаемые уровни воды в г. Тулун (рис. 4) и соответствующие расходы, восстановленные по кривой $Q(H)$. Период моделирования составил 15 сут: с 25 июня по 9 июля. Ветер, осадки, испарение, инфильтрация не учитывались в связи с малой долей моделируемой площади по отношению к площади водосбора.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основной причиной катастрофических паводков в конце июня стали обильные осадки, т. к. с 25 по 27 июня верховья бассейнов рек Ия и Уда находились в центре малоподвижного циклона. За эти дни в с. Икей и пос. Аршан, расположенных в предгорной области бассейна р. Ия, выпало соответственно 218 и 250 мм осадков (более трех месячных норм [6]), а в г. Тулун – 85 мм (на 30 % больше месячной нормы). Метеостанции в бассейне р. Уда зафиксировали за 25–28 июня 91 мм дождя (г. Нижнеудинск) и 112 мм (м/с Хадама). Существенными факторами формирования паводков также являлись высокая увлажненность бассейна и накопление значительных запасов воды в

руслевой сети. Эти условия были обусловлены прохождением двух циклонов в предшествующие две недели, которые вызвали подъемы уровня воды до двух метров в Тулуне (рис. 4) и 1,5 м в Нижнеудинске (рис. 5). Уровень воды в р. Ия в г. Тулун 18 июня достигал отметки 649 см (при критическом уровне 700 см), а в р. Уда в г. Нижнеудинск – 254 см (при критическом – 320 см).

В Интернет-изданиях также указываются и другие причины рассматриваемого наводнения: таяние снега в высокогорных районах, вырубка леса и ряд «народных» версий. Первые две причины действительно имели место. Так, анализ космических снимков свидетельствует, что остатки снежного покрова еще сохранялись на высокогорных участках, но их площадь составляла десятые доли процента площади водосборов. По данным сайта Global Forest Change [7], уменьшение залесенности за 2000–2018 гг. составило 3–4 % (преимущественно в районе Тулуна). Таким образом, влияние данных факторов во много раз ниже, чем точность оценки количества осадков, выпавших в разных частях бассейнов рек Ия и Уда.

Распространенная «народная» версия о подпоре р. Ия Братским водохранилищем несостоятельна, т. к. по данным РусГидро [8], с 25 по 29 июня уровень водохранилища повысился на 27 см – с 396,61 до 396,88 м, что на 65,9 м ниже максимального уровня р. Ия в г. Тулун. Беспочвенными являются и другие подобные версии наводнения.

Подъем уровня воды в р. Уда у Нижнеудинска начался сразу после начала сильных дождей (25 июня) и за сутки повысился на 198 см, превысив на 20 см критический уровень. 27 июня он достиг максимума в 507 см, а затем начал снижаться. Продолжительность пика паводка с уровнями выше критического составила около 3,5 сут (рис. 5).

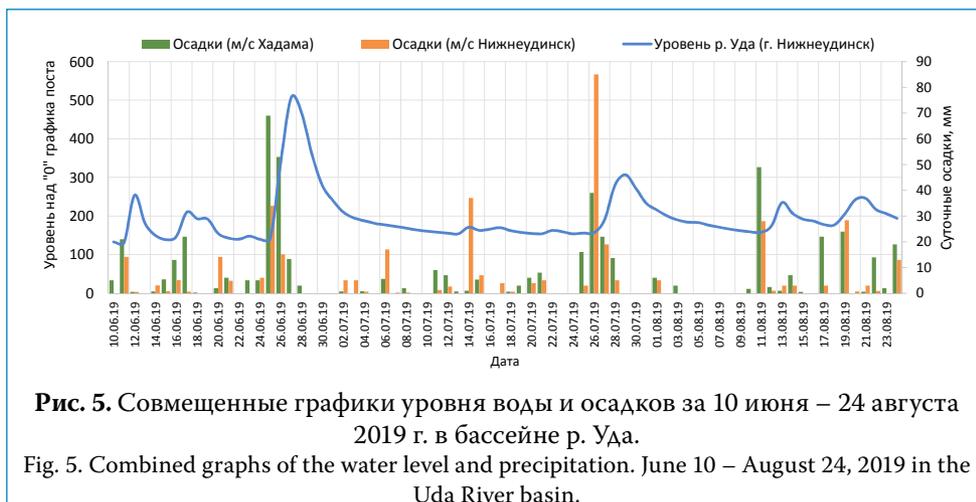


Рис. 5. Совмещенные графики уровня воды и осадков за 10 июня – 24 августа 2019 г. в бассейне р. Уда.

