

Наводнения Сибири: географический и статистический анализ за период климатических изменений*

Н. В. Кичигина

Институт географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1

Для цитирования: Кичигина, Н. В. (2021). Наводнения Сибири: географический и статистический анализ за период климатических изменений. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 66 (1), 41–60. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.103>

В Сибири наводнения занимают одно из ведущих мест среди природных стихийных бедствий. Опасность наводнений изменяется в пространстве и во времени под влиянием природных и антропогенных факторов. Целью работы было изучение современного состояния проблем, связанных с опасностью наводнений. Для этого был проведен географический и статистический анализ наводнений за период климатических изменений (1985–2019 гг.), который включал: анализ генезиса, повторяемости и силы воздействия наводнений; анализ населенных пунктов, подверженных наводнениям; анализ заторов и зажоров как специфического природного фактора, вызывающего наводнения в Сибири; генетический и статистический анализ максимального стока как одного из основных показателей наводнения; определение районов с разной степенью опасности наводнения с использованием многоуровневого картографирования. Периодически в Сибири затапливаются более 1400 населенных пунктов. Большинство из них сосредоточено в южных, наиболее развитых территориях в бассейнах рр. Обь, Томь и Енисей, меньше всего — в бассейнах северных рек. Паводочные, смешанные (от наложения дождей на снеготаяние) и заторные наводнения являются наиболее опасными. Они имеют самые высокие повторяемость и силу воздействия. Были определены территории с наибольшей опасностью наводнений. Самая высокая опасность наводнений характерна для наиболее населенных и экономически развитых регионов юга Сибири. Для одного из них, Байкальского региона, определена опасность наводнений для всех административных районов. Карты регионов Сибири по опасности наводнений могут быть основой при разработке стратегии адаптации к наводнениям с учетом региональных особенностей.

Ключевые слова: Сибирь, опасность наводнений, повторяемость, сила воздействия, максимальный расход воды, половодья, паводки, заторы.

1. Введение

Сибирь занимает значительную территорию и относится к важнейшему макрорегиону России. В гидрографическом отношении она охватывает реки азиатской части бассейна Северного Ледовитого океана — бассейны рр. Обь, Енисей (с оз. Байкал и р. Селенгой) и Лены и северных рек Пясины, Хатанги, Анабара, Оленека, Яны, Индигирки, Колымы, а также верховья Амура. Наводнения здесь относятся

* Исследование выполнено в рамках государственного задания ИГ СО РАН им. В. Б. Сочавы (номер госрегистрации темы АААА-А17-117041910172-4).

к числу ведущих стихийных бедствий. Их воздействию подвержены десятки городов, около двух тысяч других населенных пунктов, с населением в несколько миллионов человек, а также обширные площади сельскохозяйственных земель и крупные промышленные центры (Разумов и др., 2015).

Отмечающееся в последние годы в мире увеличение количества экстремальных наводнений связывают с климатическими изменениями (Семенов и Коршунов, 2006; Kundzewicz et al., 2007; 2008; 2014; Shiklomanov et al., 2007; Bates et al., 2008; Davydova, 2019), а также антропогенными преобразованиями окружающей среды (Bouwer et al., 2007; Bradshaw et al., 2007; Bouwer, 2011; Kundzewicz et al., 2014). В Сибири современный период, начиная с 1970–1980-х гг., также характеризуется выраженными климатическими изменениями (Второй..., 2014; Георгиевский и др., 2019).

В XXI веке в Сибири произошел целый ряд масштабных наводнений. В 2001 г. катастрофические наводнения случились в апреле-мае (половодное в Тюменской, Кемеровской, Иркутской областях, Красноярском крае, Горно-Алтайском, Эвенкийском автономных округах, в Республике Тыве), в мае (заторное в г. Ленске), в июле (паводочное в Иркутской области и Республике Бурятия). Катастрофические паводья и заторы льда в Алтайском крае, Республике Алтай, Кемеровской и Томской областях наблюдались также в апреле-мае 2004 г. и в марте 2018 г., а катастрофический паводок на территории республик Алтай, Тыва, Хакасия и Алтайского края — в июне 2014 г. (Фалеев и др., 2014). В результате разрушительных паводков в июне-июле 2019 г., которые прошли на левых притоках р. Ангары — Ии, Уде, Оке, Бирюсе, — пострадали 8 районов Иркутской области, погибли 26 человек, затоплено более 100 населенных пунктов. Основной удар стихии с тяжелейшими последствиями пришелся на г. Тулун (interfax-russia.ru, n. d.).

Цель работы заключалась в географическом и статистическом анализе опасности наводнений на реках Сибири за период современных климатических изменений. Под опасностью понимается ситуация, когда при определенных условиях возможно возникновение факторов, способных привести к негативным изменениям в состоянии здоровья населения и состоянии окружающей среды. Опасность наводнений подвержена пространственно-временным изменениям под влиянием как природных факторов — колебаний водности и режима речного стока, происходящих на фоне климатических и антропогенных изменений, так и социально-экономических — изменений величины ущерба, его генетической и отраслевой структур в ходе развития подверженных наводнениям территорий. В рамках исследования был проведен географический и статистический анализ показателей наводнений за период климатических изменений в следующих аспектах:

- анализ генезиса, повторяемости, силы воздействия наводнений за период 1985–2019 гг.;
- анализ пространственного распространения населенных пунктов, подверженных наводнениям;
- генетический и статистический анализ максимального стока как одного из основных показателей наводнения;
- анализ заторов и зажоров как специфического природного фактора, вызывающего наводнения в Сибири;
- определение районов с разной степенью опасности наводнения с использованием многоуровневого картографирования.

2. Материалы и методы исследования

Основными характеристиками опасности наводнений являются их генезис, повторяемость, сила воздействия и ущерб. Анализ характеристик опасности наводнений проведен с использованием данных архива (dartmouth.edu, n. d.) за период выраженных климатических изменений — 1985–2019 гг. В архив (dartmouth.edu, n. d.) попадают характеристики крупных наводнений, которые наносят значительный ущерб объектам экономики и сельскому хозяйству, имеют достаточно редкую повторяемость, и (или) ведут к гибели людей. В архиве представлена систематизированная информация по срокам, основной причине, величине, продолжительности, количеству жертв и эвакуированных, масштабах затопления и частично — материальных ущербах, полученная из новостей и правительственных источников. Под масштабом затопления понимается площадь территории, на которую повлияло наводнение, а не фактическая площадь затопления. Также в исследовании использованы данные ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (Единый государственный фонд (meteo.ru, n. d.)) по опасным гидрологическим явлениям (ОГЯ) — половодьям, паводкам, заторам, зажорам и др., нанесшим материальный ущерб на территории РФ за последние 29 лет (1991–2019 гг.).

В практическом плане характеристики максимального стока являются основным показателем наводнения. Была проведена оценка однородности рядов максимальных расходов воды на основе генетического и статистического анализов. Генетический анализ однородности рядов заключался в изучении экстремумов разного генезиса (снегового и дождевого) по следующим признакам: величине абсолютных значений максимальных расходов (максимумов из максимумов), при которых в первую очередь и происходит формирование наводнений; количеству максимумов в ряду годовых максимальных расходов; местоположению в ранжированном ряду годовых максимальных расходов.

Генетически однородные ряды максимальных расходов половодий и паводков были проверены на возможную статистическую неоднородность, привносимую климатическими изменениями. Для этого выполнена оценка однородности рядов по критерию Стьюдента (для средних значений) — *t-критерию*. Она заключалась в сравнении расчетного значения *t-критерия* для двух временных периодов: с начала наблюдений до 1979 г. и с 1980 г. по настоящее время, с их критическими значениями при заданном уровне значимости (уровень значимости $p < 0.05$) и объеме выборки. Если расчетное значение *t-критерия* было больше критического значения при заданном уровне значимости, то гипотеза об однородности частей ряда отклонялась и ряд признавался неоднородным. Уровень значимости задавался равным 5%, что соответствует принятию нулевой гипотезы об однородности временного ряда с вероятностью 95%. Также использовался подход на основе вычисления *p*-значения. Если *p*-значение меньше, чем заданный уровень значимости, то нулевая гипотеза отвергалась. Для анализа характеристик максимального стока на гидропостах за период наблюдений до 2017 г. использовались данные Росгидромета, в том числе из следующих источников: (gmvo.skniivh.ru, n. d.; gis.vodinfo.ru, n. d.; r-arcticnet.sr.unh.edu, n. d.).

