



ПОДБОР ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ МАКСИМАЛЬНЫХ ГОДОВЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ Р. ШЕШУПЕ

С. А. Кочеткова, студентка 2-го курса

магистратуры

E-mail: kochetkovava@bk.ru

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

В данной работе построены три кривые распределения максимальных расходов малой обеспеченности р. Шешупе (гп. Долгое). Произведено их сравнение. В результате получено, что подходящим распределением является логарифмически-нормальное.

Ключевые слова: р. Шешупе, расходы воды, наблюдения, оцифровка, эмпирическая кривая обеспеченности, кривая распределения, Mathcad.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач проектирования гидротехнических сооружений является установление величины максимального расхода. Этот расход определяет тип сооружения, его конструкцию и, соответственно, стоимость. Шешупе является одним из наиболее чистых водоемов Калининградской области. Было установлено, что показатели качества воды в реке Шешупе выше, чем в реке Неман [15]. Изучение данной реки имеет большое значение для рыбного хозяйства [16]. Опубликовано довольно много результатов исследований различных аспектов состояния бассейна реки Шешупе [1–12], но нигде не сравнивали кривые распределения максимальных расходов при малых значениях обеспеченности.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Название: Шешупе, Шяшупе или Шешупа. Исток реки расположен на Балтийском хребте, устьем является река Неман в Калининградской области (Россия). Долина реки трапециевидной формы, шириной до 1 км, склоны обычно пологие, иногда крутые. Ширина канала колеблется от 10 до 50 м. Длина данной реки составляет 308 км, общая площадь водосборного бассейна – 6 120 км² [14].

Шешупе протекает по территории трех стран: Польши, Литвы и России. В восточной части Калининградской области расположен гидропост – Долгое (рисунок 1).

Данные для расчетов были взяты из гидрологических ежегодников [17–25]. Недостающие данные были восстановлены при помощи реки-аналога Инструч. В результате получен ряд максимальных расходов с 1957–2022 г.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования – сравнение кривых распределения максимальных расходов воды р. Шешупе при малых значениях обеспеченности.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании в качестве основного метода был использован статистический анализ, с помощью которого оценивали максимальные годовые расходы воды р. Шешупе.

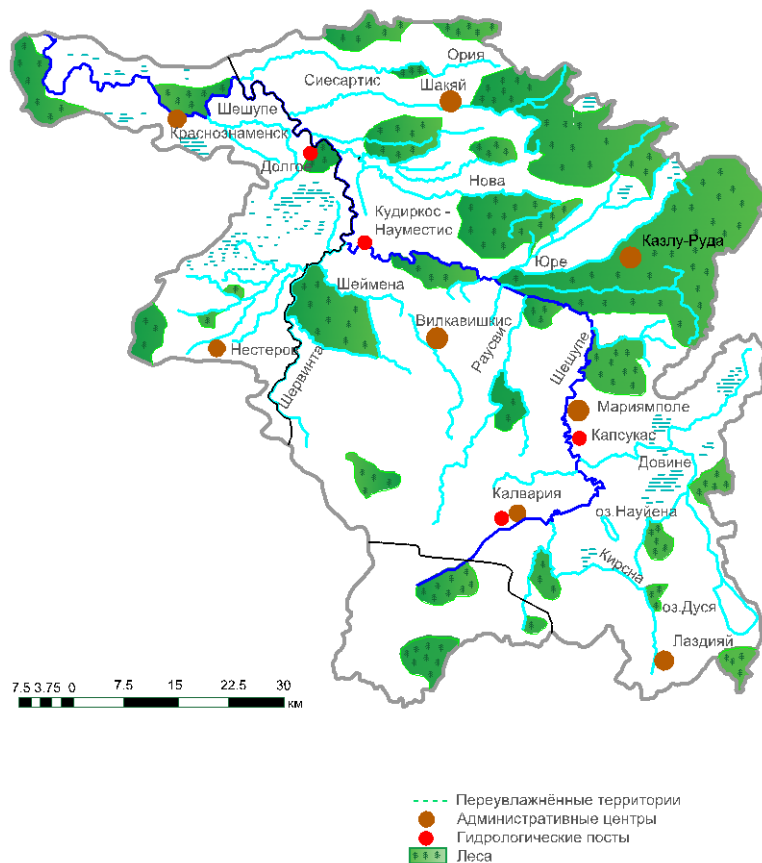


Рисунок 1 – Схема бассейна реки Шешупе [7]