Fig. 5. Combined graphs of the water level and precipitation. June 10 – August 24, 2019 in the Uda River basin.

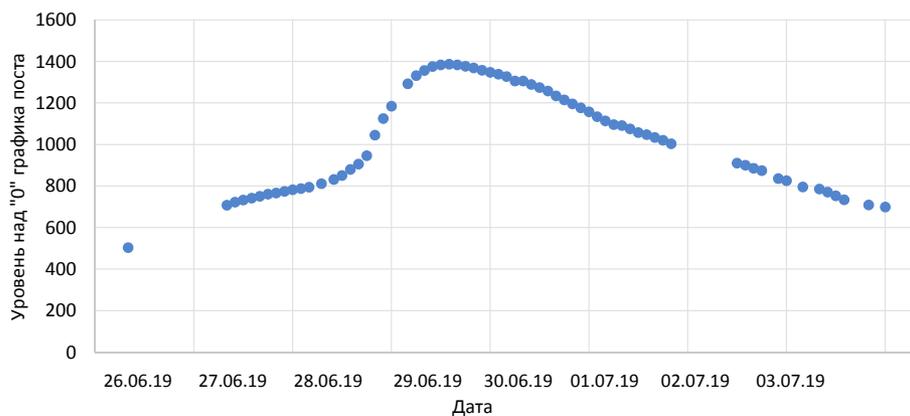


Рис. 6. Изменение уровня р. Ия в г. Тулун за 26 июня–3 июля 2019 г.

Fig. 6. Changing of the Iya River level in Tulun on June 26 – July 3, 2019.

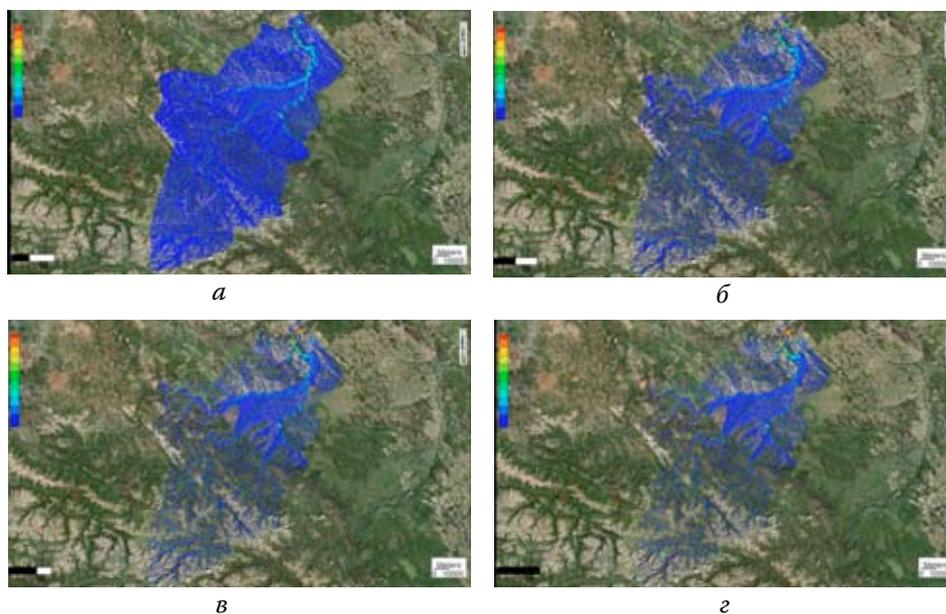


Рис. 7. Формирование паводка на р. Ия:

а – 28.06.2019 (10:00); *б* – 29.06.2019 (2:00); *в* – 30.06.2019 (9:00); *г* – 02.07.2019 (24:00).

Fig. 7. Formation of the flood on the Iya River: :

а – 28.06.2019 (10:00); *б* – 29.06.2019 (2:00); *в* – 30.06.2019 (9:00); *г* – 02.07.2019 (24:00).

