

УДК 502.572

<https://doi.org/10.36906/KSP-2021/82>

Федорова И.В.

ORCID: 0000-0001-5370-427X, канд. геогр. наук

Алексеева Е.А.

ORCID: 0000-0001-5840-5738

Санкт-Петербургский государственный университет

г. Санкт-Петербург, Россия

ОЦЕНКА РИСКОВ ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Аннотация. На фоне отмечаемых в последнее время климатических флуктуаций количество катастрофических гидрометеорологических процессов возрастает. В работе решена задача актуализации методов оценки рисков опасных гидрометеорологических явлений (ОГЯ) для рек водосборного бассейна оз. Байкал методом подбора теоретических законов распределения на основе имеющихся эмпирических данных максимальных годовых уровней воды. Рассчитаны максимальные уровни воды при катастрофических обеспеченностях в 0,1% и 1%. Для оценки использована шкала риска, где приращения высоты максимальных уровней воды отнесены к категориям по степени риска возникновения. Выявлено, что для рассмотренных рек региона очень высокий риск наводнений характерен для бассейна рек Баргузин и Селенга, средним риском характеризуются реки Голоустная, Выдриная и Верхняя Ангара. Применены геоинформационные методы для прогноза площадей зон затопления на примере р. Верхняя Ангара – с. Верхняя Заимка.

Ключевые слова: опасные гидрометеорологические явления; оценка рисков; уровень воды; обеспеченность; геоинформационные методы.

Fedorova I.V.

ORCID: 0000-0001-5370-427X, Ph.D.

Alekseeva E.A.

ORCID: 0000-0001-5840-5738

Saint-Petersburg State University

Saint Petersburg, Russia

ASSESSMENT OF RISKS OF HAZARDOUS HYDROMETEOROLOGICAL EVENTS OF BAIKAL REGION

Abstract. Against the background of recent climatic fluctuations, the number of catastrophic hydro meteorological processes is increasing. In this work, the problem of updating the methods for

assessing the risks of hazardous hydro meteorological phenomena (OHP) for the rivers of the drainage basin of Lake Baikal by the method of selection of theoretical distribution laws based on the available empirical data of the maximum annual water levels. The maximum water levels are calculated for catastrophic levels of 0.1% and 1%. For the assessment, a risk scale was used, where the increments in the height of the maximum water levels are categorized according to the degree of risk of occurrence. It was revealed that a very high risk of floods is typical for the basin of the Barguzin and Selenga rivers; the rivers Goloustnaya, Vydrina and Verkhnyaya Angara are characterized by an average risk. Geoinformation methods were applied to solve the problems of forecasting the possible areas of flooded zones using the example of the river. Upper Angara - with. Upper Zaimka.

Key words: hazardous hydro meteorological events; risk assessment; water level; probability; geoinformation methods.

Становление и развитие теории риска в мире началось относительно недавно - во второй половине 20 века [4, с. 16]. В России же концепции данной научной области зачастую находят недостаточное теоретическое развитие и практическое применение и в настоящее время. Для Байкальского региона (Республики Бурятия и Иркутской области) с его особыми физико-географическими условиями, на данный момент отсутствуют универсальные методы оценки рисков опасных метеорологических явлений (ОГЯ), возникающих практически ежегодно и наносящих огромный ущерб населенным пунктам, объектам инфраструктуры, проживающему населению на данной территории, а также окружающей природной среде. Тем не менее, данной проблеме в тех или иных аспектах посвящают свои работы Т. А. Борисова, Н. В. Кичигина, А. В. Шаликовский, А. П. Лепихин и др. [1; 3; 6].

В ходе изучения ОГЯ, наблюдавшихся за период 1966–1997 гг. и их проявлений за современный период (2000–2019 гг.) в Республике Бурятия и Иркутской области, были отмечены ОГЯ на реках Баргузин, Селенга, Верхняя Ангара, Иркут, Ия, для которых характерны наибольшие площади водосборного бассейна, протяженность, плотность заселения территории в бассейнах, а значит, более выраженная подверженность рискам возникновения ОГЯ и ущербам от них. Всего в работе было проанализировано 12 гидрометеорологических постов, расположенных на 5 реках бассейна оз. Байкал – Голоустной, Верхней Ангаре, Баргузина, Селенги, Выдриной.

