

Москвы и регионов», 2004. – С. 56–61.

Материал поступил в редакцию 30.04.09.

Власов Василий Анатольевич, аспирант

Тел. 8-903-299-05-58

E-mail: vlasovvasily@yandex.ru

Сметанин Владимир Иванович, доктор

технических наук, профессор кафедры «Организация и технология строительства объектов природообустройства»

Тел. 8 (495) 976-07-10

E-mail: Smetanin2000@yandex.ru

УДК 502/504:004:631.67

В. В. ШАБАНОВ, Э. С. ШАРШЕЕВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТРИЦ ПЕРЕХОДНЫХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ)

В работе рассмотрена возможность анализа метеорологических величин с использованием матриц переходных вероятностей. Это позволяет проследить климатические процессы и получить новые знания о режимах выпадения осадков, о ходе температуры воздуха, о процессе изменения относительной влажности воздуха. Такой подход дает возможность не только получить новое знание о природных процессах, но и позволяет избежать ошибок неправильной интерпретации данных.

Использование аппарата матриц переходных вероятностей; анализ метеорологических процессов; осадки, температуры, влажность воздуха; подготовка данных для математического моделирования.

The article considers a possibility of the analysis of meteorological values with usage of matrixes of transitional probabilities. This makes it possible to trace climatic changes and receive new knowledge on regimes of precipitation, course of air temperature and process of air relative humidity changes. Such approach allows not only receiving new knowledge about natural processes but also allows avoiding mistakes of the wrong data interpretation.

Usage of matrixes of transitional probabilities, analysis of meteorological processes, precipitation, temperatures, air humidity, preparation of the data for mathematical simulation.

Для расчета режима орошения необходимо знать режим влажности почвы в естественных условиях (до орошения). Режим орошения можно рассчитать и по недостатку водопотребления, но в этом случае будет затруднен расчет продуктивности и, как следствие, будет неточна оценка эффективности орошения. Данные по влажности почвы в богарных условиях можно получить

путем многолетних измерений на агрометеорологических постах (станциях). Можно провести расчет режима влажности почвы, используя общедоступные метеорологические параметры – объем осадков, температуру и относительную влажность воздуха. Обычно подобные расчеты проводят с использованием уравнений математической физики – уравнений влагопереноса в системе

«атмосфера – растение – почвогрунт – грунтовые воды». Использовать такие модели сложно, поскольку многие входящие параметры являются случайными величинами.

Существуют разные модификации таких моделей, их отличие – в неодинаковом представлении начальных и граничных условий. Авторы различных модификаций с целью получения более адекватного результата моделирования включают в исходные данные величины, которые не измеряются в гидрометеорологической сети. Это существенно затрудняет практическое использование таких моделей. По-видимому, необходим некоторый компромисс между достаточной точностью результатов моделирования и возможностью реализации модели. Таким компромиссом, по мнению авторов, является система моделей, разработанная профессором А. И. Головановым. Она широко известна и вошла во многие монографии и учебники*.

Система моделей, предложенная А. И. Головановым, наряду с необходимой точностью обладает неоспоримым преимуществом – возможностью использовать входные параметры, полученные из архивов Росгидромета. Промежуточные модели, по которым рассчитывается испарение, влагообмен, продуктивность посева и др., достаточно просты и не требуют постановки специальных экспериментов для определения параметров.

Однако для ускорения процедуры расчетов по любым моделям необходима определенная генерализация (осреднение) входящих величин (например, для проведения расчетов среднестатистического года или года определенной обеспеченности – вероятности превышения). В этой ситуации необходимо знать «внутреннюю структуру» случайного процесса. Как известно, фиксированный «срез» случайного процесса дает возможность работать со случай-

ными величинами, однако это «разрывает» процесс и в результате такого «разрыва» возможна потеря информации. Рассмотрению случайного процесса изменения всех входящих в модель величин и посвящена данная работа.

В качестве инструмента анализа авторы использовали матрицы переходных вероятностей основных входящих величин – осадков, температуры воздуха и относительной влажности воздуха. Этот инструмент интересен еще и тем, что в матрице переходных вероятностей, рассматривая условные распределения вероятностей, т.е. значения элементов матрицы по строкам, можно увидеть и свойства случайной величины.