Совершенно иной характер имел паводок на р. Ия. Подъем уровня воды у г. Тулун начался через сутки после начала дождя, за сутки он повысился на 205 см (рис. 4). В последующие сутки скорость подъема уменьшилась и в среднем составляла 4,5 см/ч. Днем 28 июля начался интенсивный рост уровня воды с максимальной скоростью в период с 18 до 20 ч, когда уровень воды поднялся на 99 см и достиг отметки 1045 см над «0» графика поста. Подъем уровня воды продолжался еще 18 ч и днем 29 июля достиг максимума – 1387 см (рис. 6). Уровни воды выше критического значения наблюдались около 7 сут.

Подъем уровня р. Ия в г. Тулун продолжался около 80 ч, что вдвое дольше, чем на р. Уда у г. Нижнеудинск. Результаты моделирования паводка (рис. 7), свидетельствуют, что фронт паводочной волны продвигался довольно медленно (в среднем 0,6 м/с). Такой характер формирования паводка обусловлен тем, что долина р. Ия после выхода из гор (пос. Аршан) до г. Тулун очень широкая, часто сливается с заболоченными междуречьями. Русло сильно разветвленное, пойма широкая, заболоченная, местами ее ширина достигает 13–20 км. Уклон свободной поверхности воды на 150-километровом участке перед Тулуном составляет в среднем 0,0004.

На заполнение очень широких пойм было израсходовано огромное количество воды, что трансформировало паводок и значительно растянуло его по времени. Таким образом, на первую волну паводка, сформированную с водосборной площади вблизи Тулуна, наложилась вторая волна с верховий реки. На рис. 8 представлен смоделированный гидрограф второй паводковой волны р. Ия перед г. Тулун, на котором значения расхода даны без учета предшествующих запасов воды в русловой сети.

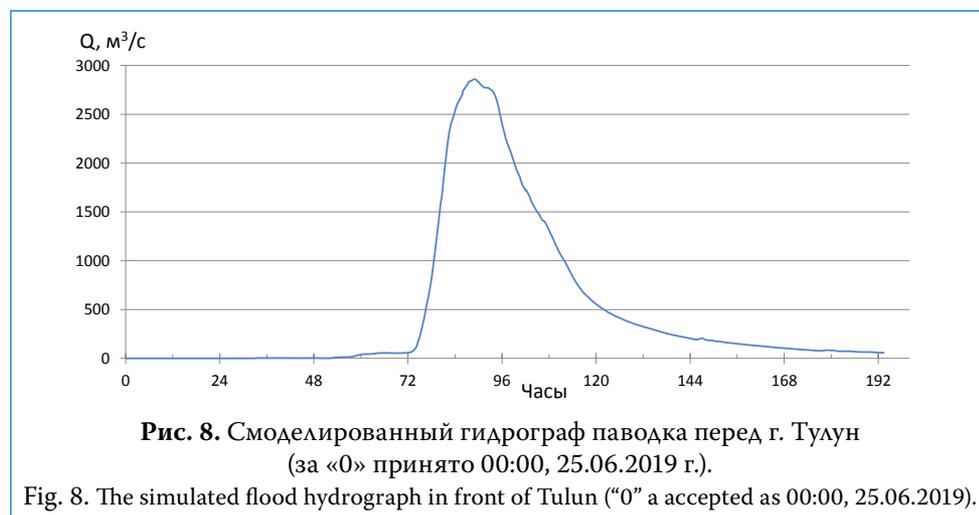


Рис. 8. Смоделированный гидрограф паводка перед г. Тулун
(за «0» принято 00:00, 25.06.2019 г.).

Fig. 8. The simulated flood hydrograph in front of Tulun ("0" a accepted as 00:00, 25.06.2019).