На основе регионального анализа с использованием многоуровневого картографирования по субъектам РФ и по речным бассейнам выявлены районы Сибири

с разной степенью опасности наводнений. При районировании применялся методологический подход, предложенный и реализованный для территории Восточной Сибири (Korytny and Kichigina, 2006; Кичигина, 2018; Мироненко и др., 2018). Опасность наводнения может быть ранжирована в соответствии с классами, определяющими ее количественную меру. Интегральная опасность определяется различным сочетанием рассмотренных выше характеристик (генезиса, повторяемости, силы воздействия и т. д.). Выделяется пять классов опасности: малая, средняя, значительная, высокая и очень высокая (классы I–V). Также были учтены преобладающие гидроклиматические и морфологические особенности речных долин и характеристики их социально-экономического развития (расположение промышленных и транспортных объектов, численность населения и количество затопливаемых населенных пунктов).

Были использованы ГИС-технологии (MapInfo Pro, ArcView), глобальная топографическая модель рельефа (GTOPO30) GMTED2010 Геологической службы США (USGS), тематические карты (geoportal.rgo.ru, n. d.), а также цифровые системы и пространственные базы данных (Экологический атлас..., 2017). Создан ГИС-проект по опасности наводнений Сибири, включающий электронные базы и слои карт с затопливаемыми населенными пунктами (skiovo.enbv.ru, n. d.), слои заторов и зажоров (Каталог..., 1976).

3. Результаты для обсуждения

3.1. Опасность наводнений в период изменений климата (1985–2019 гг.)

Наиболее характерными для Сибири являются наводнения во время весенних (весенне-летних) половодий и летних дождевых паводков (рис. 1). Спецификой является большое число наводнений, вызванных образованием заторов и зажоров. Нередко наводнения обусловлены несколькими причинами одновременно (половодьями и заторами на равнине, таянием снегов и осадками в горах). В горах и предгорьях возникают селевые паводки в результате ливней и (или) дружного снеготаяния там, где значительна крутизна склонов и присутствует легко смываемый рыхлый грунт (реки Прибайкалья, Забайкалья, Алтая, Тывы). В последние годы на северных реках появились наводнения, обусловленные потеплением климата. Например, в бассейне р. Алазеи происходит переполнение и разгрузка озера в речную сеть в результате протаивания многолетнемерзлых пород (ММП) с разрушительными затоплениями нескольких деревень. В 2007 г. в п. Аргахтах ущерб от такого наводнения составил более 12 млн рублей (skiovo.enbv.ru, n. d.). В устьевых участках рек имеют место нагоны. Существует опасность наводнений как следствий гидротехнического строительства. Наиболее значительные водохранилища расположены на реках Обь (Новосибирское), Енисей (Саяно-Шушенское, Красноярское) и Ангара (Иркутское, Братское, Усть-Илимское, Богучанское). Подъемы уровня выше нормального подпорного горизонта, например в верхних бьефах Ангарского каскада ГЭС, служат причиной затопления пониженных участков байкальского побережья. В то же время сброс через плотину дополнительных объемов воды для предотвращения затопления в верхних бьефах приводит к затоплению и подтоплению объектов в нижних бьефах, как, например, в 2006 г. на Мамакан-

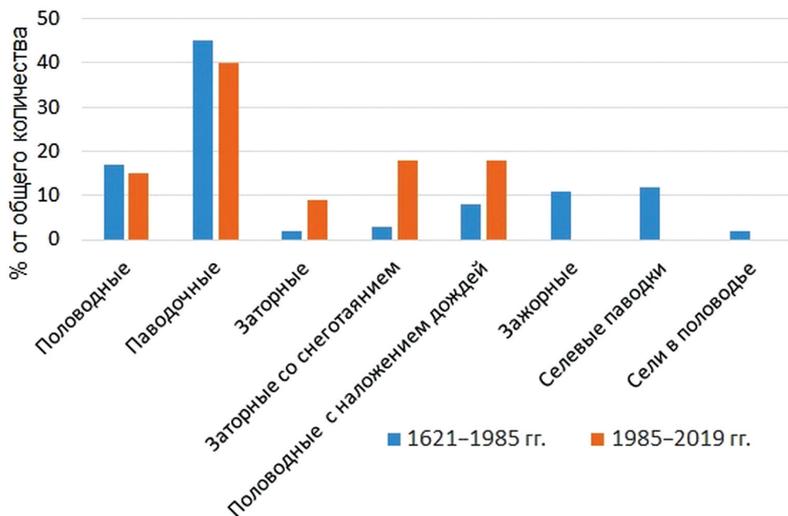


Рис. 1. Наводнения различного генезиса в Сибири за исторический период с 1621 по 1985 г. (Задонина и Леви, 2008) и за период выраженных климатических изменений 1985–2019 гг. (dartmouth.edu, n. d.)

ской ГЭС. Нередко такие затопления в нижних бьефах усугубляются тем, что ранее в условиях отсутствия регулирования использования прибрежной части было допущено строительство различных объектов в затапливаемой зоне как, например, в г. Иркутске на р. Ангаре. Особую потенциальную опасность могут представлять прорывные наводнения при повреждении гидроузлов.

Совместный обзор наводнений за исторический и современный период дает представление об изменении их опасности под влиянием климатических изменений (Brázdil and Kundzewicz, 2006; Brázdil et al., 2006). Наводнения в Сибири описаны во многих исторических документах и справочниках. Например, в (Задонина и Леви, 2008) за исторический период с 1621 г. (момент первого упоминания) по 1985 г. зафиксировано 211 случаев наводнений в Сибири. Чаще всего упоминались паводочные и половодные наводнения (рис. 1). Наиболее значительные наводнения в Сибири произошли в 1635, 1667, 1752–1756, 1853, 1865–1871, 1887, 1896, 1907, 1915–1928, 1954, 1972–1974 годах. В прошлом большинство половодных наводнений происходило в бассейнах рр. Обь и Енисей, паводочных — в бассейнах рр. Ангара, Верхний Амур и оз. Байкал. Часто упоминались селевые паводки в бассейне оз. Байкал и загорные наводнения в г. Иркутске на р. Ангаре (которые происходили почти ежегодно до создания Иркутской ГЭС в 1956 г.).

За период с 1985 по 2019 гг. большинство наводнений также были паводочного и смешанного генезиса — половодные с наложением дождей или заторы (dartmouth.edu, n. d.). Таким образом, несмотря на разнородность данных о наводнениях в прошлом и настоящем, можно отметить, что в целом сохраняется соотношение наводнений разного генезиса: больше всего здесь происходит паводочных, несколько меньше половодных и смешанных наводнений (рис. 1).

По данным архива (dartmouth.edu, n. d.) всего за последние 35 лет на реках Сибири произошло 45 крупных наводнений. Наибольшая повторяемость была

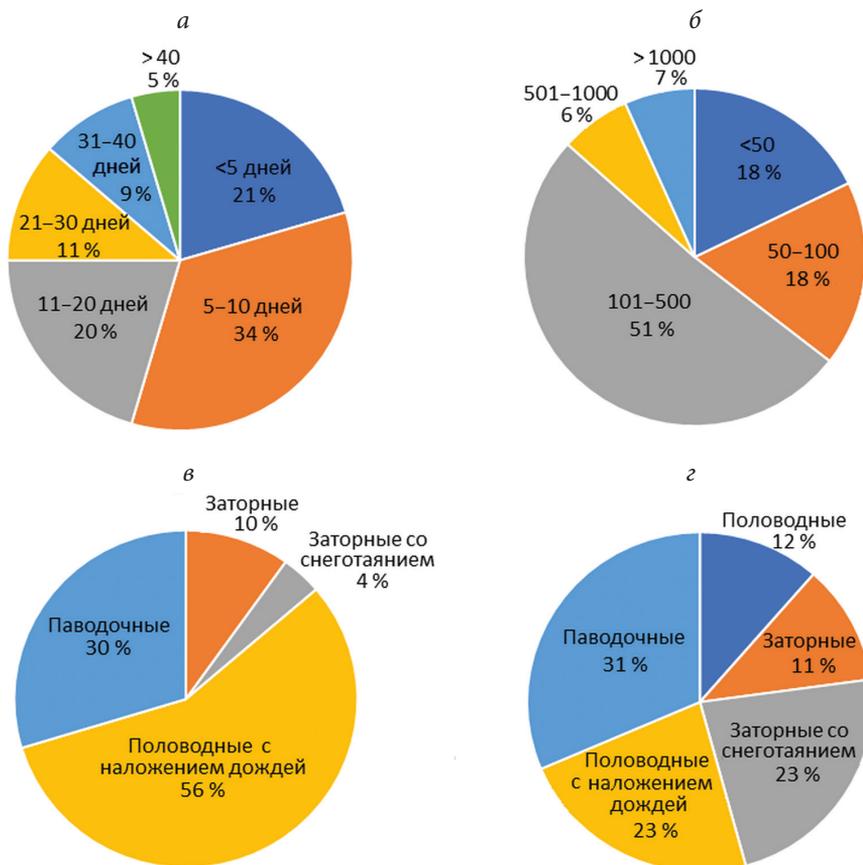


Рис. 2. Наводнения в Сибири за период 1985–2019 гг.: по продолжительности, дней (а), по масштабам подверженных территорий, тыс. км² (б), по количеству погибших (в) и эвакуированных (г)

