

**РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИЧЕСКИХ И
ОПЕРАТИВНЫХ ПЛАНОВ УПРАВЛЕНИЯ
ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ ВОДОХРАНИЛИЩ
ВОЛЖСКО-КАМСКОГО БАССЕЙНА В
УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

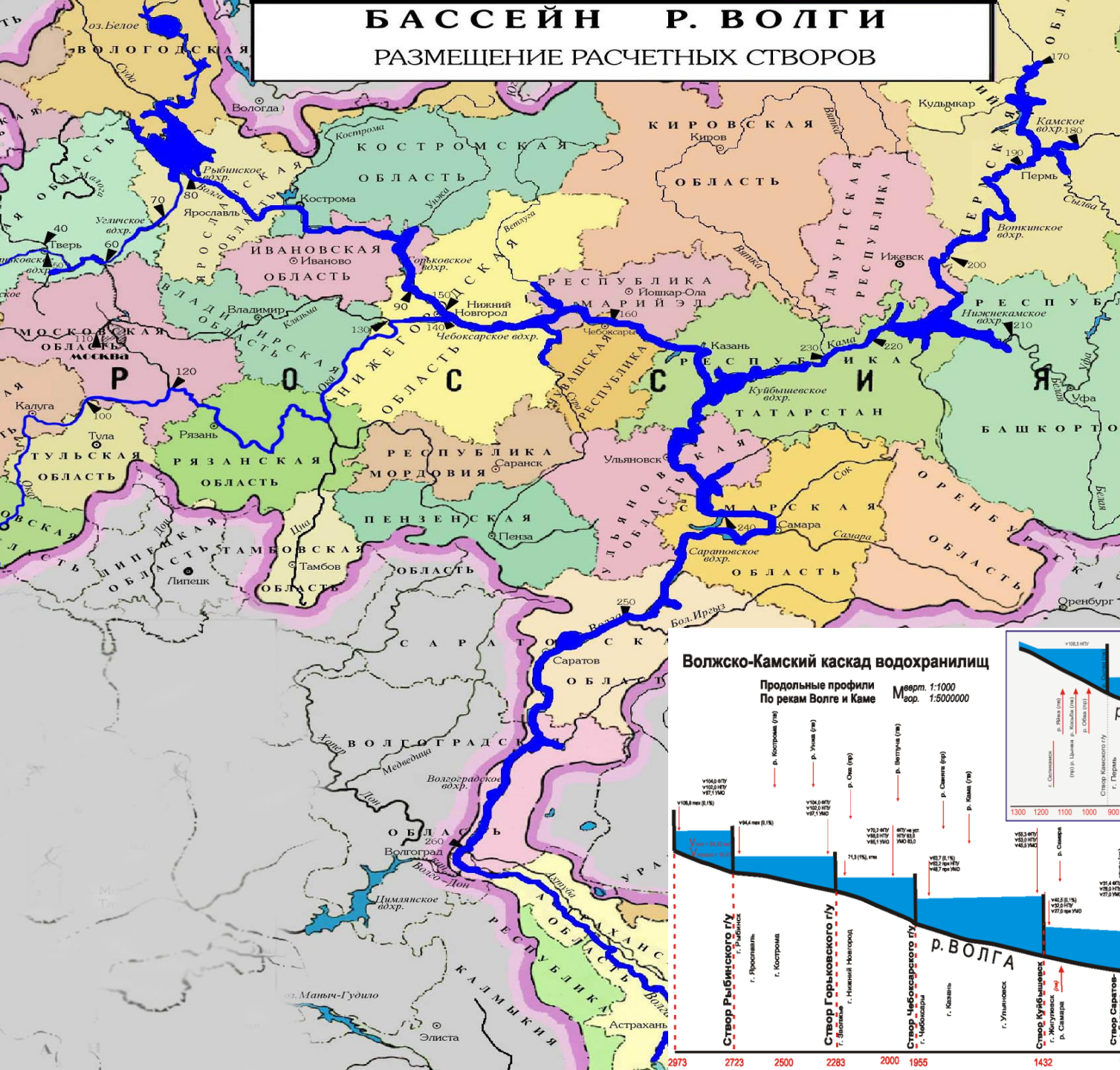
Бубер А.Л. - ВНИИГиМ

Цель

**Разработка вычислительной технологии
и компьютерных программ управления
водными ресурсам бассейнов рек в
долгосрочном и оперативном режимах на
примере Волжско-Камского каскада
водохранилищ**