Рис. 9. Затопление г. Тулун по результатам моделирования:
а – 25.06.2019 (06:00); *б* – 29.06.2019 (14:00); *в* – 30.06.2019 (5:00); *г* – 08.07.2019 (15:00).
Fig. 9. Flooding of Tulun according to the simulation results:
a – 25.06.2019 (06:00); *b* – 29.06.2019 (14:00); *v* – 30.06.2019 (5:00); *z* – 08.07.2019 (15:00)

Несмотря на принятые при моделировании достаточно грубые допущения, его результаты хорошо согласуются с результатами наблюдений (рис. 6): ошибка вычисления времени прохождения пика паводка составляет менее 15 % и может быть значительно уменьшена путем калибровки модели. Но даже без уточнения модели результаты расчетов характеризуют специфические особенности формирования высоких паводков в бассейне р. Ия (в створе г. Тулун) – плавное повышение уровня при формировании стока с водосборной площади вблизи Тулуна, переходящее в интенсивное после прихода волны паводка с верховий реки. Данный вывод подтверждается условиями формирования предшествующих катастрофических паводков. Например, в 1980 г. прохождение паводка контролировалось в нескольких створах данного участка [9] и средняя скорость продвижения фронта паводочной волны составила 0,45 м/с на участке от пос. Аршан до с. Евдокимово и 0,64 м/с от с. Евдокимово до г. Тулуна.

На рис. 9 представлены фрагменты результатов моделирования наводнения в г. Тулун, которые, в частности, свидетельствуют о том, что пропускная способность автодорожного моста является недостаточной для пропуска такого паводка, даже при отсутствии сформировавшегося залома. Перелив воды через гребень дамб привел к быстрому затоплению «защищен-



Рис. 10. Затопление г. Тулун по результатам спектрального анализа космических снимков (по индексу MNDWI).

Fig. 10. Flooding of Tulun according to satellite images spectral analysis (by MNDWI index).

ных» территорий и к катастрофическим разрушениям зданий. Разрушения были вызваны не столько большой глубиной затопления, сколько быстрым подъемом уровня воды. В этих условиях вода не успевала поступать внутрь домов: строения либо всплывали под действием выталкивающей «архимедовой» силы, либо были раздавлены гидростатическим давлением (в некоторых странах для уменьшения ущерба действуют правила о необходимости закрепления домов от всплытия и устройства специальных отверстий для быстрого затопления внутренних помещений [10]). На рис. 10 представлены результаты спектрального анализа космических снимков по индексу MNDWI, вычисленного по формуле (2). Данный подход позволяет автоматически идентифицировать все объекты, подвергшиеся затоплению.

Следует отметить, что в рамках данного исследования не установлено влияние изменения климата на формирование катастрофического паводка, что также широко обсуждается в СМИ:

– во-первых, в зависимости от продолжительности выборки можно «доказать» различные тенденции (рис. 11) и даже, несмотря на обилие осадков в 2018–2019 гг., сохраняется тренд на их уменьшение;

– во-вторых, литературные источники свидетельствуют о том, что до организации гидрологических наблюдений на рассматриваемых реках наблюдались аналогичные паводки [11]. Например, в 1912 г. в Нижнеудинске уровень воды в р. Уда превышал максимальный уровень 2019 г. на 2 м;

– в-третьих, конструкция железнодорожных мостов над уровнем рек Ия и Уда свидетельствует о наличии данных об уровнях высоких вод при их строительстве, превышающих уровни паводка 2019 г. Например, по данным [12], превышение фермы моста через р. Иркут принято 1,11 саж. (2,37 м) над максимальным уровнем. Можно предположить, что аналогичные показатели были приняты и для исследуемых рек, т. к. площади их водосборов практически равны бассейну р. Иркут (15,78 тыс. км²).

Таким образом, катастрофический паводок в июне 2019 г. был в основном обусловлен редким сочетанием синоптических факторов с высокой предшествующей увлажненностью водосборов. Это подтверждается еще рядом фактов:

– в конце июля-начале августа 2019 г. в Тулуне выпало на 60 % больше осадков, однако максимальный уровень р. Ия в результате другого сочетания факторов был на 2,62 м ниже, чем в конце июня (рис. 4);

– наводнения в рассматриваемых бассейнах наблюдаются не только в годы с экстремальной, но и со средней водностью (1944, 1959, 1962, 1980, 1984 г.).

