

АНАЛИЗ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ БАССЕЙНОВ РАВНИННЫХ РЕК ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ¹

Фролова Н.Л.¹, Гельфан А.Н.², Киреева М.Б.¹,
Рец Е.П.², Телегина Е.А.²

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Географический факультет, г. Москва

²Институт водных проблем РАН, г. Москва

frolova_nl@mail.ru

Введение. Возникновение экстремальных гидрологических условий, связанных как с высокой, так и с низкой водностью рек, обуславливает риски и экономические потери для различных отраслей хозяйства. Подобные гидрологические события, чаще всего имеют довольно редкую повторяемость и обычно охватывают большие территории. Так, например, только за последние пять лет наблюдалось три подобных ситуации. В 2010 г. аномальные атмосферные процессы привели к формированию глубокого маловодья, охватившего большую часть Европейской территории России, было перекрыто более 40 температурных рекордов, а масштабная засуха привела к возникновению огромного количества лесных пожаров. Следующая ситуация возникла зимой 2012–2013 гг., когда в марте высота снежного покрова в Центральной России достигла высоты более 80 см. Это привело к формированию весеннего половодья редкой повторяемости. В 2014 г., наоборот, наблюдалась исключительно малоснежная зима. Запас воды в снежном покрове был минимальным, что привело к раннему началу маловодного периода, срыву графиков пополнения водохранилищ Волжского каскада, остановке навигации на верхней Волге и Оке, многомиллионным ущербам в сфере круизного туризма.

Цель исследования – оценка характеристик экстремальных гидрологических явлений (наводнений и засух) и анализ их изменений за период инструментальных наблюдений для ряда речных бассейнов европейской части России. Анализ чувствительности масштабов и повторяемости указанных явлений – задача, приобретающая все большую актуальность в связи с проблемами уязвимости и

¹Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 14-17-00700).

адаптации к климатическим изменениям природных и социально-экономических систем.

Материалы и методы. Для статистического анализа были использованы многолетние данные о среднесуточных и среднемесечных расходах воды на примере 19 рек, расположенных в разных физико-географических зонах Европейской территории России (ЕТР) с площадью водосбора от 15300 км² (р. Угра, с. Товарково) до 348000 км² (р. Северная Двина, с. Усть-Пинега) с начала периода наблюдений до 2010 г.

Параметры экстремальных гидрологических явлений определялись как фрагменты многолетних гидрографов речного стока (суточных и месячных), выходящие за пределы заданных пороговых значений расходов воды редкой повторяемости (10 и 90%). Считалось, что период с расходами, в течение которого наблюдается снижение расходов ниже порогового $Q_{90\%}$ - дефицитный. За каждый год определялся объем дефицитов и их продолжительность. В случае, если сток оказывается выше величины $Q_{10\%}$, будет наблюдаться экстремальное увеличение водности. В этом случае также считается суммарное превышение выбранного порогового значения и продолжительность данного периода. Таким образом, по имеющимся временным рядам расходов воды определялись параметры масштаба – объемы максимального стока и глубина водного дефицита, показатели интенсивности (отношение объема дефицита или избытка воды к продолжительности явления), параметры продолжительности (продолжительности периода максимального стока и дефицитного периода), характеристики повторяемости экстремальных гидрологических явлений.

Статистические свойства распределения дефицитов воды и их продолжительностей в 1960-х годах были проанализированы Крамером и Либтером [1]. Метод применялся и Евджевичем [2] на основе статистической теории стока для анализа временных рядов. Статистические свойства распределения дефицитов воды, продолжительности засух (d) и объемов дефицитов (s) рекомендовались как параметры для определения межени в конкретном створе. Небольшой обзор применения этих методов, оценка возможности использования различных функций распределения для описания рядов дефицитов воды или, в статистической терминологии, "выбросов" изложены в книге М.В. Болгова и др. [3] и работе [4]. В резуль-

тате сравнения оценок было отмечено, что наилучшим образом соответствует имеющимся данным распределение Вейбулла.

Результаты. Модули стока, соответствующие верхним пороговым значениям в целом меняются в соответствии с зональными изменениями стока. Наибольшие величины порогового значения модуля стока наблюдаются на северо-востоке Европейской России в бассейнах р.Уса и Печора – 49 и 42 л/(с·км²) соответственно, а также в бассейне р. Вишера – 42 л/(с·км²). В среднем для рек севера значение модуля стока 10 % обеспеченности составляет от 20 до 30 л/(с·км²) и уменьшается с северо-востока на юго-запад. В примыкающем с юга бассейне Верхней Волги, Оки и Угры пороговые значения снижаются до 12–16 л/(с·км²). Реки бассейна Камы имеют существенно более высокие пороговые значения модуля стока – в среднем около 20–23 л/(с·км²). Минимальные значения характерны для бассейна Дона, особенно для р. Медведица (до 4 л/с·км²).