Проведя обзор по ОГЯ в республике Бурятия и Иркутской области за период наблюдений 1991–2019 гг., было выявлено, что в обоих регионах почти ежегодно происходят те или иные опасные явления. Наиболее частыми и наносящими значительный ущерб являются паводки, вызванные продолжительными дождями; половодья и заторы – в наибольшей степени наблюдающиеся в Иркутской области, а также сели, характерные для республики Бурятия, что связано с горным характером рельефа и уклонами русел рек более 20°, инженерно-геологическим строением горных пород, а именно наличием трещиноватости, зон дробления, коры выветривания, а также существованием четвертичных рыхлых отложений, которые

легко размываются в период ливневых или продолжительных осадков. Стоит также сказать, что все перечисленные опасные явления могут стать причиной такого катастрофического события как наводнение.

Данные максимальных годовых, средних многолетних максимальных и многолетних максимальных уровней воды за 2008-2018 гг. были взяты с сайта Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов - АИС ГМВО (<https://clck.ru/YVVh3>). За более ранний период (1981–2002 гг.) сведения или материалы были получены из гидрологических ежегодников для бассейна оз. Байкал (<https://clck.ru/YVW3p>). Данные о неблагоприятных условиях погоды, нанесших экономические потери в Байкальском регионе за период 1991–2019 гг. – были взяты с сайта ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации - мировой центр данных» (<https://clck.ru/YVWCR>).

Многолетние ряды максимальных годовых уровней воды исследуемых рек проанализированы и обработаны с помощью методов первичной статистической обработки данных. Для всех рек были посчитаны средние, минимальные и максимальные значения, коэффициенты вариации и асимметрии, среднеквадратическое отклонение (стандартное отклонение). Между всеми гидрометеорологическими параметрами - посчитаны коэффициенты корреляции и составлена корреляционная матрица [5; 7].

Для построения кривых обеспеченности использовались данные о максимальных годовых уровнях воды исследуемых рек. Координаты кривой обеспеченности рассчитывались по ранжированному в убывающей последовательности исходному ряду максимальных уровней воды для исследуемых рек. При этом каждому члену ранжированного ряда приписывалась эмпирическая обеспеченность, рассчитанная по формуле:

$$P_i = I / (n + 1) \times 100\%,$$

где I - порядковый номер члена ранжированного ряда [5; 7].

Для построения карты-схемы зоны затопления в программе QGIS 3.18 были использованы данные географических координат гидрологических постов, высотных отметок гидрологических постов, называемых в гидрологии «нулем графика» в Балтийской системе высот; периодов наблюдений за максимальными годовыми уровнями воды исследуемых рек, данные о средних и высших максимальных многолетних уровнях вод, а также рассчитанные максимальные уровни для 0,1% и 1% обеспеченности на основе подобранных теоретических законов распределения Пирсона, полученных с помощью эмпирических кривых обеспеченности. Кроме того, были рассчитаны абсолютные отметки высот уровня воды из нивелирной привязки гидрологических постов по формуле:

$$H_{УВВ} = h_{ур} + k_{1\%},$$

где $H_{УВВ}$ – УВВ (высота самого высокого уровня подъема воды), $h_{абс}$ – абсолютная отметка уровня воды реки, $k_{1\%}$ – рассчитанный максимальный уровень 1%-ной обеспеченности.

Под риском рассматривается вероятность возникновения ОГЯ. Оценка рисков ОГЯ производилась следующим образом. Для исследуемых рек были построены кривые

обеспеченности, с помощью которых можно определить максимальный уровень воды любой обеспеченности в пределах рассматриваемого периода наблюдений. На основе эмпирических данных были подобраны теоретические законы распределения максимальных уровней воды для катастрофических обеспеченностей в 0,1% и 1%, а также получены приращения высот максимальных уровней воды.