у паводочных наводнений — в среднем один раз в 2 года, меньшая повторяемость у смешанных наводнений — один раз в 4–5 лет, на третьем месте половодные наводнения повторяемостью один раз в 5 лет и далее заторные — повторяемостью один раз в 8–9 лет.

Продолжительность наводнений варьировалась от 1 до 43 дней. Наибольшая продолжительность, до 30–40 дней и более, наблюдается у половодных и смешанных наводнений. Эти же наводнения характеризуются наибольшим охватом территорий — 0,5–1 млн км² и более. Самое масштабное из них произошло в мае 2001 г., когда были затоплены земли в бассейнах рр. Обь, Енисей, Ангара и Лена на площади около 3 млн км². Продолжительность паводочных наводнений в основном не превышала 10 дней, заторных — 20. Дождевыми паводками были охвачены меньшие территории — до 500 тыс. км² (рис. 2, а, б).

Наибольшее количество наводнений происходило в бассейнах рр. Обь, Лена и Енисей, в 13 случаях были человеческие жертвы, в 35 потребовалась эвакуация людей. Большинство эвакуаций происходило во время паводочных и смешанных наводнений. В шести наводнениях (четыре из которых были паводочными) с максимальным материальным ущербом было эвакуировано более 10 тыс. человек.

Таблица 1. Опасные гидрологические явления, нанесшие материальный ущерб экономике субъектов РФ на территории Сибири за 1991–2019 гг.

| Субъект РФ | Крупные речные бассейны | Половодье | Паводок | Затор | Зажор | Наледь | Сель |
|--------------------------|--|-----------|---------|-------|-------|--------|------|
| Алтайский край | р. Обь | 51 | 24 | 11 | 1 | | 1 |
| Красноярский край | р. Енисей (рр. Ангара, Подкаменная и Нижняя Тунгуска), рр. Хатанга, Пясина | 26 | 9 | 30 | 3 | | |
| Республика Алтай | р. Обь | 10 | 14 | 1 | 1 | | 1 |
| Республика Хакасия | рр. Енисей, Томь (р. Обь) | 3 | 2 | 3 | 1 | | |
| Амурская область | р. Олекма (р. Лена) | 2 | 2 | 1 | | | |
| Забайкальский край | оз. Байкал, рр. Олекма, Витим (р. Лена), Шилка, Ингода (р. Амур) | 1 | 20 | 2 | | 2 | 1 |
| Иркутская область | рр. Ангара (р. Енисей), Лена, оз. Байкал | 4 | 9 | 6 | | | |
| Кемеровская область | р. Томь (р. Обь) | 29 | 10 | 6 | | | |
| Новосибирская область | р. Обь | 23 | 3 | 8 | | | |
| Омская область | р. Иртыш (р. Обь) | 8 | | 1 | | | |
| Республика Саха (Якутия) | рр. Лена, Колыма, Яна, Алазея, Индигирка, Оленек, Анабар | 27 | 11 | 19 | | | |
| Томская область | р. Томь (р. Обь) | 37 | 4 | 4 | | | |
| Тюменская область | рр. Тобол, Обь | 14 | 2 | 1 | | | |
| Республика Бурятия | р. Селенга (оз. Байкал) | | 9 | | | 1 | 2 |
| Курганская область | рр. Тобол, Обь | 16 | 3 | | | | |
| Магаданская область | р. Колыма | 4 | 4 | | | | |
| Республика Тыва | р. Енисей | 5 | 5 | | | | |
| Ханты-Мансийский АО | р. Обь | 7 | | | | | |
| Ямало-Ненецкий АО | рр. Обь, Таз, Пур | 3 | | | | | |

За период с 1985–2019 гг. наводнения в Сибири привели к гибели 182 человек. Наибольшее число жертв было во время половодных с наложением дождей и паводочных наводнений — 103 и 54 человека соответственно, от заторных погибли 18 и от половодных с заторами — 7 человек. Не было жертв только от половодных наводнений (рис. 2, в, г).

За последние 29 лет (1991–2019 гг.) в субъектах РФ на территории Сибири произошло 508 ОГЯ, нанесших материальный ущерб. В том числе 270 половодий, 131 паводок и 93 затора (табл. 1). Средняя продолжительность половодий была 11 дней, максимальная — 74, паводков — 6 и 27 дней, заторов — 3 и 17 дней,

зажоров — 15 и 46 дней соответственно. Заблаговременность прогноза половодья варьировала от 2 ч до 15 суток, паводков — от 2 ч до 5 суток, заторов — от 2 ч до 120 суток, зажоров — от 1 до 18 суток.

Больше всего половодий происходило в Алтайском крае, Томской, Кемеровской, Новосибирской областях в бассейне р. Оби, несколько меньше — в Красноярском крае в бассейне р. Енисей и в Республике Саха (Якутия) в бассейне р. Лены. Больше всего паводочных наводнений отмечено в Алтайском крае и Республике Алтай в бассейне верхней Оби на рр. Бия, Катунь, Томь, Чарыш, в Забайкальском крае в бассейне р. Амур на рр. Нерча, Ингода, Онон, Шилка, Аргунь и в бассейне р. Лены на р. Витим. Заторов больше всего было в Красноярском крае в бассейне р. Енисей на рр. Енисей, Ангара, Подкаменная и Нижняя Тунгуска, Кан, Кача, Чулым, Ман и др. и в Республике Саха (Якутия) на рр. Лена, Яна, Колыма.

Ущерб от наводнений зависит от уровня развития разных отраслей народного хозяйства в регионах. В целом, наибольший ущерб в Сибири наносят паводочные наводнения сельскому и коммунально-бытовому хозяйству. Паводочные наводнения наиболее опасны, поскольку они имеют самую высокую повторяемость, скорость формирования и слабую предсказуемость и могут охватывать затоплением как отдельные небольшие бассейны, так и обширные территории.

3.2. Населенные пункты Сибири, подверженные наводнениям

Согласно обобщению материалов СКИОВО (skiovo.enbv.ru, n. d.) в Сибири регулярно затапливаются более 1400 населенных пунктов. Наиболее сложная ситуация сложилась на юге, где проживает большинство населения. Так, в бассейне р. Селенги при катастрофических паводках затоплению подвергается большая часть поймы площадью более 393.7 тыс. га и около 130 населенных пунктов. Число пострадавших от наводнений может составлять более 100 тыс. человек. В бассейне р. Енисей от негативного воздействия вод рр. Туба и Кан затоплению подвержены более 60 населенных пунктов. Население в зоне затопления составляет около 10 тыс. человек. В бассейне р. Оби в зону затопления 1-процентной обеспеченности попадает 640 населенных пунктов, в том числе 41 город. Ориентировочная численность населения, проживающего на этих территориях, составляет 590.6 тыс. человек. В бассейне р. Лены почти все населенные пункты, расположенные на берегах реки, подвержены риску затопления. В общей сложности 98 населенных пунктов, подверженных наводнениям, требуют защитных мер.