Матрица переходных вероятностей строится на основании анализа случайного процесса перехода случайной величины от одного дискретного момента к другому (например, осадков, влажности воздуха или температур из одной декады в другую). Матрица переходных вероятностей имеет и некоторые прогностические свойства: зная, в каком численном диапазоне находилась метеорологическая величина в предыдущую декаду, можно сказать, с какой вероятностью и в каком диапазоне она будет находиться в последующую декаду.

Рассмотрим результаты такого анализа для каждой величины отдельно – атмосферных осадков, относительной влажности воздуха и температур воздуха на высоте двух метров. В этих матрицах по «краям» матрицы расположены градации (диапазоны) декадных осадков в миллиметрах (температур и влажности воздуха). В каждой ячейке матрицы показаны два числа: верхнее n – число случаев попадания осадков в данный диапазон; нижнее η – частота (относительное число попаданий). Частота равна числу попаданий в ячейку, деленных на общую сумму случаев по строке матрицы N .

Анализ матрицы переходных вероятностей осадков показал, что матрица имеет треугольную форму. Основные значения расположены в верхнем левом углу.

*Природообустройство [Текст] / А. И. Голованов [и др.]; под ред. А. И. Голованова. – М. : КолосС, 2008. – 552 с.

Максимальные значения «прижаты» к левой грани матрицы (табл. 1).

Каждую строку матрицы можно рассматривать как условное распределение вероятностей. Все эти распределения обладают общим свойством – они асимметричны. Это означает, что при любых значениях осадков в предыдущую

декаду в последующей декаде осадки с большой вероятностью будут ниже. Интересно, что чем выше предыдущие осадки, тем более «растянутой» является условная кривая распределения, т. е. после высоких осадков вероятность минимальных осадков (0...5 мм) равна вероятности попадания в следующий диапазон.

Таблица 1

Матрица сумм атмосферных осадков в многолетнем разрезе (мм) с первой декады января по третью декаду декабря. Метеостанция Каракол Иссык-Кульской области Республики Кыргызстан (1960–1990)

Града-ция, мм	0...5	5...10	10...15	15...20	20...25	25...30	30...35	35...40	40...45	45...50	50...55	55...60	60...65	Σ
0...5	185 0,449	82 0,199	43 0,104	42 0,102	20 0,049	14 0,034	11 0,027	7 0,017	2 0,005		3 0,007	2 0,005	1 0,002	412
5...10	77 0,361	47 0,220	33 0,154	18 0,084	10 0,046	5 0,023	2 0,009	7 0,032	4 0,018	4 0,018	1 0,004	3 0,014	1 0,004	212
10...15	51,0 0,344	30,0 0,202	19,0 0,128	14,0 0,094	11,0 0,074	8,0 0,054	5,0 0,033	2,0 0,013	2 0,013	2 0,013		1 0,006	1 0,006	146
15...20	40 0,374	13 0,121	15 0,140	9 0,084	11 0,103	5 0,047	3 0,028	6 0,056		3,0 0,028	1 0,009	1,0 0,009		107
20...25	21,0 0,29	12,0 0,16	15,0 0,21	5,0 0,07	8,0 0,11	5,0 0,07	3,0 0,04		3 0,04				1 0,01	73
25...30	15 0,319	7 0,148	9 0,191	2 0,042	5 0,106	3 0,063	1 0,021	2 0,042	1 0,021	1 0,021			1 0,021	47
30...35	11 0,333	9 0,272	2 0,060	4 0,121		1 0,030	2 0,060		2 0,060	1 0,030		1 0,030		33
35...40	8 0,32	3 0,12	3 0,12	5 0,2	3 0,12		2 0,08	1 0,04						25
40...45	3 0,214	2 0,142	2 0,142	3 0,214		3 0,214		1 0,071						14
45...50	3 0,272	3 0,272		1 0,090	2 0,181		1 0,090				1 0,090			11
50...55	2 0,333	2 0,333		1 0,166			1 0,166							6
55...60	1 0,125		2 0,25	2 0,25	1 0,125	2 0,25								8
60...65	1 0,2		2 0,4		1 0,2	1 0,2								5

