УДК 502 / 504: 37.03

МЕТОД ПОЭТАПНОГО АНАЛИЗА ДИНАМИКИ УРОВНЯ РЕКИ

П.М. Мазуркин

Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола, Россия
kaf_po@mail.ru

Для примера данные водомерного поста в течении одного года приняты по учебнику инженерной геодезии для наблюдений за 1975 год уровня реки Угрюмая около с. Горное. В статье излагается метод, в соответствии с которым, последовательно выделяются этапы годичной динамики уровня воды в реке или иных гидрологических показателей.

Ключевые слова: уровень реки, годичная динамика, поэтапный анализ

METHOD OF STEP ANALYSIS DYNAMICS OF THE RIVER LEVEL

P.M. Mazurkin

Mari State Technical University, Yoshkar-Ola, Russia

For example, the data of a gauge for one year adopted textbook for engineering geodesy observations in 1975 the level of the river Ugrumaya near the village Gornoe. The paper outlines a method whereby, consistently distinguished stages annual dynamics of water level in the river or other hydrologic indicators.

Keywords The level of the river, one-year dynamics, incremental analysis

Основы статистической гидрологии приведены в учебном пособии [1]. Для примера данные водомерного поста в течении одного года приняты по учебнику инженерной геодезии [2] для наблюдений за 1975 год уровня реки Угрюмая около с. Горное. В статье излагается метод, в соответствии с которым, последовательно выделяются ***этапы годичной динамики*** уровня воды в реке или иных гидрологических показателей.

Метод поэтапного анализа. В задачи гидрометрии входят непрерывные измерения уровней и глубин водных потоков, скоростей и направлений течения жидкости, расходов воды и наносов, гидравлических уклонов и других гидрологических показателей у элементов водных объектов, характеризующих их режим поведения во времени.

Уровни воды в реках постоянно изменяются. Наблюдения за уровнями ведут

ежедневно на гидрологических постах, оборудованных специальными приборами. Сроки измерения уровней зависят от режима водного объекта и назначения поста. Первичная обработка заключается в приведении измеренных уровней к нулю графика гидрологического поста, вычислении среднесуточных уровней, выборе максимальных и минимальных уровней, составление годовой таблицы и хронологического графика колебаний среднесуточных уровней воды. Задача гидрометрических исследований - наметить такие мероприятия, чтобы за счёт изучения сезонов годичного цикла подготовиться к рациональной, комплексной и экологически ответственной эксплуатации реки. Для этого годичные данные следует моделировать поэтапно, разбив весь год на периоды (весеннее половодье, летная и зимняя межени, ледостав, ледоход). Это - последовательный метод, так как вначале по характерным точкам динамики уровня реки выделяются сезонные этапы, а в них принимаются «свои» шкалы времени.

В таблице 1 приведен пример исходных данных для моделирования.

График ежедневных уровней строится, в сравнительно мелком масштабе, и на нем показываются начало и конец различных фаз (периодов, гидрологических сезонов года).

По данным [2, с.13] выделены следующие характерные границы этапов годичной динамики уровня воды в реке:

1) ***зимняя межень*** - 16.01.75г.;

2) ***начало половодья*** - 24.03.75г.;

3) пик весеннего половодья - 02.04.75г. (эта точка помещается в этап весеннего половодья);

4) ***летняя межень*** - 6.07.75г.;

5) ***начало осени*** - 23.08.75г.;

6) ***начало ледохода*** - 15.11.75г.;

7) ***начало ледостава*** - 29.12.75г.

Всего можно выделить на этой реке (в соответствующих климатических условиях число этапов различно) шесть последовательных этапов (фаз) изменения гидрологического режима:

- от зимней межени до начала весеннего половодья;
- от начала весеннего половодья (включая весенний ледоход) до летней межени;
- от летней межени до начала осени;
- от начала осени до начала осеннего ледохода;
- от начала осеннего ледохода до начала ледостава;
- от начала ледостава до зимней межени.

По данным табл. 1 возможно получить статистические модели по первым пяти фазам режима реки, так как ледостав будет определяться еще и данными начала 1976 г.