Эмпирические функции распределения максимальных уровней воды, как правило, в одних случаях хорошо описываются нормальным распределением, а в других – биномиальным. Биномиальная кривая включена К. Пирсоном в его систему кривых распределения как тип III. Для того, чтобы подобрать закон распределения по исходным рядам максимальных уровней воды, использовались коэффициенты вариации (Cv) и асимметрии (Cs). Также определялись значения ординат нормального закона распределения и биномиальной кривой обеспеченности III типа в нормированных значениях t_p , модульных коэффициентах k_p и значениях уровня воды x_p по следующим формулам:

$$t_p = (x_p - m_x) / \sigma_x = (k_p - 1) / Cv; k_p = t_p Cv + 1; x_p = m_x k_p.$$

Подобраны отношения Cs к Cv , при которых наблюдается наилучшее совпадение точек эмпирических и теоретических кривых обеспеченности Пирсона III типа. Исходя из этого условия и согласно методике применения аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения – кривых обеспеченности – подбирался теоретический закон распределения [7].

Для оценки ОГЯ рек Байкальского региона разработана шкала риска, где приращения высоты максимальных уровней воды над «нулем графика» разделены на 3 категории по степени риска возникновения (табл. 1). Приращения высоты (Δh) были рассчитаны по формуле:

$$\Delta h = UB_{0,1\%}^* - H^{**}$$

* абсолютная отметка максимального уровня воды 0,1 % обеспеченности

** нуль графика гидрологического поста [2]

Таблица 1

Шкала для оценки рисков ОГЯ рек Байкальского региона (составлено автором)

| Значения приращения абсолютной высоты уровня воды (Δh), см | Категория риска | Характеристика риска |
|--|-----------------|----------------------|
| 300–500 | III | Средний риск |
| 500–800 | II | Высокий риск |
| 800–1000 | I | Очень высокий риск |

Выбор теоретических кривых распределения рек Байкальского региона.

Эмпирические кривые обеспеченности максимальных уровней воды и теоретические кривые распределения были построены для всех исследуемых рек. Установлено, что для рассмотренных рек подходят разные теоретические законы распределения.

Так, для реки Баргузин на постах пос. Баргузин и с. Могойто наиболее близкие значения получены с помощью Нормального закона распределения и закона распределения Пирсона III типа (соотношение $C_s/C_v=3$). Следовательно, для расчёта значений максимальных годовых уровней воды различной обеспеченности для реки Баргузин рекомендуется использовать данные законы распределения (рис. 1).

Для реки Верхняя Ангара на постах с. Верхняя Заимка и с. Уоян оптимальным для рядов максимальных уровней воды является отношение $C_s/C_v=2$. Также, наиболее близкие значения получены с помощью Нормального закона распределения, поэтому для реки Верхняя Ангара оптимально использовать данные законы распределения (рис. 2).

При анализе кривых распределения для реки Выдриная можно заметить, что точки эмпирической кривой не совпадают с какой-то одной теоретической кривой на всей ее протяженности. Тем не менее на концах эмпирической кривой ближе всего ее точки к теоретической кривой распределения Пирсона III типа при соотношении $C_s/C_v=3$, что позволяет использовать указанный теоретический закон распределения при расчетах (рис. 3).

Для реки Голоустная наиболее близкие значения получены закона распределения Пирсона III типа (соотношение $C_s/C_v=3$), что рекомендуется использовать в расчетах (рис. 4).

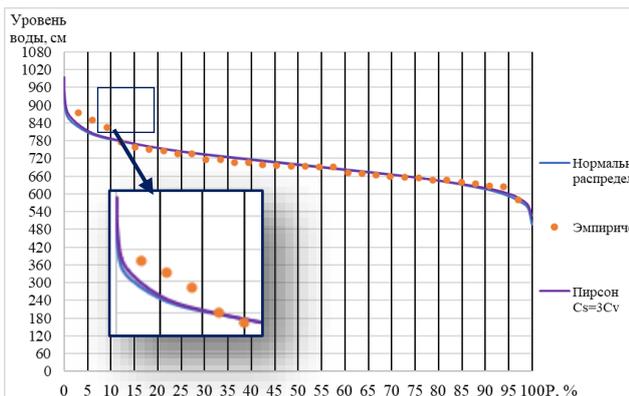


Рис. 1. График эмпирической кривой обеспеченности и теоретические кривые распределения (р. Баргузин - пос. Баргузин)