Анализ матрицы позволяет сделать следующее заключение: закон распределения вероятностей выпадения осадков в течение года существенно отличается от нормального закона распределения, поэтому недостаточно характеризовать его только первыми двумя моментами – математическим ожиданием и дисперсией. Использовать среднюю арифметическую величину в качестве характеристики «среднего» года также нельзя, так как вероятность ее будет менее 50 %. В связи с тем что процесс выпадения осадков может быть нестационарным во времени, т. е. его характеристики могут изменяться, матрица осадков за годовой период может отличаться от матриц за другие периоды года.

Рассмотрим матрицы за другие периоды. Матрица за безморозный период приведена ниже (табл. 2).

Структура матрицы не изменилась и выводы, сделанные для осадков, выпавших в течение года, могут быть применены и к теплему периоду, который характеризуется тем, что средняя температура декады устойчиво превышает 0 °С. Однако следует отметить, что вероятность выпадения более высоких (чем в первом случае) осадков несколько повысилась. Условная кривая распределения стала более «распластанной».

Для сельского хозяйства наиболее важным является вегетационный период, который характеризуется условием

Таблица 2

Матрица атмосферных осадков за безморозный период (мм) в многолетнем разрезе при переходе температуры воздуха $t > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (11.03–20.11)

Града-ция, мм	0...5	5...10	10...15	15...20	20...25	25...30	30...35	35...40	40...45	45...50	50...55	55...60	60...65	Σ
0...5	54 0,256	47 0,223	27 0,128	30 0,142	18 0,085	12 0,057	8 0,038	7 0,033	2 0,009	0,000	3 0,014	2 0,009	1 0,005	211
5...10	41 0,278	29 0,197	23 0,156	16 0,108	8 0,054	7 0,047	2 0,013	7 0,047	4 0,027	4 0,027	1 0,006	3 0,020	1 0,006	146
10...15	35 0,307	20 0,175	15 0,131	13 0,114	9 0,078	7 0,061	5 0,043	2 0,017	2 0,017	2 0,017	0,000	1 0,008	1 0,008	112
15...20	25 0,271	13 0,141	16 0,173	9 0,097	10 0,108	5 0,054	4 0,043	5 0,054	0,000	3 0,032	1 0,010	1 0,010		92
20...25	15 0,234	11 0,171	12 0,187	5 0,078	9 0,140	5 0,078	3 0,046	0,000	3 0,046	0,000	0,000	0,000	1 0,015	64
25...30	14 0,311	6 0,133	10 0,222	2 0,044	4 0,088	3 0,066	1 0,022	2 0,044	1 0,022	1 0,022	0,000	0,000	1 0,022	45
30...35	8 0,266	9 0,300	2 0,066	4 0,133	0,000	1 0,033	2 0,066	0,000	2 0,066	1 0,033	0,000	1 0,033		30
35...40	9 0,360	3 0,120	3 0,120	5 0,200	2 0,080	0,000	2 0,080	1 0,040						25
40...45	3 0,214	2 0,142	2 0,142	3 0,214	0,000	3 0,214	0,000	1 0,071						14
45...50	3 0,272	3 0,272	0,000	1 0,090	2 0,181	0,000	1 0,090	1 0,090						11
50...55	2 0,333	2 0,333	0,000	1 0,166	0,000	0,000	1 0,166							6
55...60	1 0,125	0,000	2 0,250	2 0,250	1 0,125	2 0,250								8
60...65	1 0,20	0,00	2 0,40	0,00	1 0,20	1 0,20								5

$t_{\text{дек}} > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ или $t_{\text{дек}} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в зависимости от культуры). Матрица за вегетационный период приведена в табл. 3.

