

УДК 004.78

Н. В. Стреблянская [N. V. Streblyanskaya]

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ ОСАДКОВ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА И ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЯ

Analysis and forecasting of precipitation levels in monitoring systems and laboratory control

В статье проанализированы статистические характеристики временного ряда уровня осадков. Сделан вывод о персистентности этого временного ряда: наличие свойства фрактальности и неподчинение его распределения нормальному закону. Выбран инструментарий для прогнозирования персистентных временных рядов – клеточно-автоматная модель. Прогнозирование рассматриваемого временного ряда осадков дало высокую точность.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, наводнение, статистические характеристики, показатель Херста, метод скользящей средней, клеточно-автоматная прогнозная модель, точность прогнозирования.

The article analyzes the statistical characteristics of the time series of precipitation levels. It is concluded that the persistence of the time series: the presence of the fractal properties and resistance to its distribution to the normal law. Selected tools for predicting persistent time series – cellular automata model. Forecasting of the considered time series of precipitation gave a high accuracy.

Key words: emergency situation, flood, statistical characteristics, Hurst exponent, the moving average method, the cellular automata forecast model, a accuracy of forecasting.

Согласно Федеральному закону «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [1] чрезвычайной ситуацией (ЧС) является обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийных или иных бедствий, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной зоне, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

В Положении о классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [2] ЧС классифицируются в зависимости от: количества людей, пострадавших в этих ситуациях, у которых оказались нарушены условия жизнедеятельности; размера материального ущерба; границы зон распространения поражающих факторов чрезвычайных ситуаций.

Таблица 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА ПОСТРАДАВШИХ
И ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ОХВАТА

№ п/п	Классы чрезвычайных ситуаций	Количество пострадавших		Территориальный охват (зона чрезвычайной ситуации)
		пострадали	нарушены условия жизнедеятельности	
1	локальные	не более 10 человек	не более 100 человек	не выходит за пределы территории объекта производственного или социального назначения
2	местные	свыше 10, но не более 50 человек	свыше 100, но не более 300 человек	не выходит за пределы населенного пункта, города, района
3	территориальные	свыше 50, но не более 500 человек	свыше 300, но не более 500 человек	не выходит за пределы субъекта Российской Федерации
4	региональные	свыше 50, но не более 500 человек	свыше 500, но не более 1000 человек	охватывает территорию двух субъектов Российской Федерации
5	федеральные	свыше 500 человек	свыше 1000 человек	выходит за пределы более чем двух субъектов Российской Федерации
6	трансграничные	ЧС, поражающие факторы которой выходят за пределы Российской Федерации, либо ЧС, которая произошла за рубежом, затрагивает территорию Российской Федерации		

Кроме того, в зависимости от количества пострадавших и территориального охвата чрезвычайные ситуации подразделяются на [2] (см. табл. 1): локальные, местные, территориальные, региональные, федеральные, трансграничные.

В зависимости от источника возникновения чрезвычайные ситуации могут иметь характер [4] (см. рис. 1 а, б, в): техногенный, экологический, природный.

В Приказе от 8 июля 2004 г. № 329 «Об утверждении критериев информации о чрезвычайных ситуациях» (в ред. Приказа МЧС России от 24.02.2009 № 92) определены источники чрезвычайных ситуаций и критерии отнесения к ним природных и техногенных явлений [3]. В настоящей статье рассматриваются опасные гидрологические явления. В таблице 2 приведены источники и критерии отнесения к ЧС этих явлений.