Таблица 1

Ежедневные уровни реки Угрюмая на 1975г. у села Горное, см

Дни	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	16	22	56	447	114	8	-15	-7	-13	-20	-7	20
2	19	21	63	477	113	12	-18	-6	-13	-20	-5	20
3	20	25	69	472	107	14	-19	-2	-13	-19	-3	22
4	19	26	80	450	101	15	-21	-6	-14	-18	1	23
5	19	29	96	425	99	11	-22	-4	-14	-16	3	28
6	18	30	112	405	97	7	-24	-4	-15	-14	1	35
7	18	32	119	402	96	4	-21	-5	-15	-14	0	48
8	19	32	132	415	96	1	-18	-7	-15	-15	-2	77
9	20	32	140	433	91	0	-19	-7	-17	-16	-3	246
10	20	31	136	447	86	0	-20	-6	-15	-17	-3	294
11	20	31	128	450	79	-2	-20	-4	-16	-18	-4	247
12	18	30	116	442	72	-3	-22	-4	-17	-19	-5	288
13	16	30	107	428	67	-5	-21	-3	-16	-19	-6	320
14	12	31	103	412	62	-8	-18	-3	-13	-18	-9	315
15	12	31	106	398	57	-10	-16	-6	-12	-18	-16	315
16	12	30	96	386	54	-13	-16	-7	-11	-19	-15	301
17	12	31	89	375	49	-14	-17	-8	-9	-21	-8	285
18	14	32	89	364	46	-16	-14	-9	-10	-21	-5	244
19	14	32	90	353	42	-16	-13	-9	-10	-19	-10	206
20	14	33	91	339	40	-16	-13	-11	-12	-19	-5	194
21	17	34	96	323	40	-15	-12	-14	-14	-20	-3	194
22	18	36	93	300	43	-16	-11	-17	-16	-19	-1	184
23	16	37	96	275	40	-16	-12	-18	-16	-18	3	182
24	17	39	91	251	39	-18	-12	-17	-16	-17	10	179
25	17	41	100	219	37	-19	-12	-17	-16	-16	8	171
26	17	43	115	194	34	-18	-14	-14	-16	-16	7	162
27	18	48	151	175	29	-20	-17	-14	-17	-15	10	162
28	19	50	204	159	28	-22	-17	-14	-17	-10	21	158
29	20		265	146	24	-19	-16	-15	-18	-9	21	157
30	21		297	133	16	-19	-15	-13	-19	-8	20	158
31	22		343		13		-12	-13		-8		158
Средн.	17	33	125	350	62	-7	-17	-9	-14	-17	0	174
Высш.	22	51	395	478	114	16	-10	-1	-9	-8	22	321
Низш.	12	21	56	128	11	-22	-24	-18	-18	-21	-16	20

Предвесеннее пробуждение реки. Первый этап - от зимней межени до начала весеннего половодья (табл. 2). Разбивку календарного года на этапы начнем с зимней межени, то есть с самой нижней точки уровня воды в зимнее время. До этого был период «спячки» реки, то есть этап от начала ледостава до зимней межени.

Поэтому первым циклом в жизнедеятельности реки будет весеннее пробуждение водотока подо льдом, то есть в условиях ледостава.

Для реки Угрюмая около водомерного поста села Горное в 1975 году зимняя межень была 16 января. С этого момента, принимая для указанной даты $t_1 = 0$, в таблице. 2 приведены даты и значения времени, а также значения фактических $\hat{y}$ и расчетных y уровней реки.

После структурно-параметрической идентификации биотехнического закона была получена статистическая модель

$$y = 10{,}9790\exp(0{,}04917\,t_1) -$$
$$-\,2{,}1833\cdot 10^{-9}\,t_1^{\,6{,}7838}\exp(-0{,}002242\,t_1) -$$
$$-\,0{,}004739\,t_1^{\,2{,}3820}\cos(\pi t_1/16{,}7560)\,, \qquad (1)$$

в которой время изменяется от нуля до 67 дней.

Первая составляющая формулы (1) показывает экспоненциальный рост уровня реки на первом этапе от зимней межени до начала весеннего половодья. Из данных табл. 2 видно, что, если бы не «сопротивление» (противодействие льда подъему воды реки) по двум другим составляющим модели (1), то уровень реки теоретически достиг бы через 67 дней до отметки 296,0 см. Тогда возможно определить содержательный смысл двух других частей статистической модели.