И в этом случае структура матрицы

Таблица 3

Матрица атмосферных осадков за вегетационный период в многолетнем разрезе при переходе температуры воздуха $t > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (21.04–20.10)

Града-ция, мм	0...5	5...10	10...15	15...20	20...25	25...30	30...35	35...40	40...45	45...50	50...55	55...60	60...65	Σ
0...5	54 0,256	47 0,223	27 0,128	30 0,142	18 0,085	12 0,057	8 0,038	7 0,033	2 0,009	0,000	3 0,014	2 0,009	1 0,005	211
5...10	41 0,278	29 0,197	23 0,156	16 0,108	8 0,054	7 0,047	2 0,013	7 0,047	4 0,027	4 0,027	1 0,006	3 0,020	1 0,006	146
10...15	35 0,307	20 0,175	15 0,131	13 0,114	9 0,078	7 0,061	5 0,043	2 0,017	2 0,017	2 0,017	0,000	1 0,008	1 0,008	112
15...20	25 0,271	13 0,141	16 0,173	9 0,097	10 0,108	5 0,054	4 0,043	5 0,054	0,000	3 0,032	1 0,010	1 0,010		92
20...25	15 0,234	11 0,171	12 0,187	5 0,078	9 0,140	5 0,078	3 0,046	0,000	3 0,046	0,000	0,000	0,000	1 0,015	64
25...30	14 0,311	6 0,133	10 0,222	2 0,044	4 0,088	3 0,066	1 0,022	2 0,044	1 0,022	1 0,022	0,000	0,000	1 0,022	45
30...35	8 0,266	9 0,300	2 0,066	4 0,133	0,000	1 0,033	2 0,066	0,000	2 0,066	1 0,033	0,000	1 0,033		30
35...40	9 0,360	3 0,120	3 0,120	5 0,200	2 0,080	0,000	2 0,080	1 0,040						25
40...45	3 0,214	2 0,142	2 0,142	3 0,214	0,000	3 0,214	0,000	1 0,071						14
45...50	3 0,272	3 0,272	0,000	1 0,090	2 0,181	0,000	1 0,090	1 0,090						11
50...55	2 0,333	2 0,333	0,000	1 0,166	0,000	0,000	1 0,166							6
55...60	1 0,125	0,000	2 0,250	2 0,250	1 0,125	2 0,250								8
60...65	1 0,20	0,00	2 0,40	0,00	1 0,20	1 0,20								5

не меняется – матрица осталась треугольной. Вместе с тем, увеличилась вероятность появления более высоких осадков, особенно при малых значениях осадков в предыдущую декаду. Если осадки являются основной «приходной статьей» в водном балансе (по крайней мере, для этого района), то испарение – основной расходной.

Испарение существенным обра-

зом зависит от влажности воздуха, поэтому следующей величиной для стохастического анализа была выбрана относительная влажность воздуха. Матрицы переходных вероятностей для этого метеорологического параметра приведены в таблицах 4, 5, 6.

В этой матрице по «краям» расположены градации через 5 % (табл 4). Диапазон изменения влажности 25...85 %.

Таблица 4

Матрица переходных вероятностей среднедекадной относительной влажности воздуха (с января по декабрь в многолетнем разрезе, %)

Градация, %	25...30	30...35	35...40	40...45	45...50	50...55	55...60	60...65	65...70	70...75	75...80	80...85	Σ
25...30	1 0,11	4 0,44	4 0,44										9
30...35	0 0,000	20 0,308	20 0,308	9 0,138	10 0,154	4 0,062	1 0,015						65
35...40	5 0,029	23 0,135	48 0,282	50 0,294	30 0,176	11 0,065	2 0,012	1 0,006					170
40...45	1 0,005	11 0,051	50 0,233	73 0,340	56 0,260	20 0,093	4 0,019	0 0					215
45...50	1 0,004	5 0,022	35 0,154	52 0,229	65 0,286	46 0,203	17 0,075	5 0,022	1 0,004				227
50...55	1 0,006	1 0,006	10 0,057	27 0,155	39 0,224	45 0,259	27 0,155	19 0,109	5 0,029				174
55...60			3 0,025	4 0,033	15 0,124	28 0,231	34 0,281	27 0,223	10 0,083				121
60...65					10 0,111	13 0,144	28 0,311	25 0,278	10 0,111	2 0,022	2 0,022		90
65...70					2 0,059	5 0,147	6 0,176	11 0,324	6 0,176	3 0,088	0 0,000	1 0,029	34
70...75							3 0,375	2 0,25	2 0,25	1 0,125			8