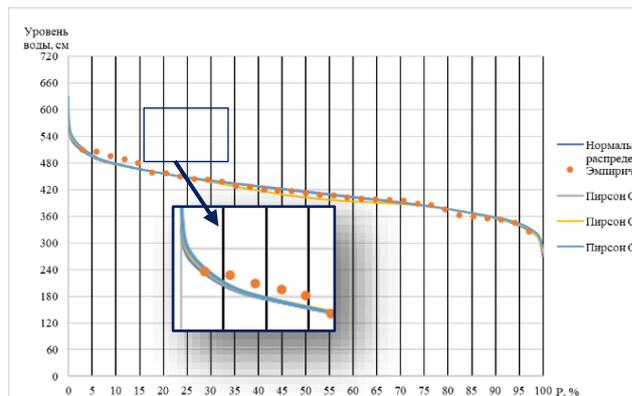


Рис. 2. График эмпирической кривой обеспеченности и теоретические кривые распределения (р. Верхняя Ангара – с. Верхняя Заимка)

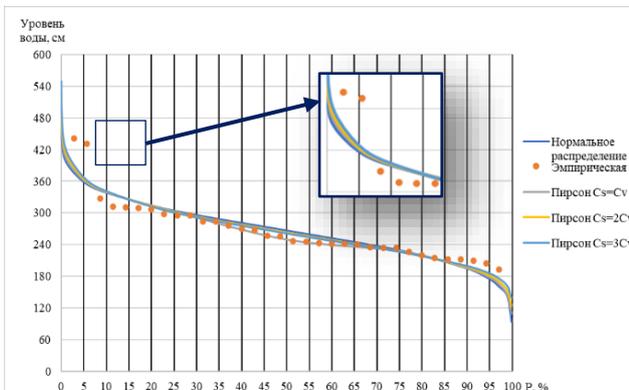


Рис. 3. График эмпирической кривой обеспеченности и теоретические кривые распределения (р. Выдриная)

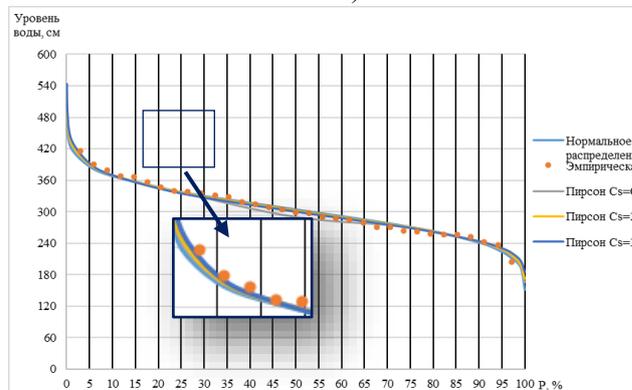


Рис. 4. График эмпирической кривой обеспеченности и теоретические кривые распределения (р. Голоустная)

Эмпирические кривые обеспеченности трудно описываются теоретическими законами распределения для гидрологических постов, расположенных в бассейне р. Селенга. Однако, на концах с максимальными (1%) и минимальными (95%) уровнями воды близкие значения получены с помощью Нормального закона распределения и Пирсона III типа (соотношение $C_s/C_v=3$). И именно эти кривые следует принять для расчёта значений максимальных годовых уровней воды 1%, 9%, 95% (рис. 5).