Несмотря на низкую заселенность северных районов, наводнения здесь также наносят значительные ущербы. Подвержены затоплению населенные пункты в бассейнах рр. Пясины, Туз, Пур, Алазея, Индигирка и Колыма. Так, в бассейне р. Пур затапливаются пгт. Уренгой, г. Тарко-Сале и около двух тысяч населения, в бассейне р. Надым затоплению подвергаются г. Надым и пос. Старый Надым, на р. Таз — села Красноселькуп и Толька. На Енисее затоплению подвержена часть территории г. Дудинка. Крупные наводнения на р. Анабар наблюдались в с. Саскылах в 1945, 1952, 1973, 1988 и 1993 гг.

3.3. Анализ заторов и зажоров на реках Сибири

В Сибири велико число наводнений, вызванных процессами ледообразования и разрушения льда, и ущербы от них значительны. Образованию заторов способствуют разные сроки вскрытия на реках, текущих в субмеридиональном направлении и пересекающих разные климатические пояса (Оби, Енисее, Лене, Яне, Индигирке). Зажорные наводнения, образующиеся от скоплений внутриводного льда (шуги), более редки в рассматриваемом регионе. Ущерб от зажорных наводнений усугубляются тем, что вышедшая из берегов вода замерзает и остается в пойме на всю зиму. На заторно-зажорных участках зажоры нередко являются очагами образования заторов вследствие повышенной толщины и прочности льда.

Характерной чертой территории является повсеместное распространение наледей речных вод в результате промерзания их русел. Поступающая при этом с вышерасположенных участков вода через трещины изливается на поверхность льда и замерзает; образуются ледяные бугры пучения. Они препятствуют прохождению весенних талых вод, а также могут разрушаться, приводя к затоплению прилегающих территорий. Наводнения от наледей являются особенностью малых рек Сибири. Например, в бассейне оз. Байкал г. Слюдянка и п. Култук наиболее подвержены наводнениям, вызванным наледями. Частота образования наледей здесь достигает 80–100 %.

Особенностью зимних наводнений является тот факт, что они, как правило, охватывают одни и те же реки или постоянные участки рек, повторяются примерно в одни и те же сроки. Поэтому зимние наводнения более эффективно прогнозируемы. Всего на реках Сибири насчитывается 507 заторных участков, на 97 из них (19 % от общего количества) наблюдались наводнения; 44 зажорных участка, на 3 из них (или 7 % от общего количества) наблюдались наводнения и 219 заторно-зажорных участков, из них на 50 (23 %) наблюдались наводнения (Каталог..., 1976). Больше всего заторных участков в бассейнах рр. Обь, Енисей, Лена, Ангара и Колыма, заторно-зажорных — в бассейнах рр. Обь, Енисей и Лена. Зажорных участков значительно меньше и встречаются они, в основном, в бассейнах рр. Обь, Ангара и Енисей (рис. 3).

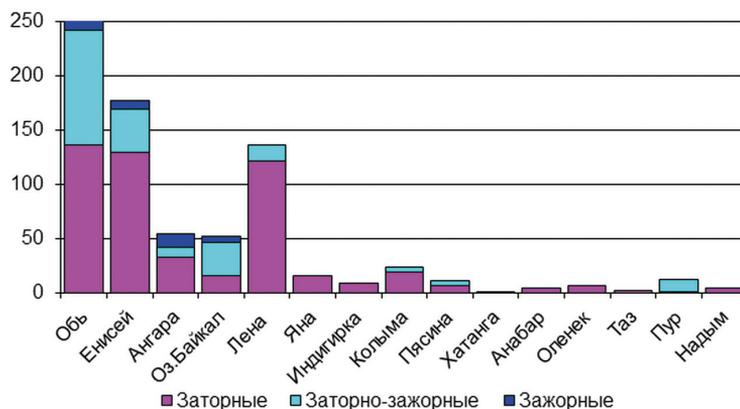


Рис. 3. Количество заторных, заторно-зажорных и зажорных участков в бассейнах крупных рек Сибири (Каталог..., 1976)

3.4. Генетический и статистический анализ однородности рядов максимальных расходов воды

Характеристики максимального стока являются основным показателем наводнений. Происходящие климатические изменения, а также хозяйственная деятельность на водосборах привносит неоднородность в многолетние ряды максимального стока.

Всего в анализе использованы сведения по 45 постам на реках Сибири. Посты выбирались таким образом, чтобы охватить равномерно все крупные речные бассейны, а также бассейны северных рек (табл. 2). Для каждого поста рассматривались ряды максимальных расходов половодий и паводков за доступный период на-

Таблица 2. Анализ экстремумов рядов максимальных расходов воды рек Сибири

| Бассейны | Постов | | | Суммарное количество лет | | | Значения максимумов расходов воды, м ³ /с | | | | Преобладающий генезис максимумов |
|--------------------------------------|--------|--|------|--------------------------|---------------------------|------|--|-----------|--------------------|------|----------------------------------|
| | всего | с первым в ранж. ряду годовых максимумов | | наблюдений | в ряду годовых максимумов | | диапазон абсолютных максимумов | | среднее в бассейне | | |
| | | пол. | пав. | | пол. | пав. | пол. | пав. | пол. | пав. | |
| р. Обь | 5 | 4 | 1 | 283 | 268 | 15 | 4450–242 | 2450–161 | 571 | 283 | половодья |
| р. Енисей | 6 | 4 | 2 | 373 | 345 | 28 | 6620–864 | 5290–396 | 1658 | 556 | половодья |
| р. Лена | 9 | 4 | 5 | 601 | 325 | 276 | 11 900–236 | 9600–183 | 1482 | 1107 | половодья, паводки |
| р. Ангара | 8 | 3 | 5 | 419 | 224 | 195 | 789–43.8 | 4040–41.1 | 137 | 304 | паводки, половодья |
| оз. Байкал | 10 | 1 | 9 | 663 | 166 | 497 | 1820–55.6 | 1960–140 | 230 | 315 | паводки, половодья |
| Бассейны северных рек | | | | | | | | | | | |
| р. Пур (р. Пяку-Пур — п. Тарко-Сале) | 1 | 1 | нет | 54 | 54 | 0 | 3020 | 1300 | 1995 | 450 | половодья |
| р. Анабар — с. Сыскылах | 1 | 1 | нет | 10 | 10 | 0 | 13 200 | 2670 | 8417 | 1702 | половодья |
| р. Оленек — п. Оленек | 1 | 1 | нет | 10 | 9 | 1 | 12 600 | 5500 | 7887 | 3436 | половодья |
| р. Яна — г. Верхоянск | 1 | 1 | нет | 62 | 19 | 43 | 2780 | 2660 | 1252 | 1513 | половодья, паводки |
| р. Индигирка — гм. ст. Юрты | 1 | нет | 1 | 10 | 2 | 8 | 2460 | 3450 | 1491 | 1987 | паводки, половодья |
| р. Колыма | 2 | 1 | 1 | 81 | 54 | 27 | 5840–2800 | 5070–4130 | 1451 | 1240 | паводки, половодья |

блюдений до 2017 г. Генетический анализ показал, что на левых притоках р. Ангары и на притоках оз. Байкал, стекающих с хр. Хамар-Дабана, ряды годовых максимальных расходов в основном состоят из паводочных максимумов. Для левых притоков среднего и нижнего течений р. Ангары, а также для ее правых притоков выявлено преобладание максимумов половодья в ряду годовых максимумов. На реках Западного Забайкалья значительна роль как половодья, так и паводков в формировании максимального годового стока, при этом почти все абсолютные максимумы имеют паводочное происхождение (табл. 2). В бассейне р. Енисей преобладают максимумы половодья, при этом в его верхнем течении роль паводочных максимумов также значительна. В бассейне верхней и средней Лены вклад половодных и паводочных максимумов в ряду годовых максимальных расходов одинаково значителен с увеличением роли максимумов половодья вниз по течению. В бассейне р. Оби преобладают половодные максимумы. В бассейнах рек северо-востока (Колымы, Индигирки, Яны) значительна роль как половодных, так и паводочных максимумов, а в бассейнах северных рек (Анабара, Оленека, Пура) преобладают половодные максимумы.