Вторая и третья составляющие вычитаются из первой. Вторая составляющая показывает стрессовое возбуждение реки в первом периоде, а вторая изменяется по волновой зависимости с полупериодом в 16,76 дней (с периодом в 33,5 дня). При этом происходит возбуждающее колебание уровня реки, причем по данным табл. 2 от нуля (в зимнюю межень) до 106,0 м (в начале половодья). Именно это отрицательное сопротивление водотоку взламывает лед, и река переходит в следующий этап своего годичного цикла - происходит весеннее половодье. Тогда можем допустить, что вторая и третья составляющие описывают влияние климата на уровень реки.

По таблице 2 максимальная относительная погрешность равна 27,90%. Поэтому для этих наблюдений по худшему из них доверительная вероятность будет 72,10%. В связи с этим, можем утверждать, что статистическая модель (1) имеет доверительную вероятность не ниже указанного значения. В этом случае, например в сравнении с критерием Фишера, требовательность к статистической модели повышена примерно на порядок, так как по многим другим дням зимы относительная погрешность меньше 5%.

В дальнейшем строятся графики изменения уровня реки по отдельным составляющим модели (1) и сравнением их находятся новые объяснения явлениям и процессам, происходящим на каждом этапе годичного цикла жизнедеятельности водотока реки. Для последующих лет по многолетним гидрометрическим данным уравнение (1) для этого зимнего сезона останется без изменения по конструкции, а параметры модели будут иметь другие численные значения.

Таблица 2

Изменение уровня реки Угрюмая около с. Горное зимой, см

Дата учета	Время t_1, дни	Уровень $\hat{y}$	Расчетные значения (1): y	ε	Δ,%	Составляющие (1): y_1	y_2	y_3
16.01.75	0	12	10.98	-1.02	-8.50	10.98	0.00	0.00
19.01.75	3	14	12.67	-1.33	-9.50	12.72	0.00	0.06
27.01.75	11	18	19.51	1.51	8.40	18.86	0.02	-0.68
01.02.75	16	22	27.34	5.34	24.30	24.11	0.24	-3.46
04.02.75	19	26	32.08	6.08	23.40	27.94	0.67	-4.81
08.02.75	23	32	35.18	3.18	9.90	34.02	2.06	-3.24
16.02.75	31	30	25.07	-4.93	-16.40	50.41	10.28	15.07
23.02.75	38	37	26.69	-10.34	-27.90	71.13	26.14	18.30
26.02.75	41	43	41.61	-1.39	-3.20	82.43	35.36	5.47
28.02.75	43	50	56.49	6.50	19.90	90.95	42.07	-7.61
02.03.75	45	63	73.91	10.92	17.30	100.30	49.05	-22.62
04.03.75	47	80	91.87	11.87	14.80	110.70	56.19	-37.27
05.03.75	48	96	100.30	4.31	4.50	116.30	59.63	-43.64
07.03.75	50	119	114.60	-4.41	-3.70	128.30	66.46	-52.73
08.03.75	51	132	119.90	-12.12	-9.20	134.80	69.74	-54.83
09.03.75	52	140	123.60	-16.37	-11.70	141.60	72.89	-54.94
10.03.75	53	136	125.70	-10.29	-7.60	148.70	75.89	-52.88
11.03.75	54	128	126.00	-1.98	-1.50	156.20	78.71	-48.53
12.03.75	55	116	124.60	8.58	7.40	164.10	81.35	-41.85
14.03.75	57	103	116.90	13.98	13.60	181.00	85.97	-21.92
16.03.75	59	96	104.90	8.92	9.30	119.70	89.64	5.19
19.03.75	62	90	86.51	-3.50	-3.90	231.50	93.15	51.84
22.03.75	65	93	82.48	-10.58	-11.30	268.30	**94.18**	91.62
24.03.75	67	91	96.47	5.47	6.00	296.00	93.52	**106.00**