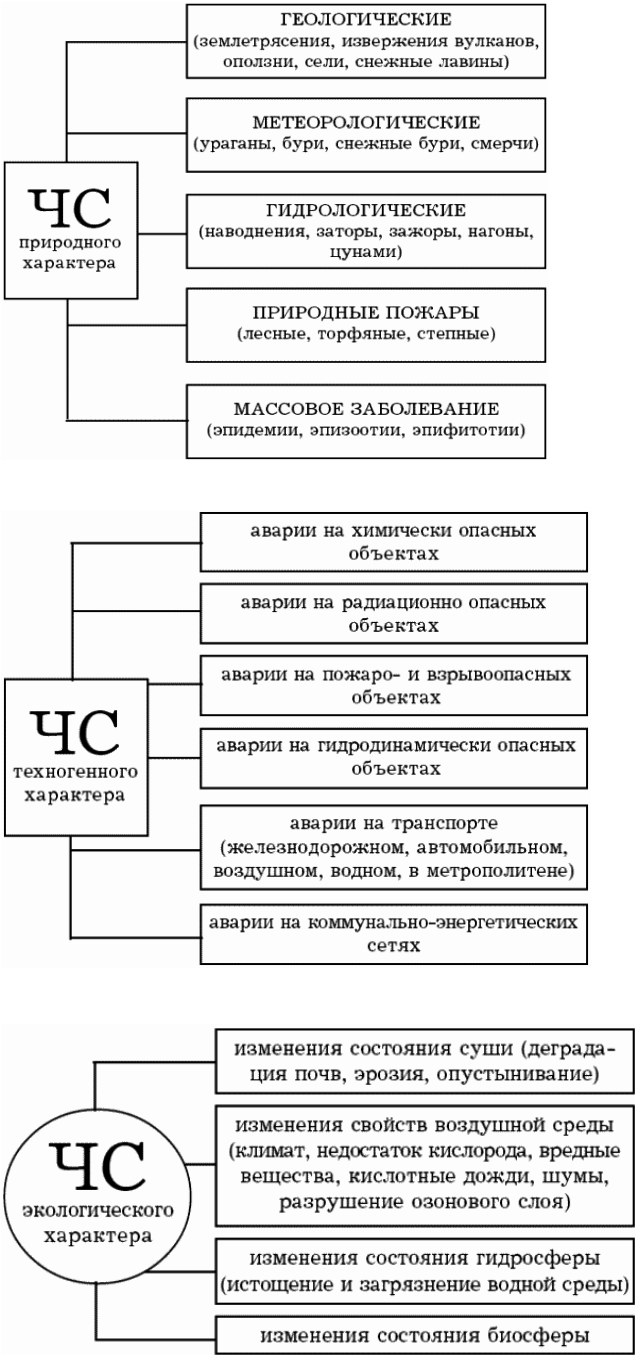


Рисунок 1. Виды чрезвычайных ситуаций в зависимости от источника возникновения.

Таблица 2. ИСТОЧНИКИ И КРИТЕРИИ ОТНЕСЕНИЯ К ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ ОПАСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Источники ЧС	А. Общие критерии		Б. Критерии, учитывающие особенности источника ЧС
1 Высокие уровни воды (половодье, зажор, затор, дождевой паводок), сель	Число погибших	2 чел. и более	Решение об отнесении явления к ЧС принимается органами управления по делам ГО и ЧС на основании данных территориальных органов
	Число госпитализированных	4 чел. и более	
2 Низкие уровни воды (низкая межень)	Прямой материальный ущерб:	100 МРОТ	Понижение уровня воды ниже проектных отметок водозаборных сооружений и навигационных уровней на судоходных реках в течение не менее 10 дней
	– гражданам – организации	500 МРОТ	
3 Раннее ледообразование	Гибель посевов с/х культур или природной растительности одновременно на площади	100 га и более	Решение об отнесении явления к ЧС принимается органами управления по делам ГО и ЧС на основании данных территориальных органов

Наводнения являются одним из видов опасных гидрологических явлений. Наводнением считается затопление территории водой, являющееся стихийным бедствием. Это стихийное бедствие может происходить в результате подъема уровня воды во время половодья или паводка, при заторе, зажоре, вследствие нагона в устье реки, а также при прорыве гидротехнических сооружений [5].

Анализ существующей литературы по тематике опасных гидрологических явлений позволил обобщить факторы, влияющие на формирование явления «наводнение»:

- уровень осадков;
- уровень снегозапасов в конце зимы;
- интенсивность снеготаяния;
- увлажненность и водопроницаемость почвы;
- зажорные и заторные явления;
- ветровой нагон.