При помощи оператора Mathcad были рассчитаны следующие формулы:
Плотность вероятности трехпараметрического гамма-распределения:

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha) \cdot |b|} \cdot \left[\frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} \right]^{\frac{\alpha}{b}} \cdot x^{\frac{\alpha}{b}-1} \cdot \exp \left[-\left(\frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} \cdot x \right)^{\frac{1}{b}} \right].$$

Плотность вероятности логарифмически-нормального распределения:

$$f(x) = \frac{1}{x \cdot \sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp \left[-\left(\frac{\ln(x) - \mu}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right)^2 \right].$$

Плотность вероятности нормального распределения:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp \left[-\left(\frac{x - Hs}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right)^2 \right].$$

Для определения вероятности попадания случайной величины в определенный диапазон значений рассчитана функция: плотность вероятности для нормального, логарифмически-нормального и трехпараметрического гамма-распределения:

$$f(x) = \int_0^x f(t, \mu, \sigma) dt.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

График теоретической обеспеченности наилучшим образом описывает точки, и именно по нему можно найти уровни малой обеспеченности. В настоящее время разработано около десятка формул для расчета эмпирической обеспеченности. В своде правил [14] рекомендуют использовать формулу Крицкого – Менкеля, так как получаемая по ней оценка эмпирической обеспеченности является состоятельной, несмещенной и эффективной:

$$P_i = 100 \cdot i / (n + 1),$$

где $n = 73$ – длина ряда; i – порядковый номер по убыванию.

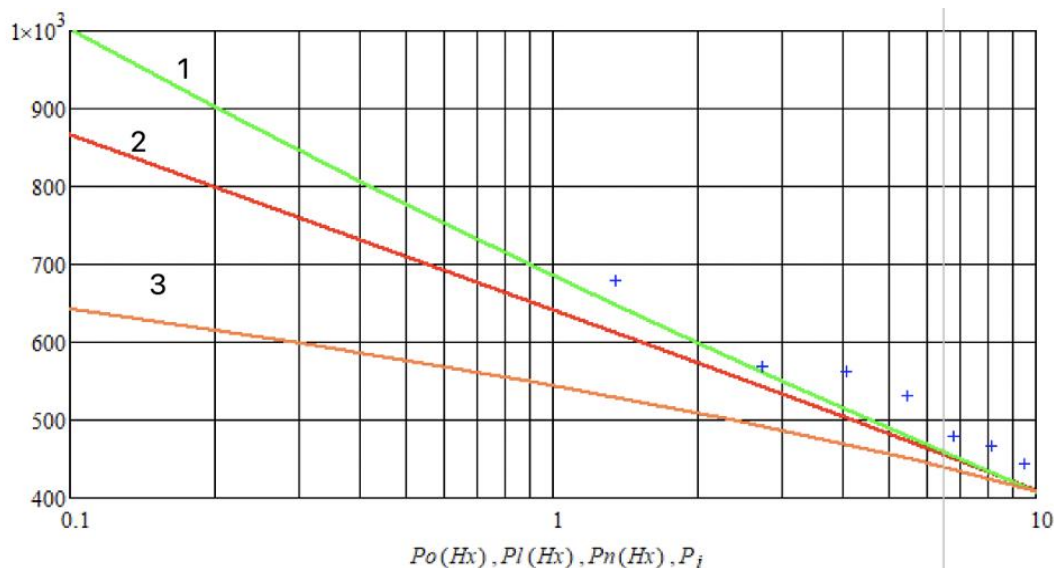


Рисунок 2 – Часть кривой обеспеченности при малых значениях P .
Линии – теоретические кривые: 1 – логарифмически-нормальная;
2 – Крицкого – Менкеля; 3 – нормальная; точки – эмпирические

Анализ представленных на рисунке 2 кривых обеспеченности показывает, что в области малых обеспеченностей ($P < 10\%$) наилучшее совпадение с эмпирическими данными демонстрирует логарифмически-нормальное распределение. Теоретическая кривая данного распределения проходит вблизи большинства эмпирических точек и наиболее точно воспроизводит характер убывания максимальных годовых расходов воды.