Весеннее половодье. Второй этап - от начала весеннего половодья (включая весенний ледоход, происходящий в несколько дней) до летней межени. Начало весеннего половодья 24.03.1975 года примем за новую шкалу времени t_2 с началом $t_2 = 0$. По исходным данным табл. 9.1 была получена статистическая модель (табл. 3)

$$y = 87,710 + 11,2879 t_2^{2,0152} \exp(-0,07465 t_2^{1,1689}) -$$

$$- 0,01046 t_2^{5,6012} \exp(-0,4230 t_2) \cos(\pi t_2 / 3,1654 + 0,9188). \qquad (2)$$

Из данных таблицы 3 видно. что наиболее значимым является вторая составляющая стрессового возбуждения, которая имеет начало и конец по концам интервала времени данного этапа режима реки.

Относительно постоянного уровня 87,71 см происходит колебательное возмущение по третьей составляющей. При этом полный период одной длины волны равен 2 х 3,1654 = 6,33 суток. Смещение колебательного возмущения, происходящего на гребне общей волны резкого изменения уровня воды в реке, происходит на 0,9188 радиан или 0,9188 х 3,1654 / 3,14156 = 0,93 суток. Таким образом, частота колебания третьей составляющей высока, и её более точно возможно идентифицировать по данным почасовых замеров в течение суток.

Таблица 3

Изменение уровня реки Угрюмая около с. Горное в половодье, см

Дата учета	Время t_2 ,дни	Уровень $\hat{y}$	Расчетные значения (2):			Составляющие (2):		
			y	ε	Δ,%	y_1	y_2	y_3
24.03.75	0	91	87.71	3.29	3.62	87.71	0.00	0.00
26.03.75	2	115	124.34	-9.34	-8.12	87.71	38.63	-0.21
28.03.75	4	204	209.06	-5.06	-2.48	87.71	126.52	0.78
29.03.75	5	265	249.95	15.05	5.68	87.71	177.23	9.55
31.03.75	7	343	356.19	-13.19	-3.84	87.71	276.69	-0.31
01.04.75	8	447	432.48	14.52	3.25	87.71	319.17	-34.23
02.04.75	9	**477**	**481.84**	-4.84	-1.01	87.71	357.03	-46.86
03.04.75	10	472	474.73	-2.73	-0.57	87.71	388.59	-9.26
11.04.75	18	450	441.02	8.98	1.99	87.71	428.04	**55.31**
12.04.75	19	442	451.45	-9.45	-2.14	87.71	413.80	29.48
16.04.75	23	386	397.34	-11.34	-2.94	87.71	339.32	4.87
21.04.75	28	323	303.52	19.48	6.03	87.71	237.38	-8.66
24.04.75	31	251	232.94	18.06	7.19	87.71	183.32	4.57
27.04.75	34	175	191.06	-16.06	-8.17	87.71	137.84	-2.22
30.04.75	37	133	148.04	-15.04	-11.31	87.71	101.31	1.00
04.05.75	41	101	108.84	-7.84	-7.76	87.71	65.17	-0.23
12.05.75	49	72	59.61	12.49	17.34	87.71	24.74	0.02
19.05.75	56	42	37.05	4.95	11.78	87.71	9.82	0.00
29.05.75	66	24	18.80	5.20	2.16	87.71	2.38	0.00
06.06.75	74	7	8.49	-1.49	-21.28	87.71	0.72	4.02
23.06.75	91	-16	-10.54	-5.46	34.12	87.71	0.05	-1.82
30.06.75	98	-19	-18.14	-0.86	4.53	87.71	0.02	-9.93
06.07.75	104	-24	-24.63	0.63	-2.62	87.71	0.01	-1.41

В ориентировочных гидрологических расчетах третьей составляющей можно пренебречь, так как погрешность максимума 55,31 см не превышает 12,29%.

Теоретический максимум уровня воды совпадает по дню с фактическим значением. Поэтому уравнение (2) вполне может заменить табличную модель изменения уровня воды в реке, например, при прогнозировании весеннего половодья в имитационных моделях. Причем дополнительным уравнением биотехнического изменения можно описать небольшое снижение уровня воды в пике половодья (какое-то явление импульсно повлияло на частичное снижение уровня воды).