В пространственном распределении нижнего порогового значения наблюдается схожая картина – модуль стока 10% обеспеченности более 2 л/(с·км²) характерен для рек севера ЕТР, в бассейнах Верхней Волги и Оки он снижается до 1,7 л/(с·км²), а Ветлуги и Мокши – до 1 л/(с·км²). В бассейне Камы наблюдается увеличение показателя до 1,6–1,7 л/(с·км²). В бассейне Дона значение модуля стока 10 % обеспеченности снижаются до 0,5–1 л/(с·км²).

Число случаев превышения пороговых значений для северных рек составляет от 60 до 75% случаев, в бассейне Оки, Мокши и Угры – около 70%. В бассейне Камы эта величина равна 80–87%. В бассейне Дона количество превышений составляет около 65% случаев. Количество экстремально маловодных и экстремально многоводных периодов связано между собой: чем больше на реке наблюдается экстремально низких месячных расходов, тем больше на ней наблюдается и экстремально высоких расходов (рис. 1).

Таким образом, каждая река, обладая своими особенностями водного режима, имеет некую общую характеристику «экстремальности», характеризующую как количество маловодий, так и количество многоводий. Чем большей «экстремальностью» обладает водный режим реки, тем чаще на ней формируются как аномально низкие, так и аномально высокие периоды водности.

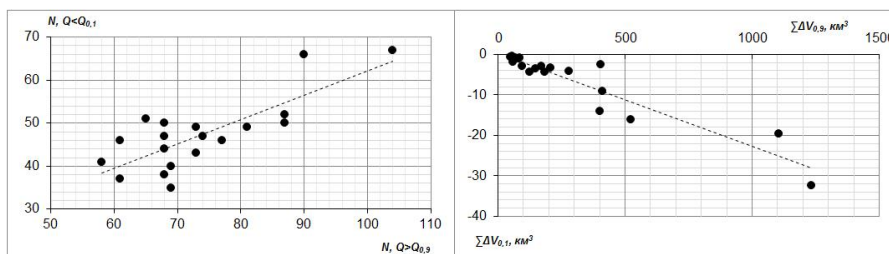


Рис. 1 – Связь числа периодов экстремально низкой и экстремально высокой водности (слева) и связь суммарного объема дефицита и суммарного объема превышения порогового значения

По полученным данным были рассчитаны значения показателя интенсивности для условий избытка и дефицита воды. При экстремально высоких значениях расходов воды величина интенсивности для исследуемых рек меняется от 0,55–0,57 в бассейне Дона и Верхней Волги до 13,7 в бассейне Северной Двины. При этом наблюдается зависимость показателя от площади водосбора (рис. 2). С увеличением площади водосбора величина интенсивности довольно быстро растет. При экстремально низких значениях расходов воды эта величина изменяется от 0,1 в бассейне Верхней Волги и Дона до 0,37 в бассейне Северной Двины. Зависимость также носит прямой характер – чем больше площадь водосбора, тем больше интенсивность маловодий, наблюдающихся на реке (рис. 2). При этом связь продолжительности экстремальных явлений с площадью водосбора практически отсутствует.

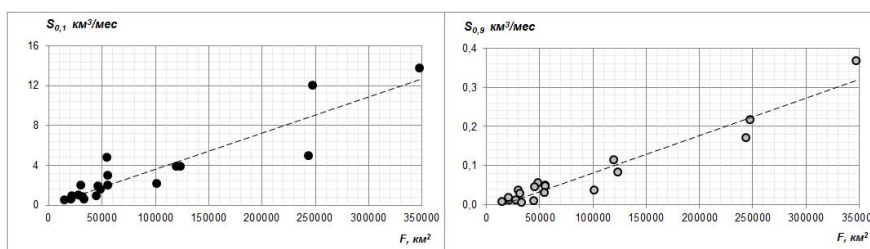


Рис. 2 – Зависимость показателя интенсивности S при превышении порогового значения $Q_{10\%}$ (слева) и при снижении расходов ниже порогового значения $Q_{90\%}$ от площади водосбора F

Рассмотрим изменение характеристик экстремальности стока во времени в различных регионах Европейской части России.