Ряды максимальных расходов половодий и паводков были проверены на возможную статистическую неоднородность, привносимую климатическими изменениями. Сравнение расчетного значения *t*-критерия для двух временных периодов: с начала наблюдений до 1979 г. и с 1980 г. по настоящее время, а также анализ *p*-значения были проведены для 87 рядов максимального стока (42 половодных и 45 паводочных рядов). Из них неоднородными оказались 10 рядов (11.5%), 8 рядов — максимальных расходов половодья и 2 ряда — максимальных расходов паводков (табл. 3). Все ряды изменились в сторону уменьшения стока за исключением

Таблица 3. Статистически неоднородные ряды максимальных стока рек Сибири

| № | Река — пункт | Ряд | Число лет | Средняя разница | Значение <i>t</i> -критерия | | <i>p</i> |
|----|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------------------|----------------------------|----------|
| | | | | | расчетное | критическое при $p = 0.05$ | |
| 1 | р. Чулым — пгт. Балахта | половодий | 18 | 101.6 | 2.728 | 2.11 | 0.014 |
| 2 | р. Икса — с. Плотниково | паводков | 14 | -22.9 | -4.399 | 2.160 | 0.001 |
| 3 | р. Большой Пит — база Брянка | половодий | 29 | 289.5 | 2.328 | 2.048 | 0.027 |
| 4 | р. Нижняя Тунгуска — с. Ербогачен | половодий | 27 | 754.8 | 2.061 | 2.056 | 0.049 |
| 5 | р. Куда — с. Грановщина | половодий | 35 | 25.9 | 2.854 | 2.032 | 0.007 |
| 6 | р. Ида — с. Морозово | половодий | 23 | 17.6 | 2.265 | 2.074 | 0.034 |
| 7 | р. Иркут — с. Монды | паводков | 23 | 33.8 | 2.299 | 2.074 | 0.031 |
| 8 | р. Анга — с. Еланцы | половодий | 20 | 8.9 | 2.456 | 2.093 | 0.024 |
| 9 | р. Снежная — ст. Выдрино | половодий | 34 | 81.3 | 3.318 | 2.035 | 0.002 |
| 10 | р. Хара-Мурин — ст. Мурино | половодий | 37 | 24.2 | 2.565 | 2.028 | 0.015 |

ряда паводочных максимумов на р. Иксе — с. Плотниково в бассейне р. Оби. Большинство неоднородных рядов находятся в бассейне верхнего течения р. Ангары и Южного Байкала.

3.5. Выявление районов с разной степенью опасности наводнения

На основе всех характеристик с использованием многоуровневого картографирования был проведен региональный анализ Сибири по степени опасности, в ходе которого были выявлены восемь макрорегионов в бассейнах крупных рек (рис. 4, табл. 4). Самая высокая опасность наводнений — в южных

Таблица 4. Классы опасности и генезис наводнений для районов Сибири

| № | Название района | Речные бассейны | Генезис наводнений | Класс опасности |
|---|----------------------------------|--|--|---|
| 1 | Западно-Сибирский | р. Иртыш, среднее течение р. Оби | половодные смешанные (половодные с наложением дождей или заторов) | II, III III, IV |
| 2 | Верхнеобско-Верхнеенисейский | верховья рр. Обь и Енисей | половодные смешанные (половодные с наложением дождей) паводочные | II, III II, III II, III |
| 3 | Восточно-Саянско-Хамар-Дабанский | левые притоки р. Ангары и реки Южного Байкала | паводочные селевые гидротехнического регулирования и нагонные (на побережье оз. Байкал) | III, IV III, IV I |
| 4 | Забайкальский | р. Селенга, верховья р. Амур (рр. Аргунь, Шилка) | паводочные | III, IV |
| 5 | Витимо-Олекминский | рр. Витим, Олекма | паводочные заторно-зажорные половодные | I, II I, II I, II |
| 6 | Средне-Сибирский | рр. Енисей, Лена, правобережье р. Ангары, рр. Хатанга, Оленек, Анабар | заторно-зажорные смешанные (половодные с заторами) половодные паводочные протаивание ММП | III, IV III, IV I, II II, III I, II |
| 7 | Северо-Восточный | рр. Яна, Индигирка, Колыма | паводочные половодные заторно-зажорные протаивание ММП | II, III I, II I, II I, II |
| 8 | Северо-Сибирский | устьевые области рр. Обь, Енисей, Лена, Пур, Таз, Анабар, Яна, Индигирка, Колыма и др. | половодные нагонные и приливные | I, II I, II |

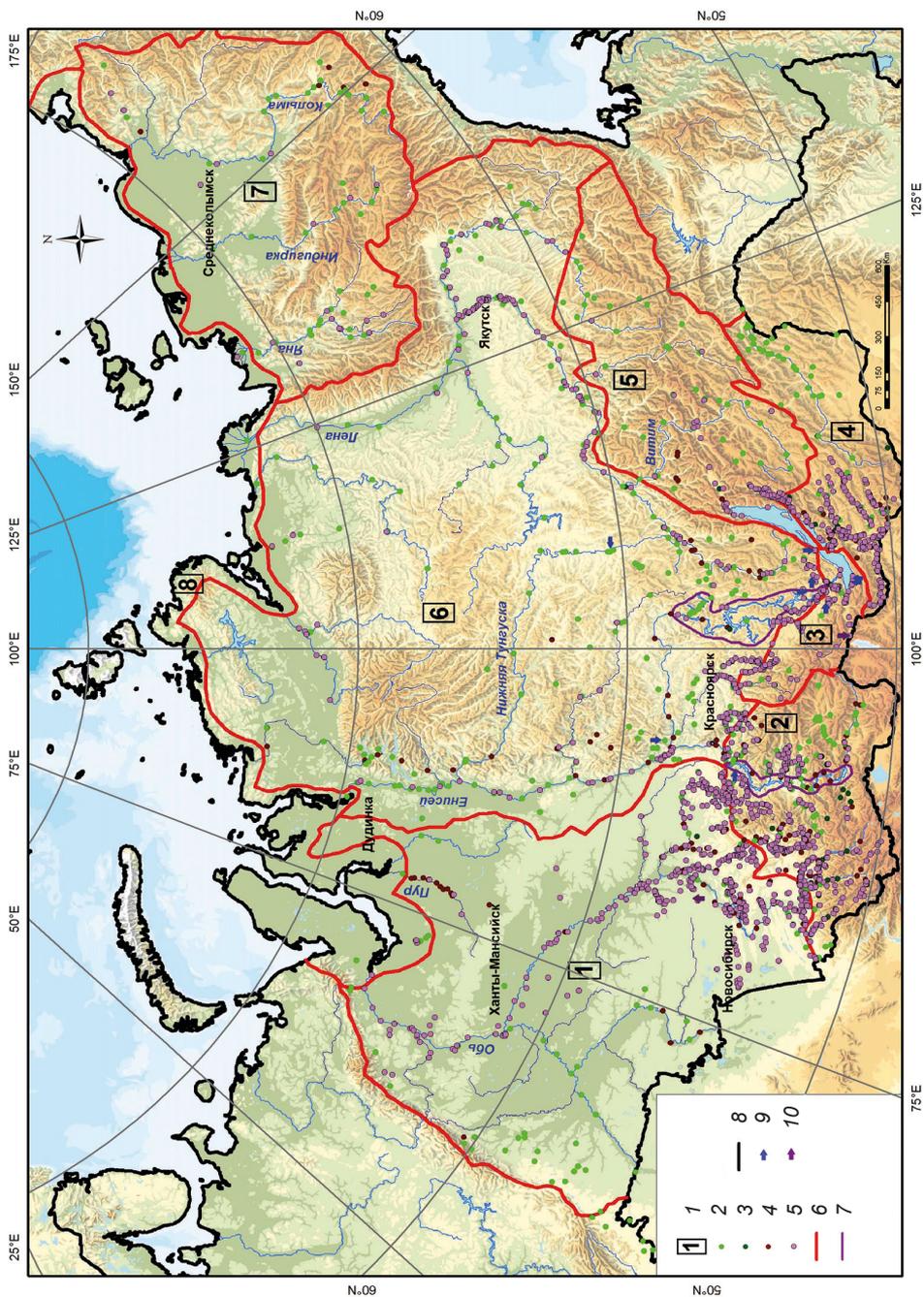


Рис. 4. Районы Сибири по степени опасности наводнения: 1 — номера районов наводнения; 2 — заторы, 3 — загоры, 4 — заторы и загоры, 5 — периодически затопляемые населенные пункты; границы: 6 — районов, 7 — участков гидротехнического регулирования, 8 — государственная; гидросты с неоднородными рядами максимального стока: 9 — половодья, 10 — паводков (Kishigina, 2020)

(районы 2, 3, 4, где преобладают дождевые паводки классов опасности III и IV) и в центральных (районы 1, 6, где преобладают половодные или смешанные наводнения) наиболее густонаселенных районах Сибири. Самая низкая опасность наводнений — на севере (районы 7, 8), где ущерб из-за крайне слабой заселенности невелик. Там преобладают паводочные, реже половодные и заторные наводнения.