От летней межени до начала осени. В этот период наблюдаются наиболее низкие уровни воды в реке. Размах динамики уровня воды незначителен. Однако вполне возможно получить статистические закономерности и по этой фазе режима реки. После структурно-параметрической идентификации была получена формула (табл. 4)

$$y = -20{,}263\exp(0{,}01000t_3) +$$

$$+ 4{,}4755 \cdot 10^{-6} t_3^{\,6{,}1919} \exp(-0{,}1842t_3) +$$

$$+ 1{,}2494 \cdot 10^{-6} t_3^{\,8{,}9352} \exp(-0{,}5421t_3)\cos(\pi t_3 / 16{,}945 + 4{,}399)\,. \qquad (3)$$

Первая составляющая, являясь естественной закономерностью, описывает влияние летнего климата на динамику уровня воды в реке: происходит постепенное снижение уровня воды из-за интенсивного испарения. Этому процессу противостоит вторая составляющая, которая, конечно же, показывает влияние летних осадков.

Волновое возмущение значимо для июля месяца, а в августе динамика уровня воды описывается в основном первыми двумя составляющими уравнения (3). Длина волны равна 2 х 16,945 = 33,89 суток и смещение возмущения также значительно 4,3990 х 16.945 / 3,14156 = 23,73 суток. Таким образом, периодичность волнового возмущения в весеннее половодье в 16,945 / 3,1654 = 5,35 раз чаще, чем летом.

Таблица 4

Изменение уровня реки Угрюмая около с. Горное летом, см

Дата учета	Время t_3, дни	Уровень $\hat{y}$	Расчетные значения (3): y	ε	Δ,%	Составляющие (3): y_1	y_2	y_3
06.07.75	0	-24	-20.26	3.74	15.54	-20.26	0.00	0.00
07.07.75	1	-21	-20.47	0.53	2.53	-20.47	0.00	-0.00
08.07.75	2	-18	-20.67	-2.67	-14.83	-20.87	0.00	0.00
10.07.75	4	-20	-21.06	-1.06	-5.30	-21.09	0.01	0.01
12.07.75	6	-22	-21.11	0.89	4.04	-21.51	0.04	0.31
14.07.75	8	-18	-19.79	-1.79	-9.94	-21.95	0.40	1.76
16.07.75	10	-16	-16.53	-0.53	-3.31	-22.39	1.10	4.76
19.07.75	13	-13	-11.41	1.59	12.23	-23.08	3.22	8.44
22.07.75	16	-11	-11.31	-0.31	-2.82	-23.78	6.71	5.76
24.07.75	18	-12	-13.24	-1.24	-10.33	-24.26	9.63	1.40
26.07.75	20	-14	-14.54	-0.54	-3.86	-24.75	12.79	-2.58
29.07.75	23	-16	-13.13	2.87	17.94	-25.50	17.49	-5.11
31.07.75	25	-12	-10.40	1.60	13.33	-26.02	20.27	-4.65
01.08.75	26	-7	-8.85	-1.85	-26.43	-26.28	21.49	-4.07
03.08.75	28	-2	-5.97	-3.97	-198.50	-26.81	23.53	-2.69
05.08.75	30	-4	-3.87	0.13	3.25	-27.35	24.95	-1.47
07.08.75	32	-5	-2.79	2.21	44.20	-27.90	25.74	-0.63
10.08.75	35	-6	-3.00	3.00	50.00	-28.75	25.80	-0.05
13.08.75	38	-3	-4.84	-1.84	-61.33	-29.63	24.70	0.08
15.08.75	40	-6	-6.67	-0.67	-11.77	-30.23	23.48	0.07
18.08.75	43	-9	-9.97	-0.97	-10.78	-31.15	20.15	0.04
20.08.75	45	-11	-12.37	-1.37	-12.45	-31.78	19.38	0.02
21.08.75	46	-14	-13.61	0.39	2.78	-32.10	18.49	0.01
23.08.75	48	-18	-16.11	1.89	10.50	-32.75	16.64	0.01

Некоторые точки можно исключить из-за малости их значений, например, 03.08.75г. уровень воды был всего -2 см, поэтому погрешность резко увеличилась. Анализ показал, что исключение таких резко отклоняющихся по погрешности точек не влияет на общую картину по статистической модели. Поэтому такие уточнения здесь, если этого не требуют специальные исследования с требуемой высокой точностью моделирования, не приводим.