Таблица 3. ВИДЫ НАВОДНЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ХАРАКТЕРА ПРОЯВЛЕНИЯ [7]

№ п/п	Виды наводнения	Причины возникновения	Характер проявления
1	Половодье	– весеннее таяние снега на равнинах; – весенне-летнее таяние снега и дождевые осадки в горах	– повторяются периодически в один и тот же сезон; – значительный и длительный подъем уровня воды
2	Паводок	– интенсивные дожди и таяние снега при зимних оттепелях	– отсутствует четко выраженная периодичность; – интенсивный и сравнительно кратковременный подъем уровня воды
3	Заторные наводнения (заторы)	– большое сопротивление водному потоку, образующееся на отдельных участках русла реки, возникающее при скоплении ледового материала в сужениях или излучинах реки во время ледохода	– образуются в конце зимы или весны; – характеризуются высоким и сравнительно кратковременным подъемом уровня воды в реке
4	Зажорные наводнения (зажоры)	– большое сопротивление водному потоку, образующееся на отдельных участках русла реки, возникающее при скоплении ледового материала в сужениях или излучинах реки во время ледостава	– образуются в начале зимы; – значительный (но не менее чем при заторе) подъем уровня воды и более значительный по времени продолжительности наводнения
5	Нагонные наводнения (нагоны)	– ветровые нагоны воды в морских устьях рек и на ветреных участках побережья морей, крупных озер, водохранилищ	– возможны в любое время года – отсутствуют периодичность и значительный подъем уровня воды
6	Наводнения, образующиеся при прорыве плотин	– излив воды из водохранилища или водоема, образующийся при прорыве сооружений напорного фронта (плотины, дамбы, и т.п.) или при аварийном сбросе воды из водохранилища, а также при прорыве естественной плотины, создаваемой природой при землетрясениях, оползнях, обвалах, движении ледников	– образуются волны прорыва, приводящие к затоплению больших территорий и к разрушению или повреждению встречающихся на пути объектов (зданий и сооружений и др.)

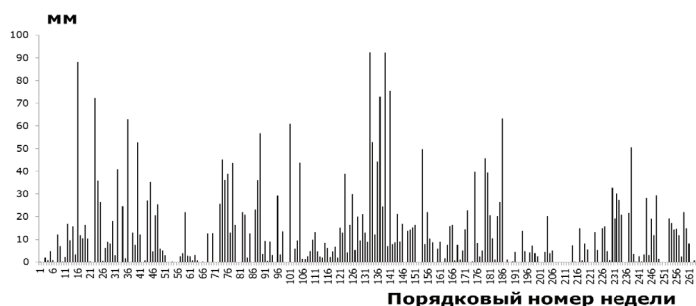


Рисунок 2.

Временной ряд уровней еженедельных осадков по Ставропольскому краю с 2009 г. по 2013 г.

Для мониторинга окружающей среды используются датчики, например: уровнемер (футшток, статические уровнемеры с блоком для передачи данных), осадкомер, влагомер, которые позволяют в комплексной обработки осуществлять прогноз чрезвычайной ситуации. Также существуют разнообразные автоматизированные системы мониторинга окружающей среды, которые позволяют в режиме реального времени производить измерения и передавать результаты измерений в центр мониторинга (ситуационный центр) или дежурно-диспетчерскую службу (ЕДДС).

В данной работе анализируется и прогнозируется временной ряд уровня еженедельных осадков по Ставропольскому краю за период с 2009 г. по 2013 г. Обозначим этот временной ряд через $W = \langle w_i \rangle$, $i = \overline{1, 265}$, его столбчатая диаграмма приведена на рисунке 2.

Большинство прогнозных моделей базируются на инструментарииматематической статистики, таких разделов, как: корреляционный анализ, регрессионный анализ, кластерный анализ, дискриминантный анализ, а также модели авторегрессии [6]. При этом имеют в виду, что прогнозирование на базе вышеуказанных статистических методов может быть успешным для аналитической информации, отражающей эволюцию стационарных процессов [6]. Кроме того, классическая статистика базируется на центральной предельной теореме (Закон больших чисел) [6], которая утверждает, что по мере проведения все большего числа наблюдений, предельное распределение случайных значений будет нормальным распреде-

Таблица 4. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПОКАЗАТЕЛЬ ХЕРСТА
ВРЕМЕННОГО РЯДА W ЕЖЕНЕДЕЛЬНЫХ ОСАДКОВ

№ п/п	Статистический показатель	Значение
1	Математическое ожидание, M	12,63
2	Дисперсия, D	294,79
3	Среднеквадратическое отклонение, S	17,17
4	$M-3S$	0
5	$M+3S$	64,14
6	Количество значений за пределами $3S$	4
7	Коэффициент вариации, V	135,9
8	Коэффициент асимметрии, A	2,2
9	Коэффициент эксцесса, E	8,6
10	Показатель Херста, H	0,71

лением. Последнее означает, что события должны быть независимыми, т.е. не должны влиять друг на друга, и при этом все они должны иметь одинаковую вероятность наступления.