Кривая Крицкого – Менкеля в указанной области располагается ниже эмпирических значений, что свидетельствует о занижении расчетных расходов при малых вероятностях превышения. Нормальное распределение, в свою очередь, показывает наибольшее расхождение с фактическими данными, особенно в зоне максимальных расходов, что указывает на его недостаточную применимость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По ряду эмпирической обеспеченности максимальных годовых расходов р. Шешупе (гп. Долгое) были построены три теоретические кривые обеспеченности: логарифмически-нормальное распределение, Крицкого – Менкеля и нормальное.

Результаты сравнения теоретических кривых подтвердили целесообразность использования логарифмически-нормального распределения для оценки максимальных годовых расходов воды р. Шешупе в области малых обеспеченностей ($P < 10$).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дружинина, О. А. Исследование в нижнем течении реки Шешупе / О. А. Дружинина // Археологические открытия. – 2010. – Т. 2007. – С. 24.

2. Сходнов, И. Н. Исследования на озере Виштынецкое и на реке Шешупе / И. Н. Сходнов // Археологические открытия. – 2010. – Т. 2007. – С. 57–58.
3. Предварительные результаты изучения содержания хлорофилла а в системе Неман-Шешупе (в пределах Калининградской области) / Н. Н. Нагорнова, Т. А. Берникова, Е. В. Кривопускова // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: Вторая международная научно-практическая конференция: сб. трудов / под ред. В. А. Волкогона. – 2014. – С. 177–179.
4. Характеристика зообентоса реки Шешупе / В. Г. Загирова, М. Н. Шibaева // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: III Балтийский морской форум: сб. трудов / гл. ред. К. В. Тылик. – 2015. – С. 162–165.
5. Паразитофауна рыба из реки Шешупе / Е. Б. Евдокимова, Е. Б. Авдеева, С. К. Заостровцева // Труды ВНИРО. – 2017. – Т. 167 – С. 110–117.
6. Володина, А. А. Первое обследование флоры рек Немана и Шешупе в районе расположения строящейся балтийской АЭС / А. А. Володина, М. А. Герб // Региональная экология. – 2018. – С. 79–89.
7. Кочеткова, С. А. Уровни воды и уклоны реки Шешупе на четырех гидропостах / С. А. Кочеткова // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2023. – Т. 9, № 3. – С. 52–58.
8. Домнин, Д. А. Модельная оценка выноса биогенных веществ с водосбора реки Шешупе (водосбор Куршского залива) / Д. А. Домнин // Проблемы географии Урала и сопредельных территорий: III Международная научно-практическая конференция: материалы. – Челябинск, 2024. – С. 93–100.
9. К изученности флоры рек Немана и Шешупе в районе расположения строящейся Балтийской АЭС / А. А. Володина, М. А. Герб // Экологическая и радиационная безопасность объектов атомной энергетики: материалы IV Научно-практической конференции / под ред. М. И. Орловой, Е. Е. Ежовой. – 2017. – С. 211–217.
10. Видовой состав зоопланктона и зообентоса в зоне мониторинга рек Неман и Шешупе как показатель фоновой сапробности / М. Н. Шibaева, Е. В. Кривопускова, А. В. Мычкова, Е. А. Масюткина. // Экологическая и радиационная безопасность объектов атомной энергетики: IV Научно-практическая конференция: материалы / под ред. М. И. Орловой, Е. Е. Ежовой. – 2017. – С. 211–217.
11. Домнин, Д. А. Оценка межгодовой изменчивости расхода воды в водосборе реки Шешупе (бассейн р. Неман, Юго-Восточная Балтика) посредством численного моделирования / Д. А. Домнин // Природоресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России: XX Международная научно-практическая конференция: сб. статей / под ред. В. А. Селезнева, И. А. Лушкина. – Пенза. – 2022. – С. 49–53.
12. Оценка фонового экологического состояния р. Неман и р. Шешупе в пределах возможного воздействия от деятельности Балтийской АЭС по гидробиологическим показателям / М. Н. Шibaева, Е. В. Кривопускова, А. В. Мычкова, Е. А. Масюткина // Региональная экология. – 2018. – С. 96–107.
13. Ахмедова, Н. Р. Расчет волнистости русла реки Шешупе по данным гидрологических ежегодников / Н. Р. Ахмедова, В. А. Наумов // Серия конференций ИОР: Наука о Земле и окружающей среде. – Vol. 1112, Документ № 012127. – С. 3. – DOI: 10.1088/1755-1315/1112/1/012127.
14. СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик: утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 11 сентября 2023 г.; введ. в действие с 12 октября 2023 г.
15. Кривопускова, Е. В. Оценка фонового экологического состояния р. Неман и р. Шешупе в пределах возможного воздействия от деятельности Балтийской АЭС по гидробиологическим показателям / Е. В. Кривопускова, Е. А. Масюткина, А. В. Мычкова, М. И. Шibaева // Региональная экология. – 2018. – № 1 (51). – С. 96–107.
16. Евдокимова Е. Б. Паразитофауна рыба из реки Шешупе / Е. Б. Евдокимова, Е. В. Авдеева, С. К. Заостровцева // Труды ВНИРО. – 2017. – Т. 167. – С. 115.