Одним из факторов значительных потерь от паводков 2019 г. является заниженный уровень опасности наводнений данной территории. Так, в [13, 14]

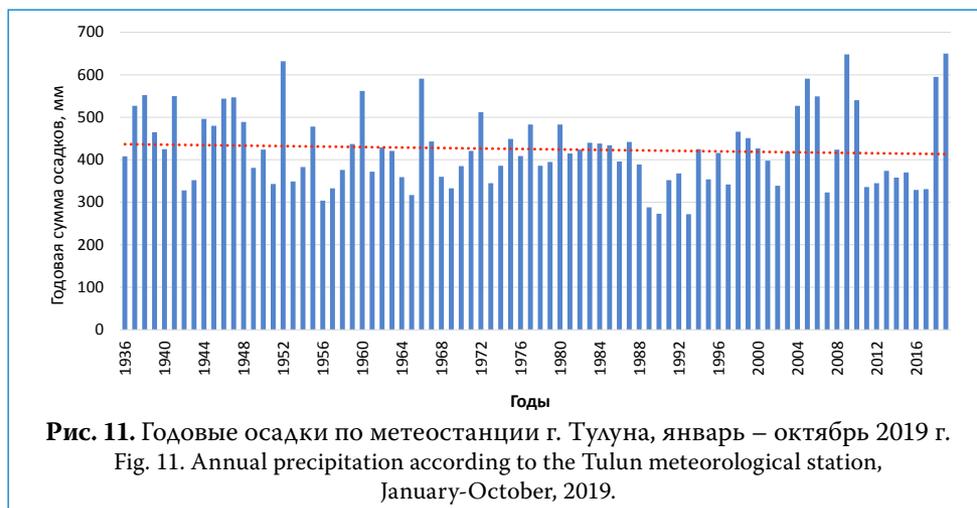


Рис. 11. Годовые осадки по метеостанции г. Тулуна, январь – октябрь 2019 г.

Fig. 11. Annual precipitation according to the Tulun meteorological station, January-October, 2019.

Иркутская область отнесена к числу субъектов Федерации со средней опасностью наводнений (третий класс из шести). В [15] верховья рек Ия и Тулун отнесены к территориям с уровнем опасности наводнений от значительного до высокого, но города Тулун и Нижнеудинск расположены в районе «средне-значительной» опасности. И только в [16] Тулун попал в категорию территории с высокой, а Нижнеудинск – очень высокой опасности.

ВЫВОДЫ

Формирование экстремальных паводков в Иркутской области летом 2019 г. было обусловлено действием природных причин – редким сочетанием синоптических факторов с высокой предшествующей увлажненностью водосборов. Антропогенное влияние от снижения залесенности имело место, но было во много раз ниже, чем точность оценки количества осадков. Влияние изменения климата на формирование катастрофического паводка не установлено.

Выполненное моделирование позволило охарактеризовать причины формирования необычного гидрографа паводка в бассейне р. Ия. На заполнение широких пойм ниже п. Аршан было израсходовано огромное количество воды, поэтому сток с верховий реки длительное время не участвовал в формировании паводка у г. Тулун. В начальной фазе наблюдалось плавное повышение уровня за счет стока с водосборной площади вблизи Тулуна, которое перешло в интенсивное после прихода волны паводка с верховий реки.

Высокий ущерб от наводнений обусловлен не только высотой паводков, но и системными проблемами [17]: застройкой опасных территорий, отсутствием границ затопления, низким охватом индивидуальных строений страхованием, игнорированием населением потенциальной опасности, недостаточной точностью прогнозов. Для снижения риска наводнений рекомендуется:

- на период установления границ затопления ввести запрет на строительство в пределах территорий, затопленных летом 2019 г.;
- разместить сеть доплеровских метеорологических радиолокаторов с охватом стокоформирующих районов Восточных Саян;
- организовать гидрологический пост на р. Ия выше г. Тулуна;
- ограничить застройку территорий, защищенных дамбами, т. к. со временем математическое ожидание ущерба от наводнений на таких территориях начинает быстро возрастать за счет роста стоимости недвижимости [18];
- внести коррективы в механизмы «дачной амнистии», под прикрытием которой продолжается застройка паводкоопасных территорий (строительство дорогостоящего жилья на садовых участках с последующей их легализацией).