Уровень воды в реке осенью. С конца августа начинается осенний этап режима реки и здесь, из-за неритмичности выпадения дождей, могут появиться микровейвлетные всплески. К середине сентября, по-видимому из-за отсутствия дождей почти 10 дней, произошло частное снижение уровня воды в реке. А в последней декаде месяца, наоборот, произошло незначительное повышение уровня воды в реке. Такие участки данных исключались из анализа динамики уровня воды.

Если не учитывать несколько резко отклоняющихся точек, модель (табл. 5) вида

$$y = -16{,}770\exp(0{,}01928t_4) + \\ +0{,}008013t_4^{\,4{,}0784}\exp(-0{,}2607t_4) + \\ +1{,}5877\cdot 10^{-9}t_4^{\,5{,}5678}\exp(-0{,}01069t_4)\times \\ \times\cos(\pi t_4/24{,}831+0{,}2681) \qquad (4)$$

с относительно высокой точностью описывает осеннюю динамику уровня воды в реке.

Таблица 5

Изменение уровня реки Угрюмая около с. Горное осенью, см

Дата учета	Время t_4 ,дни	Уровень $\hat{y}$	Расчетные значения (4): y	ε	Δ,%	Составляющие (4): y_1	y_2	y_3
23.08.75	0	-18	-16.77	1.23	-6.83	-16.77	0.00	0.00
26.08.75	3	-14	-16.54	-2.54	18.14	-16.87	0.32	0.00
31.08.75	8[1]	-13	-12.23	0.77	-5.92	-17.03	4.79	0.00
15.09.75	23	-11	-10.36	0.64	-5.82	-17.53	**7.13**	-0.05
17.09.75	25	-10	-11.58	-1.58	15.80	-17.60	5.95	-0.08
19.09.75	27	-12	-12.74	-0.74	6.17	-17.67	4.83	-0.09
24.09.75	32	-16	-15.11	0.89	-5.56	-17.84	2.62	-0.10
30.09.75	38	-19	-17.17	1.83	-9.63	-18.04	1.11	0.23
02.10.75	40	-20	-17.80	2.20	-11.00	-18.11	0.81	0.50
04.10.75	42[2]	-18	-18.44	-0.44	2.44	-18.18	0.59	0.84
13.10.75	51	-19	-21.06	-2.06	10.84	-18.50	0.12	2.68
18.10.75	56	-21	-20.90	0.10	-0.48	-18.68	0.05	2.27
22.10.75	60	-19	-18.77	0.23	-1.21	-18.83	0.02	-0.03
26.10.75	64	-16	-14.50	1.50	-9.38	-18.97	0.01	-4.46
28.10.75	66	-10	-11.71	-1.71	17.10	-19.05	0.01	-7.33
30.10.75	68	-8	-8.70	-0.70	8.75	-19.12	0.01	-10.41
01.11.75	70	-7	-5.73	1.26	-18.00	-19.19	0.00	-13.46
03.11.75	72	-3	-3.15	-0.15	5.00	-19.27	0.00	-16.11
06.11.75	75	1	-0.84	-0.84	-84.00	-19.38	0.00	-18.53
08.11.75	77	-2	-0.93	1.07	-53.50	-19.45	0.00	**-18.52**
10.11.75	79	-3	-2.75	0.25	-8.33	-19.53	0.00	-16.78
11.11.75	80	-4	-4.40	0.60	-30.00	-19.57	0.00	-15.16
14.11.75	83	-9	-9.30	-0.30	3.33	-19.64	0.00	-10.33
15.11.75	84	-16	-16.40	-0.40	2.50	-19.72	0.00	-3.34

Примечания: [1]начало вейвлет-функции импульсного снижения уровня воды; [2]начало импульсного повышения уровня воды в реке.

Частота колебательного возмущения уменьшается по сравнению с летним изменением уровня воды в реке, то есть в 24,831 / 16,945 = 1,47 раза, а по сравнению с весенним половодьем - в 7,84 раза.

