



УДК 556.535.2(470.26)

В. Ф. Москалец, О. Е. Любимова

**ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ШТОРМОВЫХ НАВОДНЕНИЙ В УСТЬЕ РЕКИ ПРЕГОЛИ  
(КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Приведен анализ ряда максимальных значений годовых уровней за 1950–2009 гг. и исторических максимумов штормовых нагонов в г. Калининграде. Рассчитано уравнение линейного тренда; определена продолжительность нагонных циклов. Дан прогноз на 2016 г.

98

*This article offers an analysis of a series of maximum values of annual levels in 1950–2009 and historical maximums of storm onsets in Kaliningrad. The authors calculated the linear trend equation and identified the duration of onset cycles. The article offers a forecast for 2016.*

**Ключевые слова:** устье реки, уровень, штормовой нагон, вероятность наводнения.

**Key words:** river mouth, level, storm onset, flood probability.

Впервые оценки вероятности возникновения кризисных ситуаций, связанных со штормовыми нагонами морских вод в г. Калининграде, были выполнены Л. Г. Сергеевой [6]. Продолжая эти исследования, авторами была сформирована база данных [1] за период 1950–2009 гг. о максимальных годовых значениях уровня речной воды (табл. 1), включающая полный цикл восточного календаря продолжительностью 60 лет, который отражает 12-летнюю цикличность солнечной активности, а пяти повторений этих циклов, по современным представлениям, достаточно для кратковременного прогноза на несколько лет вперед.

Таблица 1

**Распределение максимальных значений годовых уровней  
в устье р. Преголи, 1950–2009 гг.**

Градации превышений уровня, см БС	Повторяемость, %	Обеспеченность, %
190–171	3,5	3,5
170–151	8,5	12,0
150–131	5,0	17,0
130–111	15,0	32,0
110–91	30,0	62,0
90–71	28,0	90,0
70–51	10,0	100,0

Хотя ряд непрерывных наблюдений в Калининградском морском рыбном порту (КМРП) значительно короче, например, петербургского, с учетом исторических данных [4] он позволяет охарактеризовать процесс чередования штормов разного уровня во второй половине XX в.,



когда опасность негативных последствий штормовых наводнений здесь значительно возросла. Исходный ряд был подвергнут стандартной статистической обработке, в результате чего получено распределение уровней, имеющее характер умеренной положительной асимметрии.

Некоторые исследователи [3] за начало наводнения принимают превышение при нагоне отметки 80 см БС, когда происходит подтопление некоторых городских объектов.

По расчету авторов, эмпирическая вероятность превышения особо опасной (кризисной) отметки 155 см БС (с обеспеченностью 10 %) характеризуется более масштабными неблагоприятными последствиями (затопление обширных территорий, прекращение деятельности портов, промышленных предприятий и т. д.).

Другие принятые характеристики ряда: среднее значение уровня  $H_{\max} = 103$  см, мода = 93, медиана = 105, среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 31$  см, коэффициент вариации 29 %, коэффициент асимметрии 0,4. Максимальный наблюдаемый уровень 188 см (1983–1999 гг.), минимальный 55 см (1966 г.). Исторически зафиксированный в 1913 г. уровень составляет около 170 см БС.

Исходя из предположения о случайности процесса и стационарности ряда наблюдаемых значений уровня в условиях логарифмически нормального закона получили уровень 189 см, возможный один раз в 100 лет (1 %-ная обеспеченность), и 225 см, возможный один раз в 1000 лет (табл. 2, 3).

Таблица 2

**Исходные статистические характеристики штормовых наводнений в устьевой области р. Преголи**

Период	$\bar{x}$ , см	$\pm\sigma$ , см	V, %
1950–1969	88	25,2	28,6
1970–1989	110	25,1	22,8
1990–2009	116	32,0	27,6
1950–2009	105	30,0	28,6

Таблица 3

**Оценки P (относительной частоты) и  $\Delta p$  (среднеквадратического отклонения) штормовых наводнений в устьевой области р. Преголи**

Период	Уровень, см (БС)					
	95		155		180	
	P	$\pm\Delta p$	P	$\pm\Delta p$	P	$\pm\Delta p$
1950–1969	0,4	0,11	0,05	0,05	–	–
1970–1989	0,7	0,1	0,1	0,07	0,05	0,05
1990–2009	0,6	0,11	0,2	0,09	0,05	0,05
1950–2009	0,6	0,06	0,1	0,04	0,03	0,02

Большинство подобных рядов представляются суперпозициями тренда (основной тенденции), циклов (квазипериодических колебаний) и случайных колебаний. Для изученного авторами ряда показателей



линейный тренд ( $y = 0,71t + 85$ ), где  $t$  — годы с 1950-го. Тенденцию и тип уравнения тренда выбирали визуально, а его параметры — методом наименьших квадратов. Колебание фактических значений уровня вод относительно тренда невелико, а для 20-летних интервалов по коэффициенту вариации составляет 0,22—0,28.