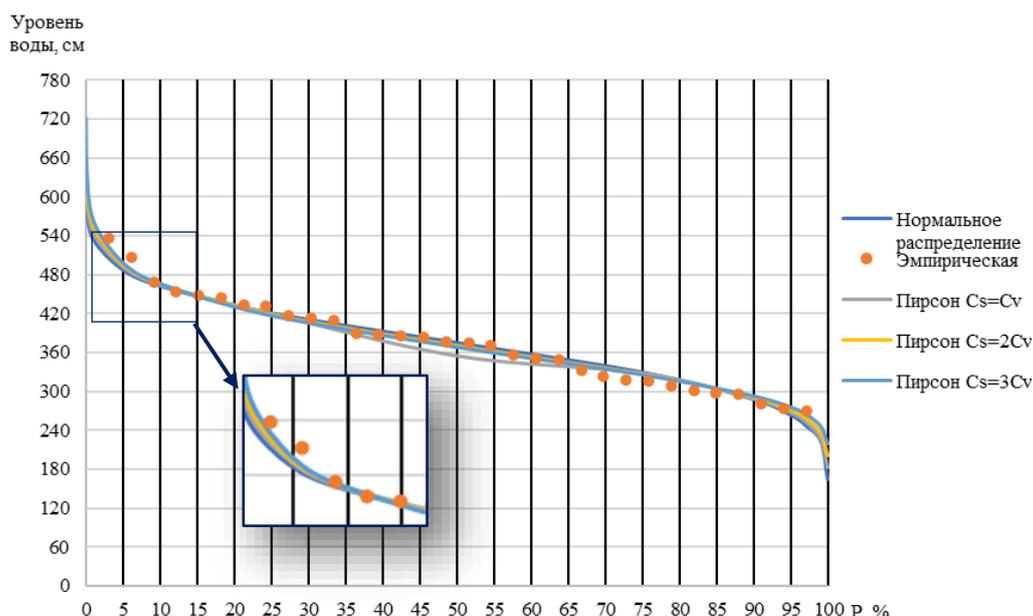


Рис. 5. График эмпирической кривой обеспеченности и теоретические кривые распределения (р. Селенга – с. Кабанск)

По рассчитанным максимальным уровням воды 1% обеспеченности была построена карта-схема зоны затопления поймы реки Верхняя Ангара вблизи гидрологического поста с. Верхняя Заимка (рис. 6). Уровень высоких вод (УВВ) составил 460 м при нуле отсчета 454,66 м (балтийская система высот). Площадь зоны затопления равна 27, 793 км².

Для оценки риска была разработана шкала, где приращения высоты максимальных уровней воды над «нулем графика» разделены на 3 категории по степени риска возникновения (табл. 1). Для рек бассейна оз. Байкал на основе построенных эмпирических кривых обеспеченности были рассчитаны максимальные уровни воды при катастрофических обеспеченностях в 0,1% и 1%, а также получены приращения высот максимальных уровней воды над «нулем графика». *Средним риском* характеризуются реки Голоустная, Выдриная, Верхняя Ангара – с. Уоян (III категория); *ОГЯ имеют высокий риск* на реках Баргузин – с. Могойто, Верхняя Ангара – с. Верхняя Заимка, и посты Усть-Кяхта, г. Улан-Удэ, с. Кабанск в бассейне р. Селенга (II категория); *очень высокий риск* характерен для поста пос. Баргузин в бассейне р. Баргузин и посты рзд Мостовой и с. Новоселенгинск в бассейне р. Селенга (I категория).