Для северных рек характерно плавное увеличение объемов превышений над пороговыми значениями и сокращение объемов дефи-

цитов. При этом частота возникновения экстремальных периодов водности воды сокращается с 80–100 % в начале наблюдений до 20–30% в настоящий момент. Чаще всего дефициты на Северной Двине, например, наблюдались в 1930–1940 гг., после чего началось устойчивое снижение частоты маловодий, при этом продолжительность дефицитов, наоборот увеличилась с 1–2 месяцев до трех, а иногда и четырех, а их объем уменьшился.

В бассейне Верхней Волги происходит заметное снижение объемов превышений и одновременное снижение объемов дефицитов – водный режим заметно выравнивается (рис. 3).

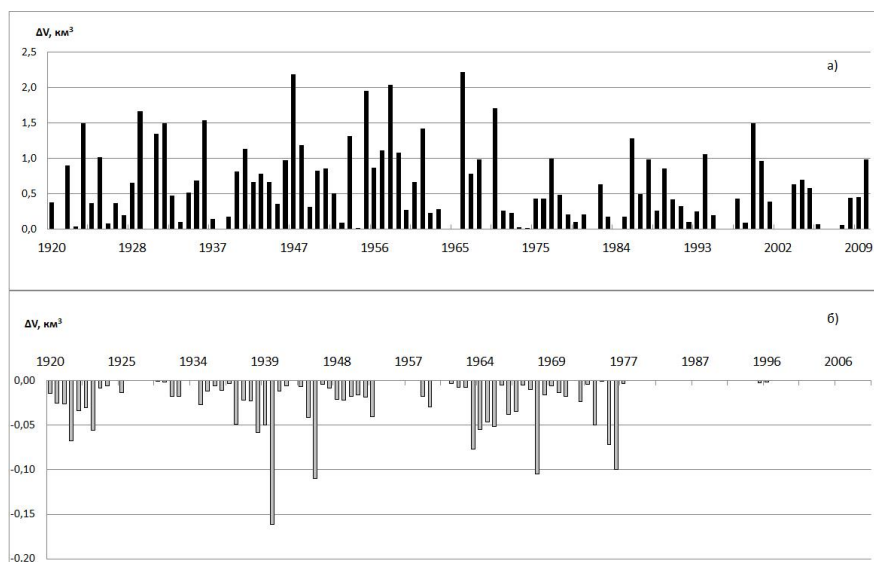


Рис. 3 – Изменение объема превышений (а), дефицитов (б) для р. Волга – г. Старица

На востоке региона – в бассейне Камы иная картина, схожая с тенденциями на севере ЕТР: происходит плавное увеличение объемов превышений и снижение объемов дефицитов, меженный период становится менее глубоким, а половодный, наоборот увеличивается в объеме (рис. 4). Для южной части ЕТР – бассейна Дона и Оки – наблюдаются наиболее явные изменения. Объемы превышений сокращаются в разы, а дефициты вообще перестали возникать, начиная с 1975–1977 гг. Полученные данные в целом отражают общие изменения водного режима рек ЕТР [5].