В дополнение к районам, указанным выше, выделены участки гидротехнического регулирования. Они включают берега водохранилищ с небольшими притоками, которые затапливаются при подъемах уровней выше нормального подпорного горизонта, участки затопления в нижних бьефах при избыточных сбросах через плотины классов I или II, а также зоны потенциального затопления в случае разрушения плотин с классом опасности V.

С практической точки зрения при принятии управленческих решений важно определить опасность наводнений для конкретных административно-территориальных единиц (районов и поселений). Например, в работе (Кичигина, 2018), выполненной для Байкальского региона, показано, что очень высокая опасность наводнений характерна для наиболее развитых агломераций Иркутской области, Республики Бурятия и Забайкальского края, где расположено наибольшее количество населенных пунктов, в том числе города Тулун, Нижнеудинск, Иркутск, Зима, Ангарск, Улан-Удэ, Чита, Шилка, Нерчинск и Сретенск. Наибольшую опасность представляют дождевые паводки, хотя существует также вероятность наводнений смешанного происхождения (половодных с наложением заторов или дождей). Высокая опасность наводнений характерна и для северных районов в бассейне р. Лены. Несмотря на относительно низкую плотность населения, большинство населенных пунктов там расположены на берегах рек и страдают от наводнений.

Определена опасность наводнений для муниципальных районов и населенных пунктов Иркутской области на территории, наиболее пострадавшей во время катастрофического паводка в июне 2019 г. в бассейнах левых притоков р. Ангары (рис. 5). Наибольшая опасность в самых населенных и хозяйственно освоенных предгорных территориях в среднем и нижнем течении по берегам рек, берущих начало в горах Восточного Саяна: Бирюсы, Уды, Оки, Ии, Белой, Китоя, Иркуты. Основная причина наводнений — дождевые и смешанные (с наложением дождей на снеготаяние в горах) паводки. В 2019 г. во время дождевых паводков здесь было затоплено около 160 населенных пунктов, в том числе 27 в Тулунском районе. Высокая опасность наводнений в Нижнеудинском, Тайшетском, Усольском, Шелеховском и Зиминском районах и в городах Нижнеудинск, Тулун, Иркутск, Зима, Ангарск, Шелехов.

4. Заключение

Выполненный географический и статистический анализ опасности наводнений на реках Сибири за период современных климатических изменений показал, что как в прошлые столетия, так и сейчас на фоне климатических изменений паводочные и смешанные наводнения (от снеготаяния и заторов на равнине, снеготаяния и дождей в горах) наиболее широко распространены на территории Сибири. Проверка рядов максимальных расходов половодий и паводков на возможную статистическую неоднородность, привносимую климатическими изменениями,

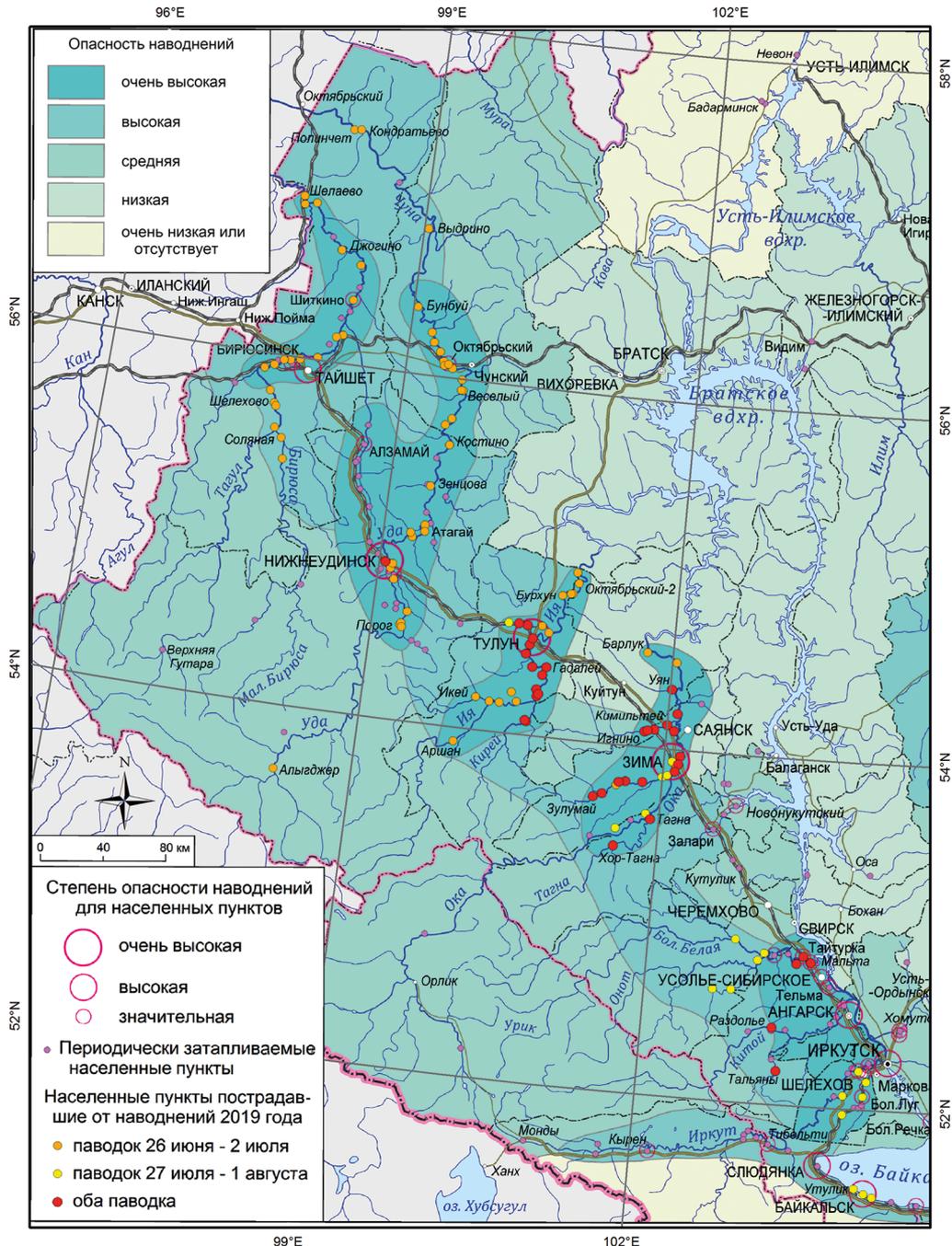


Рис. 5. Опасность наводнений в бассейнах левых притоков р. Ангары (Кичигина, 2020)

показала, что в целом количество неоднородных рядов не велико. Используемые статистические методы предварительно не дали однозначного подтверждения влияния климатических изменений на величину максимального стока. Однако

в дальнейшем необходима более детальная проработка этого вопроса с устранением пропусков в рядах данных и привлечением расширенного пакета статистических методов.

Опасность наводнений изменяется от региона к региону и зависит от уровня экономического развития и плотности населения. Наибольшей опасностью наводнений в Сибири характеризуются территории Красноярского и Забайкальского краев, Иркутской области, республик Алтай, Хакасия, Тыва, а также Кемеровской и Тюменской областей.

В период изменений климата (1985–2019 гг.) паводочные наводнения и наводнения от наложения дождей на снеготаяние в Сибири являлись наиболее опасными, поскольку они имели наибольшую повторяемость, число погибших и эвакуированных, наносили наибольший ущерб.

В настоящее время наибольшая опасность паводочных наводнений характерна для хорошо освоенных и населенных предгорных территорий Западного и Восточного Саяна, Хамар-Дабана, в верховьях рр. Обь и Енисей и на реках Забайкалья. Они также широко распространены в бассейне р. Лены и на реках северо-востока — Яне, Индигирке, Колыме, однако здесь их опасность ниже ввиду слабой заселенности территории. Половодные наводнения происходят наиболее часто на плотно заселенных территориях в бассейне р. Оби. Больше всего заторов наблюдается в Республике Саха (Якутия) на Лене, Яне, Колыме и в Красноярском крае на Енисее, Ангаре, Подкаменной и Нижней Тунгуске и др.