Характер изменения естественной составляющей аналогичен летнему сезону. Однако, если летом (при отсутствии осадков) снижение уровня могло быть в 32,75 / 20,26 = 1,62 раза, то осенью это снижение мало и составляет всего 19,72 / 16,77 = 1,18 раз.

Максимум стрессового возбуждения реки 7,13 см в сторону повышения уровня воды в реке наблюдался 15.09.75г., то есть в середине сентября. А максимум волнового возмущения -18.52 см в сторону снижения уровня реки приходится на 08.11.75г.

От начала ледохода до начала ледостава. Этот предзимний этап гидрологического режима реки также получает уравнение с тремя составляющими (табл. 6)

$$y = -16{,}000\exp(-0{,}01576t_5) + \\ + 5{,}0679\cdot 10^{-10} t_5^{\,9{,}6900}\exp(-0{,}04189 t_5^{\,1{,}4641}) + \\ + 0{,}003982 t_5^{\,4{,}4442}\exp(-0{,}1746 t_5)\times \\ \times\cos(\pi t_5/7{,}9007 - 5{,}1300). \qquad (5)$$

Таблица 6

Изменение уровня реки Угрюмая около с. Горное в предзимье, см

Дата учета	Время t_5, дни	Уровень $\hat{y}$	Расчетные значения (5):			Составляющие (5):		
			y	ε	Δ,%	y_1	y_2	y_3
15.11.75	0	-16	-16.00	0.00	0.00	-16.00	0.00	0.00
19.11.75	4	-10	-15.89	5.89	5.90	-15.02	0.00	-0.86
23.11.75	8	3	-17.77	20.77	693.30	-14.05	0.12	-3.79
27.11.75	12	10	18.52	-8.52	-85.20	-13.24	3.11	28.54
01.12.75	16	20	28.36	-8.36	-41.80	-12.43	22.43	18.37
05.12.75	21	28	10.51	17.49	62.50	-11.49	98.34	-76.33
07.12.75	23	48	80.45	-32.45	-67.60	-11.14	143.72	-52.13
08.12.75	24	77	132.14	-55.14	-71.60	-10.96	167.57	-24.46
09.12.75	25	246	188.18	57.82	23.50	-10.79	191.14	7.83
10.12.75	26	294	242.05	51.95	17.70	-10.62	213.61	39.06
12.12.75	28	288	319.61	-31.61	-10.90	-10.29	252.14	77.76
13.12.75	29	320	335.73	-15.73	-4.90	-10.13	266.89	**78.97**
15.12.75	31	315	321.63	-6.63	-2.10	-9.82	285.17	46.28
16.12.75	32	301	497.63	3.37	1.10	-9.66	**288.31**	18.98
17.12.75	33	285	268.58	16.42	5.80	-9.51	287.49	-9.40
18.12.75	34	244	239.42	4.59	1.90	-9.36	282.93	-34.15
19.12.75	35	206	214.19	-8.19	-3.90	-9.22	274.94	-51.54
23.12.75	39	182	179.64	2.36	1.30	-8.65	218.42	-30.13
26.12.75	42	162	179.50	-17.50	-10.80	-8.25	164.72	23.04
29.12.75	45	157	140.06	16.94	10.80	-7.87	114.29	33.64

Большие значения относительной погрешности в первой декаде декабря показывают, что возможно разделение этапа еще на две фазы: 1) ледоход; 2) ледостав.

Для этого необходимо проводить дальнейшие исследования по статистическому моделированию режима различных рек.

Для реки Угрюмая, около села Горное [2], приведены табличные модели различных гидрологических показателей. В этом случае образуется комплекс регрессионных моделей, характеризующих не только динамику среднесуточных уровней воды в реке, но и профиль реки на данном водомерном посту, скорости водотока и другие гидрологические и гидрометрические показатели.

Статья подготовлена и опубликована при поддержке гранта 3.2.3/4603 МОН РФ

Список литературы

1. Мазуркин П.М., Зверев В.И., Толстухин А.И. Статистическая гидрология: Учебное пособие. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 274 с.

2. Практикум по курсу прикладной геодезии / Н.Н. Лебедев, В.Е. Новак, Г.П. Левчук и др. Под ред. Н.Н. Лебедева. – М.: Недра, 1977. – 384 с.