Наводнения в Иркутской области вновь продемонстрировали продолжающееся преобладание мер по «борьбе» с наводнениями по соотношению с мерами по адаптации к естественным процессам периодического зато-

пления прибрежных территорий, в т. ч. и редкой повторяемости. Это стимулирует сохранение иждивенческих настроений населения, базирующихся на убеждении, что только государство обязано возмещать ущерб от стихийных бедствий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ущерб от наводнений в Иркутской области предварительно оценили в 35 млрд рублей // ИНТЕРФАКС. 22.08.2019. Режим доступа: <https://reality.interfax.ru/ru/news/articles/108937/> (дата обращения: 28.08.2019).
2. R-ArcticNET (A Regional, Electronic, Hydrographic Data Network For the Arctic Region) // Water Systems Analysis Group. Режим доступа: <http://www.r-arcticnet.sr.unh.edu/v4.0/index.html> (дата обращения: 26.07.2019).
3. Xu H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // International Journal of Remote Sensing. 2006. № 27. P. 3025–3033.
4. Reference Manual «RiverFlow2D Two-Dimensional River Dynamics Model» August, 2016, Hydronia LLC. Режим доступа: <http://www.hydronia.com> (дата обращения: 24.05.2018).
5. SRTM 90m DEM Digital Elevation Database. Режим доступа: <http://srtm.csi.cgiar.org> (дата обращения: 03.07.2019).
6. Паводок в Иркутской области побил рекорды за весь период наблюдений // РИА Новости. 08.07.2019. Режим доступа: <https://ria.ru/20190708/1556299303.html> (дата обращения: 09.07.2019).
7. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R. et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. Vol. 342. No. 6160. P. 850–853. Режим доступа: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>.
8. Изменения уровней водохранилищ ГЭС // РусГидро. Режим доступа: <http://www.rushydro.ru/hydrology/informer> (дата обращения: 05.09.2019).
9. Таратунин А.А. Наводнения на территории Российской Федерации / под ред. Н.И. Коронкевича. Екатеринбург: ФГУП РосНИИВХ, 2008. 432 с.
10. Шаликовский А.В., Курганович К.А. Управление риском наводнений в мире и в Российской Федерации // Вестник Забайкальского государственного университета. 2012. № 5. С. 21–31.
11. Зайков Б.Д. Высокие половодья и паводки на реках СССР за историческое время. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 134 с.
12. Материалы для описания русских рек и истории улучшения их судоходных условий. Сведения о мостах на водных путях Российской Империи. Вып. 40. СПб., 1913. 364 с.
13. Гладкевич Г.И., Терский П.Н., Фролова Н.Л. Оценка опасности наводнений на территории Российской Федерации // Водное хозяйство России. 2012. № 2. С. 29–46.
14. Frolova, N.L., Kireeva, M.B., Magrickiy, D.V. et al. Hydrological hazards in Russia: origin, classification, changes and risk assessment // Natural Hazards. 2017. Vol. 88. No. S1. P. 103–131.

15. Географические закономерности гидрологических процессов юга Восточной Сибири / А.Н. Антипов, Н.В. Абасов, Т.В. Бережных и др. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2003. 208 с.
16. *Кичигина Н.В.* Опасность наводнений на реках Байкальского региона // География и природные ресурсы. 2018. № 2. С. 41–51.
17. *Shalikovskiy A., Kurganovich K.* Flood hazard and risk assessment in Russia // *Natural Hazards*. 2017. Vol. 88. No. S1. P. 133–147.
18. *Шаликовский А.В.* Риск наводнений: методы оценки и картографирования // Водное хозяйство России. 2012. № 2. С. 68–78.

Для цитирования: Шаликовский А.В., Лепихин А.П., Тиунов А.А., Курганович К.А., Морозов М.Г., Наводнения в Иркутской области 2019 года // Водное хозяйство России. 2019. № 6. С. 48–65.

Сведения об авторах:

Шаликовский Андрей Валерьевич, канд. техн. наук, директор, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, Россия, 672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30; профессор, кафедра водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности, ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», Россия, 672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30; e-mail: vostokniivh@mail.ru

Лепихин Анатолий Павлович, д-р геогр. наук, профессор, директор, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, 113; заведующий лабораторией проблем гидрологии суши, «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» – филиал ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ГИ УрО РАН), Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; профессор, кафедра гидрологии и охраны водных ресурсов, ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (ПГНИУ), Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: lepin49@mail.ru

Тиунов Алексей Александрович, ведущий инженер-программист, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, 113; инженер лаборатории проблем гидрологии суши, «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» – филиал ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (ГИ УрО РАН), Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; e-mail: alexey.tiunov@gmail.com

Курганович Константин Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, Россия, 672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30; заведующий кафедрой, кафедра водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности,

ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», Россия, 672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30; e-mail: nartheodor@mail.ru

Морозов Михаил Григорьевич, канд. техн. наук, заведующий отделом научно-методического обеспечения эксплуатации водохозяйственных систем, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23; e-mail: mg_frost@mail.ru

THE 2019 FLOODS IN IRKUTSK REGION

Andrey V. Shalikovskiy^{1,2}, **Anatoliy P. Lepikhin**^{3,4,5}, **Alexey A. Tiunov**^{3,4},
Konstantin A. Kurganovich^{1,2}, **Mikhail G. Morozov**⁶

E-mail: vostokniivh@mail.ru

¹ *Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Eastern Branch, Chita, Russia*

² *Transbaikalian State University, Chita, Russia*

³ *Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Kama Branch, Perm, Russia*

⁴ *Russian Academy of Sciences Ural Branch Institute of Mining, Perm, Russia*

⁵ *Perm State National Research University, Perm, Russia*

⁶ *Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Ekaterinburg, Russia*

Abstract: The article presents the results of a study of the causes of floods in the summer of 2019 in the Irkutsk region, which affected more than 100 settlements, and the damage exceeded 35 billion rubles. Tulun City and Nizhneudinsk City located on the Ija River and the Tulun River, suffered the most from floods.

The authors have found that the formation of extreme floods was due to the action of natural causes, that is a rare combination of synoptic factors with high previous moisture catchments. Anthropogenic factors had little impact. Modeling allowed to find out the reasons of formation of an unusual flood in the basin of the Iya River and to restore chronology of flooding of Tulun. Spectral analysis of satellite images on the NDVI index allowed automatic identification of objects subjected to flooding.

The high flood damage was caused not only by the height of the floods, but also by systemic problems specific to the Russian Federation. The article provides recommendations on reduction of the flood risks.

Key words: floods, flood damage, rain floods, maximum runoff, runoff factors, flood transformation, runoff formation model, flooding model.

About the authors:

Andrei V. Shalikovskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, East Branch, ul. Aleksandro-Zavodskaya 30, Chita, 672039, Russia; Professor, Transbaikalian State University, Chair of Water Sector, Environmental and Industrial Safety, ul. Aleksandro-Zavodskaya 30, Chita, 672039, Russia; e-mail: vostokniivh@mail.ru

Anatoliy P. Lepikhin, Doctor of Geography, Professor, Director, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (RosNIIVKh) Kama Branch, ul. Nikolaya Ostrovskogo, 113, Perm, 614002, Russia; Head, Russian Academy of Sciences

Ural Branch Institute of Mining Laboratory of Problems of the Mainland Hydrology, ul. Sibirskaya, 78A, Perm, 614007, Russia; Perm State National Research University Chair of Hydrology and Water Resources Protection, ul. Bukireva, 15, Perm, 614990, Russia; e-mail: lepikhin49@mail.ru

Aleksey A. Tiunov, Leading Programming Engineer, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (RosNIIVKh) Kama Branch, ul. Nikolaya Ostrovskogo, 113, Perm 614002, Russia; Engineer, Russian Academy of Sciences Ural Branch Institute of Mining Laboratory of Problems of the Mainland Hydrology, ul. Sibirskaya, 78A, Perm, 614007, Russia; e-mail: alexey.tiunov@gmail.com

Konstantin A. Kurganovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, East Branch, ul. Aleksandro-Zavodskaya 30, Chita, 672039, Russia; Chief, Transbaikal State University, Chair of Water Sector, Environmental and Industrial Safety, ul. Aleksandro-Zavodskaya 30, Chita, 672039, Russia; e-mail: naptheodor@mail.ru

Mikhail G. Morozov, Candidate of Technical Sciences, Head, Department of Scientific/methodic Support of Water/economic Systems Operation, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, ul. Mira, 23, Ekaterinburg, 620049, Russia; e-mail: mg_frost@mail.ru

For citation: *Shalikovskiy A.V., Lepikhin A.P., Tiunov A.A., Kurganovich K.A., Morozov M.G. The 2019 Floods in Irkutsk Region // Water Sector of Russia. 2019. No. 6. P. 48–65.*