Долгое время предполагалось, что поведение большинства реальных природных и социально-экономических систем подчиняется нормальному или «почти нормальному» закону. По этой причине в статье анализ и прогнозирование базируются на инструментарии и методах нелинейной динамики [7], которые инвариантны в отношении выполнения или невыполнения таких условий, как стационарность, независимость значений, подчинение поведения временного ряда нормальному закону распределения.

Основным условием «нормальности» временного ряда являются показатели центральных моментов: $A = 0$, $E = 3$, $V = 3$. Асимметричность плотности распределения и пониженные значения коэффициентов эксцесса и вариации характеризуют рассматриваемый временной ряд как «временной ряд с законом распределения, далеким от нормального».

Для оценки зависимости или независимости значений временного ряда можно воспользоваться алгоритмов нормированного размаха Херс-

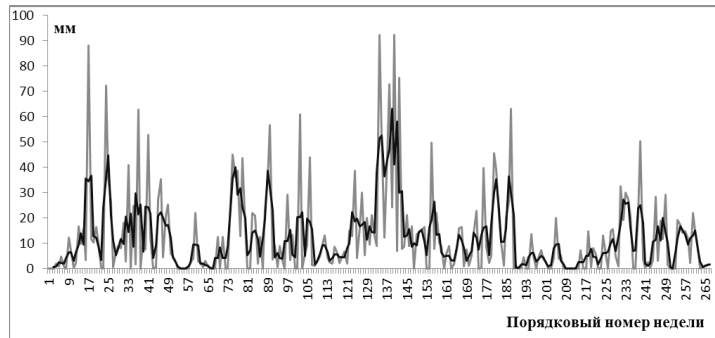


Рисунок 3. Результаты прогнозирования методом скользящей средней, где серая линия – временной ряд W , черная линия – скользящая средняя с окном прогноза $k = 3$.



Рисунок 4. Ошибки прогнозирования временного ряда W методом скользящей средней с окном прогноза $k = 3$.

та, который также называют алгоритмом R/S-анализа [8]. На выходе этого алгоритма получается числовая оценка зависимости или независимости, называемая показателем Херста H . Если этот показатель принимает значение на некотором временном отрезке значение $(0,6; 1)$, то в этом отрезке имеются зависимости между значениями. Свойство зависимости значений временного ряда называют персистентностью [7]. Если значения H находятся в интервале $(0,4; 0,6]$, то зависимостей между значениями вре-

Таблица 5. ПРОГНОЗЫ ВРЕМЕННОГО РЯДА W ЕЖЕНЕДЕЛЬНЫХ ОСАДКОВ

Прогнозируемое значение ВР	Термы	Числовые соответствия термов	Спрогнозированные степени принадлежности
$\hat{w}_{266}$	H	0,0	0,41
	C	14,8	0,35
	B	22,1	0,24

менного ряда нет, если же они находятся в интервале $(0; 0,4]$, то – зависимости кратковременные. В таблице 4 приведены статистические характеристики и показатель Херста временного ряда W .

Анализируя показатели таблицы 4, выявляем следующее: временной ряд W еженедельных осадков не подчиняется нормальному закону распределения и в нем значения являются между собой зависимыми. Этот временной ряд относится к классу персистентных временных рядов. Адекватным инструментарием для прогнозирования персистентных временных рядов является клеточно-автоматная модель [9].

Для сравнения результатов применения клеточно-автоматной прогнозной модели выполним прогнозирование рассматриваемого временного ряда наиболее распространенным адаптивным методом – построением скользящей средней [7]. Для временного ряда W выбрано окно прогноза $k=3$. На рисунке 3 представлены скользящая средняя и сам временной ряд W .