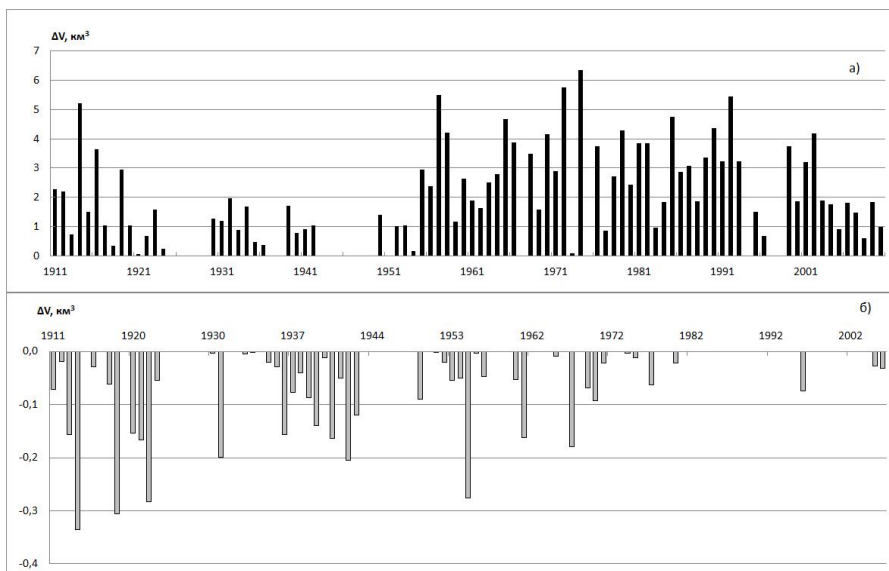


Рис. 4 – Изменение объема превышений (а), дефицитов (б) для р. Кама – с.Бондюг

Анализ суточных значений расходов воды за многолетний период позволяет проводить более глубокий анализ, например, для летней и зимней межени. Наиболее дефицитным на р. Ока (створ – г. Муром) был период с конца 1930-х по начало 1950-х годов (табл. 1–2). В это время зимние дефициты встречались практически ежегодно, летние – в 40–70% лет. При этом необходимо отметить, что зимние дефициты в целом глубже, продолжительнее и интенсивнее летних. Средняя продолжительность события дефицита была максимальна в 1930-е и 1940-е гг. (табл. 1 и 2). Она составляла 88 и 100 дней в год соответственно для зимней межени, 78 и 41 день – для летней. Затем данная характеристика понижалась до нуля уже в 1970-1980-е гг. в зимний период, и в 1960-е в летний период. Также закономерно уменьшался средний объем и интенсивность дефицитов в году (см. табл. 1, 2).

Таблица 1 – Характеристика экстремальности зимней межени на р. Ока – г. Муром по временным периодам

Период	Число лет с данными наблюдений	Зимняя межень				
		Число событий дефицитов	Частота возникновения событий, (случ./год)	Средний объем, м ³ /с/год	Средняя продолжительность дней/год	Средняя интенсивность событий, м ³ /с/день
1936-1939	4	5	1.25	4914	88.75	55.4
1940-1949	10	8	0.8	6642.9	100.3	66.2
1950-1959	10	8	0.8	1006.4	40.9	24.6
1960-1969	10	7	0.7	366.3	18.5	19.8
1970-1979	10	2	0.2	30.6	2.7	11.3
1980-1989	10	0	0	0	0	0
1990-1999	10	0	0	0	0	0
2000-2012	12	0	0	0	0	0

Таблица 2 – Характеристика экстремальности летней межени на р. Ока – г. Муром по временным периодам

Период	Число лет с данными наблюдений	Летняя межень				
		Число событий дефицитов	Частота возникновения событий, (случаев в год)	Средний объем, м ³ /с/год	Средняя продолжительность дней/год	Средняя интенсивность событий, м ³ /с/день
1936-1939	4	4	0.4	3246.25	77.5	41.8871
1940-1949	10	7	0.7	1117.9	41.2	27.1335
1950-1959	10	1	0.1	28.1	3.2	8.78125
1960-1969	10	0	0	0	0	0
1970-1979	10	1	0.1	7.7	0.8	9.625
1980-1989	10	0	0	0	0	0
1990-1999	10	0	0	0	0	0
2000-2012	12	0	0	0	0	0

Выводы. В работе выявлены возможные тенденции изменений масштабов и повторяемости экстремальных гидрологических явлений за 1930-2010 гг. Проведен анализ пространственно-временного распределения указанных параметров. Вследствие климатических изменений в последние 30 лет на большей части Европейской территории России происходит увеличение водности межени и уменьшение объема и высоты половодья, что сказалось на характеристиках экстремальных гидрологических явлений.

Литература

1. *Cramer H., Leadbetter M.R.* Stationary and related stochastic processes. N.Y.: Wiley, 1967.
2. *Yevjevich V.* An objective approach to definition and investigations of continental hydrological droughts. Fort Collins, 1967. (Hydrol. Pap. Colorado State Univ.; N 23).
3. *Болгов М. В., Мишон В. М., Сенцова Н. И.* Современные проблемы водных ресурсов и водообеспечения. М.: Наука, 2005. 318 с.
4. *Болгов М.В., Филиппова И.А.* Пороговые стохастические модели минимального стока // Метеорология и гидрология, 2006. № 3. С.88-94.
5. *Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Кричевец Г.Н., Сафронова Т.И., Киреева М.Б., Игонина М.И.* Формирование современных ресурсов поверхностных и подземных вод Европейской части России// Водные ресурсы. Том 39, № 6, 2012. С. 571-589.