REFERENCES

1. Ushcherb ot navodneniy v Irkutskoy oblasti predvaritel'no otsenili v 35 mlrd rubley [Tentative estimation of the flood-caused damage in Irkutsk Oblast: 35 billion rubles] // INTERFAKS. 22.08.2019. URL: <https://realty.interfax.ru/ru/news/articles/108937/> (data obrashcheniya: 28.08.2019).
2. R-ArcticNET (A Regional, Electronic, Hydrographic Data Network for the Arctic Region) // Water Systems Analysis Group. URL: <http://www.r-arcticnet.sr.unh.edu/v4.0/index.html> (data obrashcheniya: 26.07.2019).
3. Xu H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // International Journal of Remote Sensing. 2006. №27. P. 3025–3033.
4. Reference Manual «RiverFlow2D Two-Dimensional River Dynamics Model», August, 2016, Hydronia LLC URL: <http://www.hydronia.com> (data obrashcheniya: 24.05.2018).
5. SRTM 90m DEM Digital Elevation Database URL: <http://srtm.csi.cgiar.org> (data obrashcheniya: 03.07.2019).
6. Pavodok v Irkutskoj oblasti pobil rekordy za ves' period nablyudeny [The flood in Irkutsk Oblast has broken a record for the whole period of observations] // RIA Novosti. 08.07.2019. URL: <https://ria.ru/20190708/1556299303.html> (data obrashcheniya: 09.07.2019).
7. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R. et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. Vol. 342. № 6160. P. 850–853. Data available on-line from: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>.
8. Izmeneniya urovnej vodohranilishch GES [The hydro-power station reservoirs' level changes] // RusGidro. URL: <http://www.rushydro.ru/hydrology/informer> (data obrashcheniya: 05.09.2019).
9. Taratunin A.A. Navodneniya na territoriyi Rossiyskoy Federatsiyi [Floods on the territory of the Russian Federation] / pod red. N.I. Koronkevicha. Ekaterinburg: Izd-vo FGUP RosNIIVH. 2008. 432 p.

10. *Shalikovskiy A.V., Kurganovich K.A.* Upravlenie riskom navodneniy v mire i v Rossiyskoy Federatsii [Flood risk management in the world and in the Russian Federation] // Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta. 2012. № 5. P. 21-31.
11. *Zaykov B. D.* Vysokie polovod'ya i pavodki na rekah SSSR za istoricheskoe vremya [High-water periods and floods on the rivers of the USSR over the historical period]. L.: Gidrometeoizdat, 1954. 134 p.
12. Materialy dlya opisaniya russkikh rek i istorii uluchsheniya ikh sudokhodnykh usloviy [Materials for description of Russian rivers and history of their navigation facilities improvement]. Vyp. 40: Svedeniya o mostah na vodnyh putyakh Rossijskoj Imperii. SPb., 1913. 364 p.
13. *Gladkevich G.I., Terskiy P.N., Frolova N.L.* Otsenka opasnosti navodneniy na territorii Rossiyskoy Federatsii [Estimation of the flood hazards on the territory of the Russian Federation] // Vodnoe hozyajstvo Rossii. 2012. № 2. P. 29-46.
14. *Frolova, N.L., Kireeva, M.B., Magrickiy, D.V. et al.* Hydrological hazards in Russia: origin, classification, changes and risk assessment // Natural Hazards. 2017. Vol. 88. № S1. P. 103-131.
15. Geograficheskie zakonomernosti gidrologicheskikh processov yuga Vostochnoj Sibiri [Geographical regularities of hydrological processes in the South of Eastern Siberia] / A.N. Antipov, N.V. Abasov, T.V. Berezhnykh i dr. - Irkutsk: Izdatel'stvo Instituta geografii SO RAN, 2003. 208 p.
16. *Kichigina N.V.* Opasnost' navodnenij na rekah Baikal'skogo regiona [Flood hazard on the rivers of the Baikal Region] // Geografiya i prirodnye resursy. 2018. № 2. P. 41-51.
17. *Shalikovskiy A., Kurganovich K.A.* Flood hazard and risk assessment in Russia // Natural Hazards. 2017. Vol. 88. P. 133-147.
18. *Shalikovskiy A.V.* Risk navodnenij: metody ocenki i kartografirovaniya [Flood risks: methods of estimation and mapping] // Vodnoe hozyajstvo Rossii. 2012. № 2. P. 68-78.