Таблица 5

Матрица переходных вероятностей среднедекадной относительной влажности воздуха за теплый период (%) в многолетнем разрезе при переходе температуры воздуха от $t > 0$ °С до $t < 0$ °С (11.03–20.11)

Градация, %	25...30	30...35	35...40	40...45	45...50	50...55	55...60	60...65	65...70	Σ
25...30	1 0,11	4 0,44	4 0,44							9
30...35	0 0,016	20 0,000	20 0,313	9 0,313	9 0,141	4 0,141	1 0,063	0,016		64
35...40	5 0,030	23 0,139	48 0,289	49 0,295	30 0,181	10 0,060	1 0,006			166
40...45	1 0,005	11 0,055	50 0,25	70 0,35	50 0,25	15 0,075	3 0,015			200
45...50	1 0,005	4 0,021	34 0,179	50 0,263	58 0,305	34 0,179	7 0,037	2 0,011		190
50...55	1 0,010	1 0,010	7 0,071	19 0,192	34 0,343	21 0,212	8 0,081	6 0,061	2 0,020	99
55...60			3 0,1	3 0,1	8 0,267	9 0,300	4 0,133	3 0,1		30
60...65					2 0,182	3 0,273	4 0,364	2 0,182		12

Таблица 6

Матрица переходных вероятностей среднедекадной относительной влажности воздуха за вегетационный период (%) в многолетнем разрезе при переходе температуры воздуха от $t > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (21.04–20.10)

Града-ция, %	25...30	30...35	35...40	40...45	45...50	50...55	55...60	Σ
25...30	1 0,2	2 0,4	2 0,4					5
30...35	1 0,018	16 0,29	19 0,34	9 0,16	4 0,072	4 0,072	1 0,018	55
35...40	2 0,015	16 0,119	36 0,268	45 0,336	26 0,194	8 0,059	1 0,0074	134
40...45		9 0,052	49 0,282	63 0,362	40 0,229	9 0,052	4 0,023	174
45...50		5 0,036	26 0,188	43 0,311	46 0,333	17 0,123	1 0,0072	138
50...55	1 0,024	2 0,049	3 0,073	15 0,366	17 0,415	2 0,049		41
55...60			1 0,143	0 0	3 0,43	3 0,43		7

Все три матрицы (см. табл. 4, 5, 6) квазидиагональны, т. е. максимальные значения частот появления той или иной влажности воздуха лежат почти на диагонали матрицы. Такая структура матрицы дает возможность предположить, что условные законы распределения этой величины приближаются к нормальному закону. Особенно четко это проявляется за годовой период (табл. 4), что позволяет использовать весь аппарат теории вероятностей, разработанный для данного вида распределения.

Однако для всех матриц диагональ на высоких влажностях отклоняется в сторону более низких значений. Эту тенденцию можно только отметить, но количественно установить ее сложно, так как количество точек в этих диапазонах мало.

Один из важнейших метеорологических параметров – температура воздуха. По сути, это энергетическая характеристика, которая важна как для метеорологических процессов (влияние на влажность воздуха, ветра), но и для процессов биологических. Температура очень влияет на продуктивность растений, даже изменение ее на десятые доли градуса может привести к существенному изменению продуктивности. Так, например, изменение температуры на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне $21...25\text{ }^{\circ}\text{C}$ может

привести к изменению продуктивности картофеля на $5...10\text{ }%$.

В таблицах 7, 8 и 9 приведены матрицы переходных вероятностей температур для различных периодов – годового, теплого и вегетационного.

Матрица (см. табл. 7) имеет квазидиагональный характер. Температура с большей вероятностью остается такой же, какой была в предыдущую декаду. Законы распределения близки к нормальному.

Весь массив данных достаточно четко разбивается на два: первый – зимний (градации от -11 до $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$), второй – летний от $+4$ до $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$. В зимний период наиболее часто появляются температуры от $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. В летний период наиболее часто встречаются температуры $16...19\text{ }^{\circ}\text{C}$. Характерно, что эти температуры оптимальны для выращивания картофеля.