17. Гидрологический ежегодник 1956 г. Т. 1. Бассейн Балтийского моря / под ред. Е. И. Мороз. – Вып. 4–6. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во. – 1960. – 416 с.
18. Гидрологический ежегодник 1957 г. Т. 1. Бассейн Балтийского моря / под ред. Л. И. Глазачевой. – Вып. 4–6. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во. – 1961. – 104 с.
19. Гидрологический ежегодник 1958 г. Т. 1. Бассейн Балтийского моря / под ред. Л. И. Глазачева. – Вып. 4–6. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во. – 1962. – 98 с.
20. Гидрологический ежегодник 1959 г. Т. 1. Бассейн Балтийского моря / под ред. Л. И. Глазачева. Вып. 4–6. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во. – 1962. – 98 с.
21. Гидрологический ежегодник 1958 г. Т. 1. Бассейн Балтийского моря / под ред. Т. В. Алексеева. – Вып. 4–6. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во. – 1963. – 105 с.
22. Гидрологический ежегодник 1960 г. Т. 1. Бассейн Балтийского моря / под ред. Л. М. Жвирздинене. – Вып. 5–6. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во. – 1963. – 105 с.
23. Гидрологический ежегодник 1962 г. Т. 1. Бассейн Балтийского моря / под ред. Л. М. Жвирздинене. – Вып. 5–6. – Ленинград. – Гидрометеорологическое изд-во. 1963. – 100 с.
24. Гидрологический ежегодник 1965 г. – Т. 1. Бассейн Балтийского моря / под ред. Л. М. Жвирздинене. – Вып. 5–6. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во. – 1964. – 105 с.
25. Гидрологический ежегодник 1966 г. Т. 1. Бассейн Балтийского моря / под ред. Л. М. Жвирздинене. – Вып. 5–6. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во. – 1968. – 108 с.

SELECTION OF THEORETICAL CREEK PROVISION OF MAXIMUM ANNUAL WATER DISCHARGES OF THE RIVER SHESHUPE

S. A. Kochetkova, 2st year master's student

E-mail: kochetkovava@bk.ru

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Kaliningrad State Technical University»

In this paper, three curves of distribution of maximum low-risk discharges of the Sheshupe River (Dolgoe settlement) are constructed. They are compared. As a result, it is found that the appropriate distribution is logarithmic-normal.

Keywords: *Sesupe River, water discharge, observations, digitization, empirical supply curve, distribution curve, Mathcad.*