В районах с высокой опасностью наводнения необходимы комплексные мероприятия по предотвращению наводнений с учетом региональных особенностей. В таких районах стратегия адаптации к наводнениям должна учитывать изменения ландшафтов, влияющих на формирование паводков, расположение и защищенность людей и имущества, а также возможные изменения в опасности наводнений из-за изменений климата. Карта районов Сибири по опасности наводнений представляет собой обобщение большого количества современных данных и может использоваться для разработки мер по борьбе с наводнениями. Одной из важнейших мер может стать страхование населения и объектов экономики, расположенных в зонах затопления. Карты опасности наводнений по административным районам обладают высокой информативностью и могут использоваться как страховыми компаниями, так другими организациями — МЧС, администрациями муниципальных образований при принятии управленческих решений.

Литература

- Второй оценочный отчет Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Раздел 1. Наблюдаемые изменения климата.* (2014). Москва: Росгидромет, 18–235.
- Георгиевский, В. Ю., Грек, Е. А., Грек, Е. Н., Лобанова, А. Г., Молчанова, Т. Г. (2019). Оценка современных изменений максимального стока рек России. *Метеорология и гидрология*, (11), 46–55.
- Задонина, Н. В., Леви, К. Г. (2008). *Хронология природных и социальных явлений в Сибири и Монголии.* Иркутск: Иркутский ун-т.
- Каталог заторных и зажорных участков СССР. Т. II.* (1976). Ленинград: Гидрометеоиздат.
- Кичигина, Н. В. (2018). Опасность наводнения на реках Байкальского региона. *География и природные ресурсы*, (2), 41–51.

- Кичигина, Н. В. (2020). Опасность паводочных наводнений в бассейнах левых притоков Ангары. *География и природные ресурсы*, (4), 45–55.
- Мироненко, А. А., Рец, Е. Л., Фролова, Н. Л. (2018). Оценка и картографирование опасности наводнений на Северном Кавказе. Обзор и сопоставление существующих подходов. *Геориск*, 12 (2), 26–36.
- Разумов, В. В., Разумова, Н. В., Пчелкин, В. И. (2015). Масштабы и опасность наводнений в Сибирском регионе России. *Науки о Земле «Наука. Инновации. Технологии»*, (4), 103–144.
- Семенов, В. А., Коршунов, А. А. (2006). Наводнения на русских реках в конце XX и начале XXI века. *Вопросы географии и геоэкологии*, (5), 6–12.
- Фалеев, М. И., Черных, Г. С., Старостин, А. С. (2014). Оценка опасностей и угроз, обусловленных катастрофическими наводнениями, и предложения по защите населения и территорий от них. *Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования*, 4 (2), 18–27.
- atlas.isc.irk.ru. (n. d.). Экологический атлас Байкальского региона. Иркутск: Институт географии СО РАН. [online] Доступно на: <http://atlas.isc.irk.ru> [Дата доступа 23.02.2021].
- Bates, B. C., et al. (2008). Climate change and water. *Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC Secretariat.
- Bouwer, L. M. (2011). Have disaster losses increased due to anthropogenic climate change? *Bulletin of the American Meteorological Society*, (92), 39–46.
- Bouwer, L. M., Crompton, R. P., Faust, E., Höpfe, P., and Pielke, R. A. Jr. (2007). Confronting disaster losses. *Science*, 318 (5851), 753.
- Bradshaw, C. J. A., et al. (2007). Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global Change Biology*, (13), 1–17.
- Brázdil, R. and Kundzewicz, Z. W. (2006). Historical hydrology — Editorial. *Hydrological Sciences Journal*, 51 (5), 733–738. <https://doi.org/10.1623/hysj.51.5.733>
- Brázdil, R., Kundzewicz, Z. W. and Benito, G. (2006). Historical hydrology for studying flood risk in Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 51 (5), 739–764.
- dartmouth.edu. (n. d.). Dartmouth Flood Observatory, 1985–Present. [online] Доступно на: <http://www.dartmouth.edu/~floods/> [Дата доступа 23.02.2021].
- Davydova, A. (2019). From Floods to Fires, Russia Sees Stronger Climate Impacts — but Efforts to Adapt Lag. In: L. Goering, ed., *Thomson Reuters Foundation*. Доступно на: <http://floodlist.com/europe/russia-stronger-climate-impacts-efforts-adapt-lag> [Дата доступа 04.03.2021].
- geoport.rgo.ru. (n. d.). Геопортал Русского географического общества. [online] Доступно на: <http://geoport.rgo.ru/catalog> [Дата доступа 23.02.2021].
- gis.vodinfo.ru. (n. d.). Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России. [online] Доступно на: <http://gis.vodinfo.ru> [Дата доступа 23.02.2021].
- gmvo.skniivh.ru. (n. d.). Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). [online] Доступно на: <https://gmvo.skniivh.ru> [Дата доступа 23.02.2021].
- interfax-russia.ru. (n. d.). Цена наводнения. [online] Доступно на: <http://www.interfax-russia.ru/Siberia/view.asp?id=1058665> [Дата доступа 23.02.2021].
- Kichigina, N. V. (2020) Geographical analysis of river flood hazard in Siberia. *International Journal of River Basin Management*, 18 (2), 255–264.
- Korytny, L. M. and Kichigina, N. V. (2006). Geographical Analysis of River Floods and Their Causes in Southern East Siberia. *Hydrological Sciences Journal*, 51 (3), 450–464.
- Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., Mechler, R., Bouwer, L. M., Arnell, N., Mach, K., Muir-Wood, R., Brakenridge, G. R., Kron, W., Benito, G., Honda, Ya., Takahashi, K. and Sherstyukov, B. (2014). Flood risk and climate change: global and regional perspectives, *Hydrological Sciences Journal*, 59 (1), 1–28.
- Kundzewicz, Z. W., Mata, L. J., Arnell, N. W., Döll, P., Jimenez, B., Miller, K., Oki, T., Şen, Z. and Shiklomanov, I. (2008). The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hydrological Sciences Journal*, 53 (1), 3–10. <https://doi.org/10.1623/hysj.53.1.3>
- Kundzewicz, Z. W., Mata, L. J., Arnell, N. W., Döll, P., Kabat, P., Jiménez, B., Miller, K. A., Oki, T., Sen, Z. and Shiklomanov, I. A. (2007). Freshwater resources and their management. In: M. L. Parry, et al., ed., *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the*

Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

- meteo.ru. (n. d.). Единый государственный фонд данных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». [online] Доступно на: <http://meteo.ru/data/> [Дата доступа 23.02.2021].
- r-arcticnet.sr.unh.edu. (n. d.). R-ArcticNET. A Regional, Electronic, Hydrographic Data Network for the Arctic Region. [online] Доступно на: <https://www.r-arcticnet.sr.unh.edu> [Дата доступа 23.02.2021].
- Shiklomanov, A. I., Lammers, R. B., Rawlins, M. A., Smith, L. C. and Pavelsky, T. M. (2007). Temporal and spatial variations in maximum river discharge from a new Russian data set. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 112, G04S53. <https://doi.org/10.1029/2006JG000352>
- skiovo.enbv.ru. (n. d.). Схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) для крупных речных бассейнов. [online] Доступно на: <http://skiovo.enbv.ru> [Дата доступа 23.02.2021].

Статья поступила в редакцию 13 марта 2020 г.
Статья рекомендована к печати 14 декабря 2020 г.