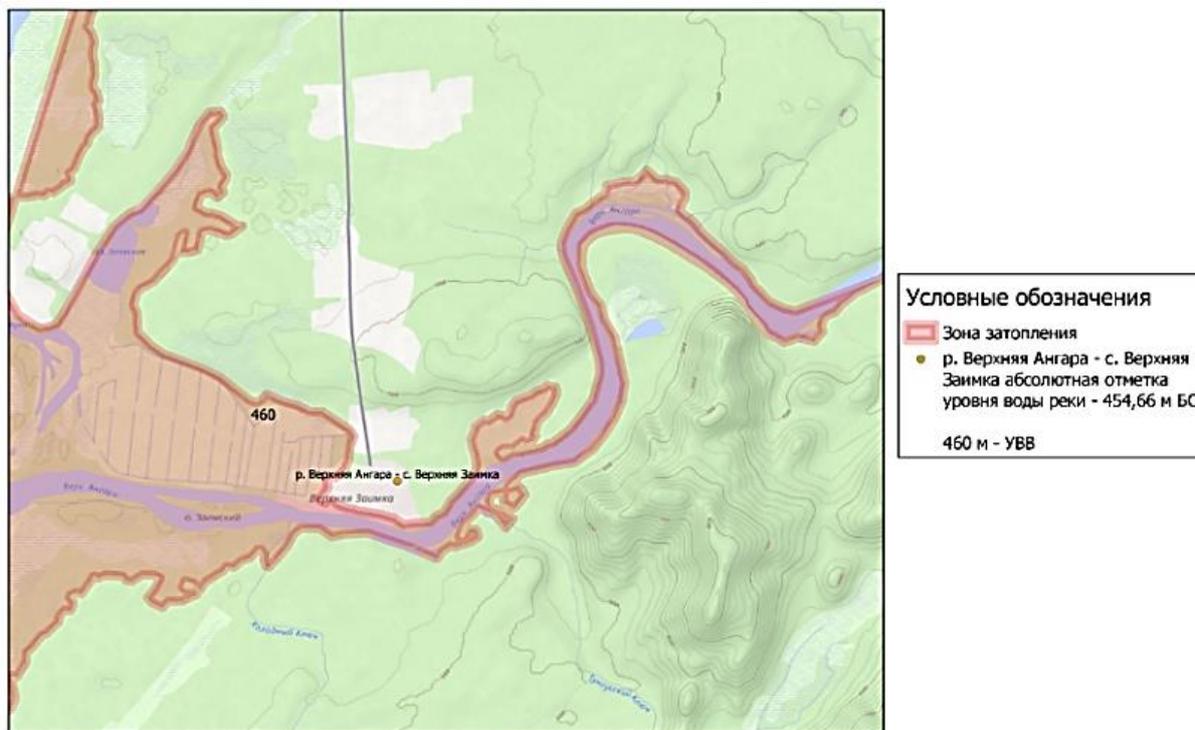


Рис. 6. Карта-схема зоны затопления для бассейна р. Верхняя Ангара вблизи ГП – пос. Верхняя Займка при рассчитанном максимальном уровне воды 1%-ной обеспеченности
(Источник: <https://clck.ru/YXc3Y>)

На рисунке ниже представлена диаграмма со значениями приращений высот максимальных уровней воды над «нулем графика» при обеспеченностях 0,1% и 1 % (рис. 7).

В результате подбора теоретических кривых обеспеченности на основе построенных эмпирических кривых выявлено, что для прогноза максимальных уровней воды лучше всего подходят Нормальный закон распределения и Пирсона III типа при соотношении $C_v/C_s=2$, что может быть рекомендовано для дальнейшего использования. На основе эмпирических кривых обеспеченности были рассчитаны максимальные уровни воды в 0,1% и 1%, а также получены приращения высот максимальных уровней воды и площадей затопления, что может привести к наводнениям. По данным рассчитанных высот максимальных уровней воды при обеспеченности 0,1% построена карта-схема зоны затопления поймы реки Верхняя Ангара вблизи гидрологического поста с. Верхняя Займка (рис. 6).