В отличие от предыдущей (см. табл. 7) эта матрица генетически более однородная, почти диагональная. Наиболее часто встречаются температуры, находящиеся в диапазоне $12...15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Матрица переходных вероятностей температур вегетационного периода также квазидиагональна, наиболее часто встречаются температуры в диапазоне $17...18\text{ }^{\circ}\text{C}$, что, как было сказано выше, является оптимальным для

Таблица 7

Матрица среднедекадной температуры воздуха (начало первой декады января – конец третьей декады декабря), по данным метеостанции Каракол Иссык-Кульской области Республики Кыргызстан (диапазон градаций – по 3 °С; объединенная матрица)

Града-ция, °С	-11-(−8)	-8-(−5)	-5-(−2)	-2-1	1-4	4-7	7-10	10-13	13-16	16-19	19-22	Σ
-11-(−8)	3 0,150	13 0,650	3 0,150	1 0,050								20
-8-(−5)	13 0,140	43 0,462	32 0,344	5 0,054								93
-5-(−2)	3 0,022	29 0,212	69 0,504	30 0,219	5 0,036	1 0,007						137
-2-1	1 0,008	8 0,068	32 0,271	49 0,415	22 0,186	6 0,051						118
1-4			3 0,035	25 0,294	28 0,329	19 0,224	9 0,106	1 0,012				85
4-7			1 0,012	4 0,048	19 0,229	30 0,361	20 0,241	9 0,108				83
7-10					9 0,095	21 0,221	25 0,263	25 0,263	14 0,147	1 0,011		95
10-13				1 0,008	2 0,017	5 0,042	34 0,288	37 0,314	35 0,297	4 0,034		118
13-16						1 0,006	7 0,044	38 0,241	67 0,424	42 0,266	3 0,019	158
16-19							1 0,006	4 0,024	38 0,232	93 0,567	28 0,171	164
19-22									7 0,171	24 0,585	10 0,244	41

Примечание: верхняя цифра – это количество случаев попадания средне декадных температур воздуха в данный диапазон, нижняя – n – частота (относительное число попаданий); частота равна числу попаданий в ячейку, деленному на общую сумму случаев по строке матрицы N.

Таблица 8

Матрица среднедекадной температуры воздуха теплого периода в многолетнем разрезе (начало второй декады марта – конец второй декады ноября) при температуре воздуха в диапазоне от $t > 0$ °С до $t < 0$ °С (диапазон градаций – 2 °С)

Града-ция, °С	-5-(−3)	-3-(−1)	-1-(1)	1-3	3-5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-15	15-17	17-19	19-21	21-23	Σ
-5-(−3)				1 0,5	1 0,5										2
-3-(−1)			2 0,33	2 0,33	1 0,17	1 0,17									6
-1-(1)	1 0,03	4 0,13	9 0,30	9 0,30	4 0,13	3 0,10									30
1-3	1 0,02	2 0,04	5 0,10	18 0,37	10 0,20	9 0,18	3 0,06	1 0,02							49
3-5		1 0,02	8 0,17	9 0,19	12 0,25	6 0,13	9 0,19	2 0,04	1 0,02						48
5-7			3 0,05	8 0,13	8 0,13	19 0,31	14 0,23	7 0,11	2 0,03						61
7-9				3 0,05	8 0,13	14 0,22	7 0,11	19 0,30	10 0,16	2 0,03	1 0,02				64
9-11			1 0,01	0 0,00	3 0,04	4 0,06	18 0,25	14 0,19	15 0,21	15 0,21	2 0,03				72
11-13					1 0,01	4 0,05	7 0,10	12 0,16	18 0,25	20 0,27	9 0,12	2 0,03			73
13-15						1 0,01	5 0,04	12 0,10	19 0,16	43 0,37	21 0,18	13 0,11	2 0,02		116
15-17								5 0,05	8 0,08	19 0,19	29 0,29	33 0,33	7 0,07		101
17-19									1 0,01	15 0,14	24 0,22	45 0,42	18 0,17	4 0,04	107
19-21										4 0,11	12 0,32	14 0,38	7 0,19		37
21-23													3 0,75	1 0,25	4