Контактная информация:

Кичигина Наталья Витальевна — nkichigina@mail.ru

Floods in Siberia: geographical and statistical analysis for the period of climate change*

N. V. Kichigina

V. B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
1, ul. Ulan-Batorskaya, Irkutsk, 664033, Russian Federation

For citation: Kichigina, N. V. (2020). Floods in Siberia: geographical and statistical analysis for the period of climate change. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 66 (1), 41–60. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.103> (In Russian)

In Siberia, floods are one of the most dangerous natural disasters. The danger of floods varies under climatic and anthropogenic changes, as well as socio-economic development. Our aim was to study the current position of problems associated with flood hazard. A key to understanding the flood situation is geographical and statistical analysis of the floods for the period of climate change (1985–2019). Such analyses address the following aspects: study of flood genesis and recurrence, the severity of the impact for floods of different genesis; analysis of runoff maxima as the principal cause of floods; analysis of the spatial distribution of settlements vulnerable to flooding; analysis of ice jams and ice dams as a specific natural factor causing floods in Siberia; assessment of the degree of danger, and identification of areas with different integral flood danger. In Siberia, more than 1400 settlements are flooded at regular intervals. Most of them are concentrated in the southern, most developed territories in the Ob, Tom and Yenisey basins. In Siberia, rainfall, mixed (from snow melting with rainfall) and ice-dam floods are the most dangerous. They have the highest recurrence and severity of impact. The greatest flood risk is in the most populated and economically developed southern regions within the Ob, Lena and Yenisey rivers and Lake Baikal basins. Territories with the highest risk of floods were determined. For the Baikal region, one of the most developed territories of Siberia, the flood hazard was determined for all administrative districts. Flood hazard maps for Siberian regions can be the basis for developing flood adaptation strategies.

Keywords: Siberia, flood hazard, recurrence, severity of impact, maximum runoff, snow melting, rainfall, ice-dam floods.

*The study was carried out within the state task of the V. B. Sochava Institute of Geography of SB RAS (state registration topic No. AAAA-A17-117041910172-4).

References

- atlas.isc.irk.ru. (n. d.). Ecological Atlas of the Baikal Region, Irkutsk: Institute of Geography SO RAN. [online] Available at: <http://atlas.isc.irk.ru> [Accessed Feb. 23, 2021]. (In Russian)
- Bates, B. C., et al. (2008). Climate change and water. *Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC Secretariat.
- Bouwer, L. M. (2011). Have disaster losses increased due to anthropogenic climate change? *Bulletin of the American Meteorological Society*, (92), 39–46.
- Bouwer, L. M., Crompton, R. P., Faust, E., Hölpe, P., Pielke, R. A. Jr. (2007). Confronting disaster losses. *Science*, 318 (5851), 753.
- Bradshaw, C. J. A., et al. (2007). Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global Change Biology*, (13), 1–17.
- Brázdil, R. and Kundzewicz, Z. W. (2006). Historical hydrology — Editorial. *Hydrological Sciences Journal*, 51 (5), 733–738. <https://doi.org/10.1623/hysj.51.5.733>
- Brázdil, R., Kundzewicz, Z. W. and Benito, G. (2006). Historical hydrology for studying flood risk in Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 51 (5), 739–764.
- Catalog of Ice Gorges and Ice Jams of the USSR. Vol. 2.* (1976). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (In Russian)
- dartmouth.edu. (n. d.). Dartmouth Flood Observatory, 1985–Present. [online] Доступно на: <http://www.dartmouth.edu/~floods/> [Дата доступа 23.02.2021].
- Davydova, A. (2019). *From Floods to Fires, Russia Sees Stronger Climate Impacts — but Efforts to Adapt Lag*. In: L. Goering, ed., Thomson Reuters Foundation. Available at: <http://floodlist.com/europe/russia-stronger-climate-impacts-efforts-adapt-lag> [Accessed Mar. 04, 2021].
- Faleev, M. I., Chernykh, G. S. and Starostin, A. S. (2014). Assessment of dangers and threats caused by catastrophic floods, and proposals for the protection of the population and territories from them. *Civil Protection Strategy: Problems and Research*, 4 (2), 18–27. (In Russian)
- geoportal.rgo.ru. (n. d.). Geoportal of the Russian Geographical Society. [online] Available at: <http://geoportal.rgo.ru/catalog> [Accessed Feb. 23, 2021]. (In Russian)
- Georgievsky, V. Yu., Grek, E. A., Grek, E. N., Lobanova, A. G. and Molchanova, T. G. (2019). Assessment of current changes in the maximum river flow in Russia. *Meteorology and hydrology*, (11), 46–55. (In Russian)
- gis.vodinfo.ru. (n. d.). Information system for water resources and water management of Russian river basins. [online] Available at: <http://gis.vodinfo.ru> [Accessed Feb. 23, 2021]. (In Russian)
- gmvo.skniivh.ru. (n. d.). Automated information system for state monitoring of water bodies (AIS GMVO). [online] Available at: <https://gmvo.skniivh.ru> [Accessed Feb. 23, 2021]. (In Russian)
- interfax-russia.ru. (n. d.). The price of flooding. [online] Available at: <http://www.interfax-russia.ru/Siberia/view.asp?id=1058665> [Accessed Feb. 23, 2021]. (In Russian)
- Kichigina, N. V. (2018). Flood Hazard on the Rivers of the Baikal Region. *Geography and Natural Resources*, 39 (2), 120–129.
- Kichigina, N. V. (2020). Flood hazard within the basins of the left tributaries of the Angara. *Geography and Natural Resources*, (4), 45–55. (In Russian)
- Kichigina, N. V. (2020). Geographical analysis of river flood hazard in Siberia. *International Journal of River Basin Management*, 18 (2), 255–264.
- Korytny, L. M. and Kichigina, N. V. (2006). Geographical Analysis of River Floods and Their Causes in Southern East Siberia. *Hydrological Sciences Journal*, 51 (3), 450–464.
- Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., Mechler, R., Bouwer, L. M., Arnell, N., Mach, K., Muir-Wood, R., Brakenridge, G. R., Kron, W., Benito, G., Honda, Ya., Takahashi, K. and Sherstyukov, B. (2014). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 59 (1), 1–28.
- Kundzewicz, Z. W., Mata, L. J., Arnell, N. W., Döll, P., Jimenez, B., Miller, K., Oki, T., Şen, Z. and Shiklomanov, I. (2008). The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hydrological Sciences Journal*, 53 (1), 3–10. <https://doi.org/10.1623/hysj.53.1.3>
- Kundzewicz, Z. W., Mata, L. J., Arnell, N. W., Döll, P., Kabat, P., Jiménez, B., Miller, K. A., Oki, T., Sen, Z. and Shiklomanov, I. A. (2007). Freshwater resources and their management. In: M. L. Parry, et al., ed., *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the*

Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

- meteo.ru. (n. d.). Unified State Data Fund FSBI “VNIIGMI-WDC”. [online] Available at: <http://meteo.ru/data/> [Accessed Feb. 23, 2021]. (In Russian)
- Mironenko, A. A., Retz, E. L. and Frolova, N. L. (2018). Assessment and mapping of flood hazard in the North Caucasus. Overview and Comparison of Existing Approaches. *Georisk*, 12 (2), 26–36. (In Russian)
- r-arcticnet.sr.unh.edu. (n. d.). R-ArcticNET. A Regional, Electronic, Hydrographic Data Network for the Arctic Region. [online] Available at: <https://www.r-arcticnet.sr.unh.edu> [Accessed Feb. 23, 2021].
- Razumov, V. V., Razumova, N. V. and Pchelkin, V. I. (2015). The scale and danger of flooding in the Siberian region of Russia. *Earth Sciences “Science. Innovation. Technologies”*, (4), 103–144. (In Russian)
- Semyonov, V. A. and Korshunov, A. A. (2006). Floods on the Russian rivers in the late 20th century and the early 21st century. *Geography and Geo-ecology*, (5), 6–12. (In Russian)
- Shiklomanov, A. I., Lammers, R. B., Rawlins, M. A., Smith, L. C. and Pavelsky, T. M. (2007). Temporal and spatial variations in maximum river discharge from a new Russian data set. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 112, G04S53. <https://doi.org/10.1029/2006JG000352>
- skiovo.enbv.ru. (n. d.). Schemes of Integral Use and Protection of Water Bodies (SKIOVO) for Large River Basins. [online] Available at: <http://skiovo.enbv.ru/> [Accessed Feb. 23, 2021]. (In Russian)
- The Second Assessment Report of Rosgidromet on Changes of Climate and Their Consequences on the Territory of the Russian Federation, Section 1: The Observed Changes of Climate*. (2014), Moscow: Rosgidromet Publ., 18–235. (In Russian)
- Zadonina, N. V. and Levi, K. G. (2008). *Chronology of Natural and Social Phenomena in Siberia and Mongolia*. Irkutsk: Irkutsk University Press. (In Russian)

Received: March 13, 2020

Accepted: December 14, 2020

Contact information:

Natalia V. Kichigina — nkichigina@mail.ru