Как видно из рисунка 3, такое прогнозирование неплохо отражает временной ряд в среднем, но не может прогнозировать пики. А целью данной работы является прогнозирование именно этих пиков. Для рассматриваемого временного ряда еженедельных осадков найдены ошибки прогнозирования – значения относительных отклонений прогнозных величин от фактических величин (см. рис. 4). Средняя ошибка прогнозирования составила величину 69,3 %. Естественно считать, что прогнозирование с такой ошибкой является весьма ненадежным.

Спрогнозируем теперь временной ряд W клеточно-автоматной моделью. Согласно этой модели числовой временной ряд необходимо

трансформировать в лингвистический временной ряд. Для этого следует выбрать множество термов и применить метод огибающих ломаных, описанный в [9]. Для временного ряда W предлагается выбрать множество термов $Q = \{H, C, B\}$, где H – низкий уровень осадков, C – средний уровень осадков, B – высокий уровень осадков.

На выходе клеточно-автоматной модели имеется возможность получить 3 вида прогнозов:

– в виде лингвистического нечеткого множества

$$\hat{W}_{n+1}^{Лингв.} = \{(H; \mu_H), (C; \mu_C), (B; \mu_B)\};$$

– в виде числового нечеткого множества

$$\hat{W}_{n+1}^{Числ.} = \{(\hat{w}_H; \mu_H), (\hat{w}_C; \mu_C), (\hat{w}_B; \mu_B)\};$$

– в виде числа $\hat{w}_{n+1}$.

Результаты прогнозирования временного ряда W еженедельных осадков приведены в таблице 5.

Таким образом, имеем искомые прогнозы:

– лингвистическое нечеткое множество

$$\hat{W}_{266}^{Лингв.} = \{(H; 0,41), (C; 0,35), (B; 0,24)\};$$

– числовое нечеткое множество $\hat{W}_{266}^{Числ.} = \{(0; 0,41), (14,8; 0,35), (22,1; 0,24)\}$,

$$- \text{число } \hat{w}_{266} = 0 \cdot 0,41 + 14,8 \cdot 0,35 + 22,1 \cdot 0,24 \approx 10,5.$$

Средняя ошибка прогноз в виде числа составила величину 13,9%.

Полученный результат можно интерпретировать следующим образом: на первой неделе января 2014 года в Ставропольском крае ожидается низкий уровень осадков, что составит величину примерно 10,5 мм. Такой прогноз имеет точность $100\% - 13,9\% = 86,1\%$. Аналогичный прогноз методом скользящей средней имел точность $100\% - 69,3\% = 30,7\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 21.12.1994 №68-ФЗ (ред. от 28.12.2013) «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
2. «Положение о классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», утвержденному Постановлением Правительства РФ от 21 мая 2007 г. № 304 (с изменениями и дополнениями от 17 мая 2011 г.).

3. Приказ от 8 июля 2004 г. № 329 «Об утверждении критериев информации о чрезвычайных ситуациях» (в ред. Приказа МЧС России от 24.02.2009 № 92).
4. Иванюков, М. И., Алексеев В. С. Основы безопасности жизнедеятельности: учебное пособие. М.: Дашков и К, 2007. 153 с.
5. ГОСТ 19179–73. Гидрология суши. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1988 (переиздание 2009). 37 с.
6. Сигел Э. Практическая бизнес-статистика. М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. 1056 с.
7. Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б. Нестационарные структуры, динамический хаос, клеточные автоматы // Новое в синергетике. Загадки мира неравновесных структур. М.: Наука, 1996. (Серия «Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения»). С. 95–164.
8. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: Применение теории Хаоса в инвестициях и экономике. М.: Интернет-Трейдинг, 2004. 304 с.
9. Перепелица В. А., Тебужева Ф. Б., Темирова Л. Г. Структурирование данных методами нелинейной динамики для двухуровневого моделирования. Ставрополь: Ставропольское книжное издательство, 2006. 284 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Стреблянская Наталья Васильевна, ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», аспирант. Телефон 8-928-911-90; e-mail: nata379k@mail.ru.

Streblyanskaya Natalia Vasil'evna, North-Caucasus Federal University, graduate. Phone 8-928-911-90; e-mail: nata379k@mail.ru.