Коэффициент 0,71 в уравнении означает, что в среднем приращение максимальных уровней происходит на 7,1 мм в год. Ранее [2] было установлено, что средняя скорость повышения зимних максимумов уровня в морском канале г. Балтийска в 1910—1990 гг. составляет 3 мм/год. Различие в цифрах может указывать как на ускорение процесса повышения уровня моря, так и на наличие серии многоводных лет р. Преголи. Не исключено также повышение уровня за счет стеснения русла — заиления и захламления дна, растительности, береговых сооружений. Сравнение скорости повышения нагонных уровней в реке и средней скорости ветра со скоростью изменения средних годовых уровней частично ответило бы на вопрос о причинах их роста, однако этих данных пока нет.

Исключив из исходного ряда тренд, можно определить сумму циклических и случайных колебаний уровня вод, описываемых нормальным законом или близким к нему. Гармонический и спектральный анализы нового ряда позволяют выявить циклы колебаний уровня, но даже графически и визуально 16—18-летняя цикличность вполне отчетлива. Действительно, в конце 1913 г. по всему немецкому побережью Балтики наблюдались экстремальные нагоны, в том числе и в Кёнигсберге. Похожая ситуация возникла в начале марта 1949 г. после теплой зимы [7]. В изученный нами ряд последние данные не вошли, так как регулярные наблюдения в КМРП начались лишь в 1950 г. Циклонической активностью на Балтике отличались 1929—1933 гг., ежегодно максимальные уровни в устье р. Невы в этот период превышали 200 см, а 15 октября 1929 г. приблизились к 260 см БС в часы седьмого по величине наводнения за 289 лет наблюдений.

Наводнения в Петербурге и на немецком побережье Балтийского моря по годам совпадают с теснотой связи, выражаемой коэффициентом Фехнера  $k=0,66$ , а по датам совпадают только в половине случаев. В устьевой области р. Преголи ряд экстремальных (более 50 см над трендом) штормовых нагонов по годам выглядит следующим образом: 1894, 1913, 1929—1933 (нет данных), 1949 (по связи), 1967, 1983, 1999 (два последних значения максимальны), 2016—2018 (прогноз). Со временем население приустьевых районов приспособляется к высоким штормовым нагонам морских вод, извлекая грунт со дна рек, сооружая каналы, шлюзы, воздвигая дамбы и т.п. Поэтому в качестве критических следует рассматривать отклонения от постоянно растущих значений, в данном случае от тренда.

Некоторые исследователи [4] считают, что цикличность в петербургских наводнениях отсутствует. В то же время 16—18-летняя цикличность стока выявлена на реках Украины и запада России [5], что связывают с цикличностью погоды, в частности осадков.

Возможно выстроить и другой ряд экстремумов с 35-летней (в среднем) цикличностью: 1913, 1949, 1983, 2017—2018 гг. Подобный цикл Э. Брюкнер установил по динамике температуры, давления и осадков в Западной Европе в XVIII—XIX вв.



Если в основу прогноза положить предположение об устойчивости трендовой составляющей, то для периода 1990–2009 гг. колебание уровня относительно тренда было  $\pm 30$  см. С уровнем значимости критерия Стьюдента  $\alpha = 0,10$  доверительный интервал составит  $\pm 50$  см. В этом случае уравнение верхней границы интервала будет  $Y_v = 0,71t + 135$ , а нижней  $Y_n = 0,71t + 35$ . В этих пределах возможно 90 % колебаний максимального уровня в ближайшие годы.

Однако доверительный интервал прогноза не равен доверительному интервалу тренда. Чем больше период упреждения, тем шире интервал прогноза ввиду роста предельной ошибки. Поэтому ограничимся прогнозом до 2016 г., когда вполне возможны колебания уровня вод в устье р. Преголи в диапазоне  $80 < Y < 182$  см с вероятностью около 90 %. Достижение верхней границы в смежные годы будет указывать на сохранение цикличности.

### Список литературы

1. Любимова О.Е., Иванов С.Н., Бережный Б.Д. Анализ динамики уровня в устьевой зоне р. Преголи у г. Калининграда // Проблемы управления социально-экономическими процессами регионов : матер. VI междунар. науч.-практ. конф. Калининград, 2010. С. 103–107.
2. Москалец В.Ф. Обобщающие показатели в исследованиях природных и общественных процессов. Калининград, 2000.
3. Навроцкая С.Е., Гуцин О.А., Стонит Ж.И. Колебания уровня р. Преголи в Калининграде (1996–2008) // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. 2011. Вып. 1. С. 28–35.
4. Нежиховский Р.А. Река Нева и Невская губа. Л., 1981.
5. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Л., 1974.
6. Сергеева Л.Г. Исследование штормовых нагонов в устье р. Преголи у г. Калининграда // Изв. РГО. 1991. Т. 123, вып. 3. С. 275–279.
7. Хунфер П. Балтика – маленькое море, большие проблемы. Л., 1982.

### Об авторах

Владимир Федорович Москалец – канд. геогр. наук, доц., Калининградский филиал Московского государственного университета путей сообщения.

E-mail: ecogeography@rambler.ru

Ольга Евгеньевна Любимова – соиск., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: ecogeography@rambler.ru

### About authors

Dr Vladimir Moskalets, Associate Professor, Kaliningrad branch of Moscow State University of Railway Engineering.

E-mail: ecogeography@rambler.ru

Olga Lyubimova, PhD student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: ecogeography@rambler.ru