Таблица 9

Матрица среднедекадной температуры воздуха в вегетационный период в многолетнем разрезе (начало третьей декады апреля – конец второй декады октября) при переходе температуры воздуха от $t > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (диапазон градаций – $1\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Градация, $^{\circ}\text{C}$	4...5	5...6	6...7	7...8	8...9	9...10	10...11	11...12	12...13	13...14	14...15	15...16	16...17	17...18	18...19	19...20	20...21	21...22	Σ
4...5				2 0,67	0 0,00	1 0,33													3
5...6	1 0,13	1 0,13	1 0,13	2 0,25	0 0,00	1 0,13	1 0,13	0 0,00	0 0,00	1 0,13									8
6...7		1 0,07	3 0,20	1 0,07	5 0,33	1 0,07	0 0,00	1 0,07	2 0,13	0 0,00	0 0,00	1 0,07							15
7...8	1 0,05	1 0,05	1 0,05	1 0,05	4 0,18	4 0,18	4 0,18	2 0,09	3 0,14	1 0,05									22
8...9	1 0,06	1 0,06	2 0,13	4 0,25	0 0,00	3 0,19	0 0,00	2 0,13	2 0,13	1 0,06									16
9...10		2 0,06	0 0,00	4 0,13	3 0,10	2 0,06	2 0,06	8 0,26	1 0,03	6 0,19	2 0,06	1 0,03							31
10...11			4 0,11	5 0,14	1 0,03	6 0,17	6 0,17	4 0,11	6 0,17	2 0,06	1 0,03	1 0,03							36
11...12		1 0,03	2 0,06	1 0,03	2 0,06	3 0,09	2 0,06	5 0,14	6 0,17	5 0,14	6 0,17	0 0,00	1 0,03						35
12...13			1 0,02	1 0,02	0 0,00	2 0,05	5 0,12	4 0,10	6 0,14	9 0,21	6 0,14	3 0,07	3 0,07	2 0,05					42
13...14		1 0,02	0 0,00	1 0,02	1 0,02	5 0,09	6 0,10	4 0,07	7 0,12	10 0,17	10 0,17	4 0,07	4 0,07	3 0,05	1 0,02	1 0,02			58
14...15				1 0,02	0 0,00	3 0,06	5 0,09	3 0,06	5 0,09	6 0,11	6 0,11	10 0,19	7 0,13	6 0,11	2 0,04				54
15...16							4 0,07	2 0,04	2 0,04	6 0,11	6 0,11	6 0,11	14 0,25	11 0,20	4 0,07	1 0,02			56
16...17						1 0,02	0 0,00	0 0,00	2 0,03	4 0,07	6 0,10	11 0,19	10 0,17	13 0,22	8 0,14	2 0,03	1 0,02	1 0,02	59
17...18										3 0,05	6 0,10	9 0,15	11 0,18	19 0,32	5 0,08	7 0,12			60
18...19									2 0,06	0 0,00	2 0,06	6 0,18	6 0,18	5 0,15	5 0,15	1 0,03	3 0,09	3 0,09	33
19...20										2 0,13	0 0,00	2 0,13	4 0,27	1 0,07	4 0,27	1 0,07	1 0,07		15
20...21										1 0,17	1 0,17	1 0,17	0 0,00	0 0,00	2 0,33	0 0,00	0 0,00	1 0,17	6
21...22												1 0,25	0 0,00	0 0,00	1 0,25	2 0,50			4

возделывания картофеля. Вместе с тем, более дробная градация ($1\text{ }^{\circ}\text{C}$) делает матрицу более неоднородной (появляются ячейки с нулевыми значениями).

Выводы

Использовать аппарат матриц переходных вероятностей целесообразно для анализа метеорологических процессов при подготовке данных для математического моделирования. Такой

подход дает возможность получить новое знание о природных процессах и позволяет избежать ошибок неправильной интерпретации данных.

Материал поступил в редакцию 15.09.09.

Шабанов Виталий Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией комплексных мелираций

Тел. 8 (495) 976-42-48

Шаршеев Эрмек Сабирович, аспирант

Тел. 8 (495) 976-47-73