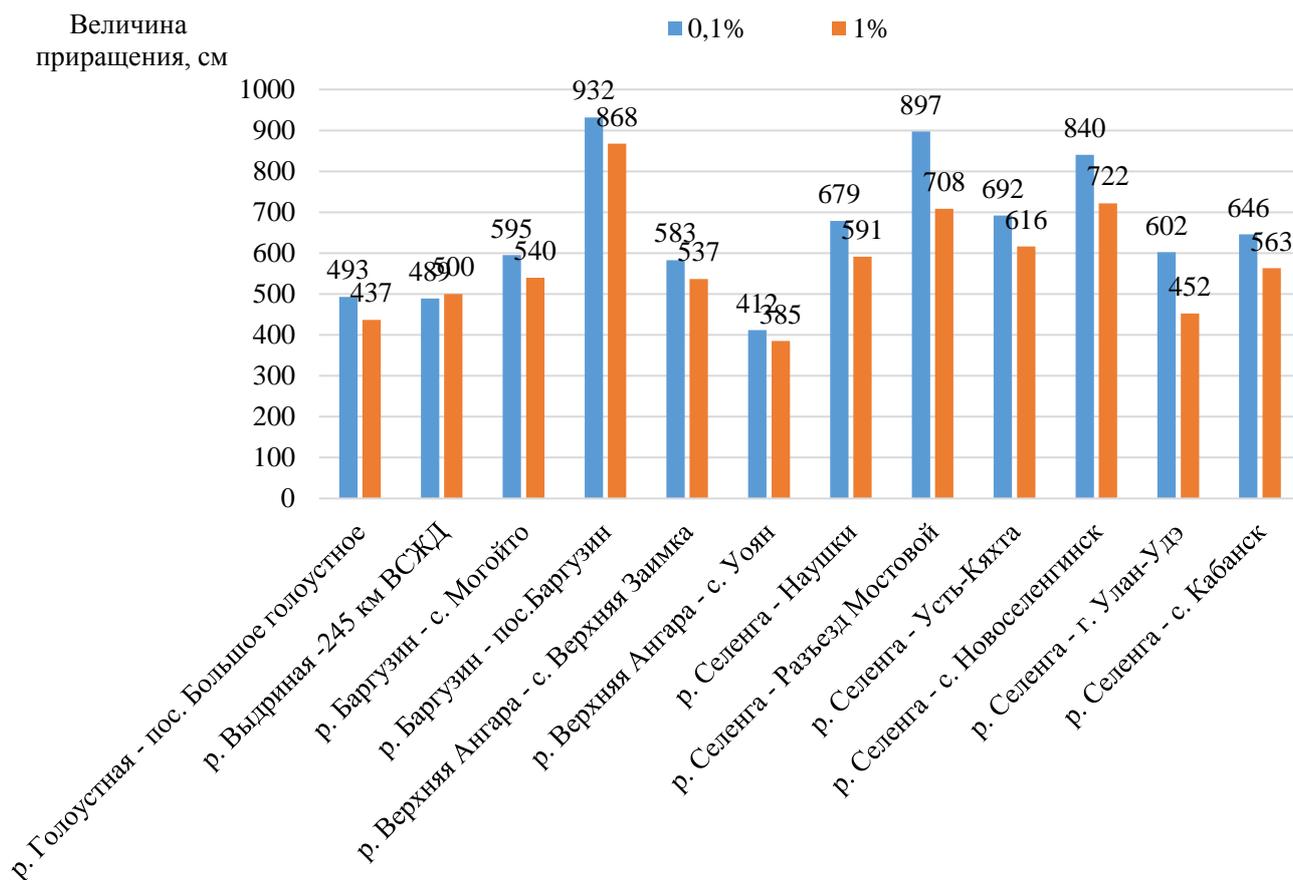


Рис. 7. Приращения высот максимальных уровней воды при заданных обеспеченностях 0,1% и 1 % над «нулем графика» для рек бассейна оз. Байкал

Отмечено, что применение геоинформационных методов для прогнозирования зон затопления при наводнениях позволит спрогнозировать затапливаемые территории и своевременно принять меры по их предупреждению и ликвидации сильных ущербов. Выявлено, что для рассмотренных рек региона очень высокий риск наводнений характерен для бассейна рек Баргузин и Селенга, средним риском характеризуются реки Голоустная, Выдриная и Верхняя Ангара.

Литература

1. Борисова Т.А. Природно-антропогенные риски в бассейне озера Байкал. Новосибирск: Гео, 2013. 126 с.
2. ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1988.
3. Кичигина Н.В. Наводнения Сибири: географический и статистический анализ за период климатических изменений // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2021. № 66 (1). С. 41–60. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.103>
4. Музалевский А.А., Карлин Л.Н. Экологические риски: теория и практика. СПб.: РГГМУ, ВВМ, 2011. 448 с.



5. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 73 с.
6. 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
7. Шелутко В.А. Методы обработки и анализа гидрологической информации. СПб., 2007. 190 с.

© Федорова И.В., Алексеева Е.А., 2021