БАССЕЙН Р. ВОЛГИ

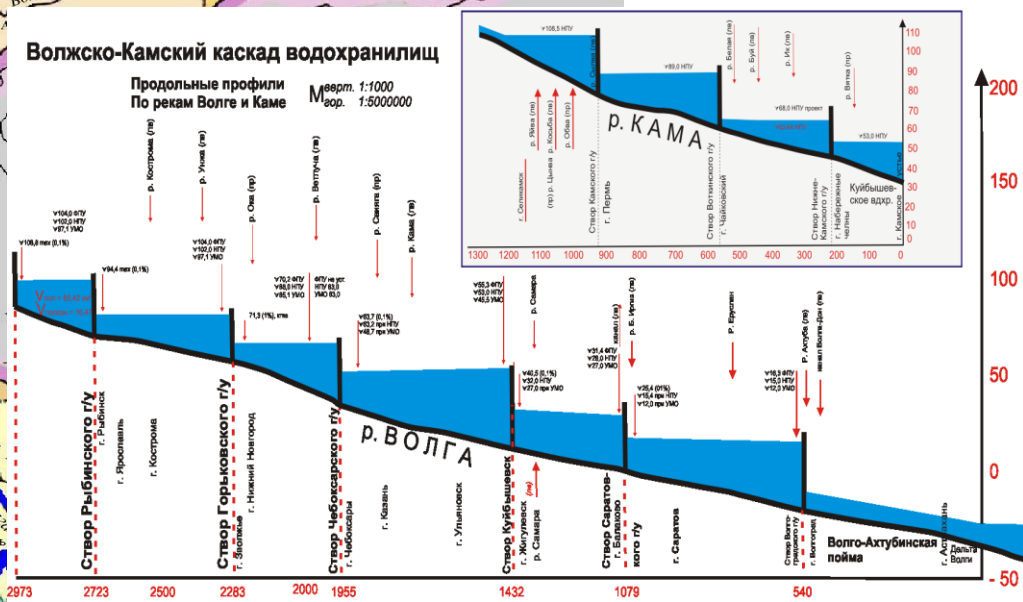
РАЗМЕЩЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ СТВОРОВ



Волжско-Камский каскад водохранилищ

Продольные профили По рекам Волге и Каме

М_{верт.} 1:1000
М_{гор.} 1:5000000



[illegible]

Гидрологический ряд (89 лет) боковой приточности по 9 водохранилищам

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK								
1	Рыбинская (приток)					Рыбинская-Нижнегород					Нижнегородская-Чебоксарс					Камское (приток)					БП Камская-Воткинская					БП Воткинская-Н.Камская					Оксарская-Н.Камская-Жигул					БП Жигулевская-Саратовская					БП Саратовская-Волжская				
2	Годы	W год	Wпол	W л-о	Wз.м.	W год	Wпол	W л-о	Wз.м.	W год	Wпол	W л-о	Wз.м.	W год	Wпол	W л-о	Wз.м.	W год	Wпол	W л-о	Wз.м.	W год	Wпол	W л-о	Wз.м.	W год	Wпол	W л-о	Wз.м.	W год	Wпол	W л-о	Wз.м.	W год	Wпол	W л-о	Wз.м.								
3	1916	45.06	27.45	9.71	7.90	21.18	14.21	4.60	2.38	77.58	55.14	10.77	11.68	54.98	28.29	18.70	7.99	2.11	1.49	0.38	0.24	24.89	12.72	9.15	3.02	38.72	24.91	9.61	4.20	6.81	3.63	2.16	1.02	2.93	2.47	0.30	0.15								
4	1917	54.27	23.48	19.11	11.67	25.39	16.39	6.78	2.22	69.72	39.87	18.73	11.13	70.41	38.11	23.49	8.82	2.73	1.78	0.65	0.30	28.30	19.54	6.65	2.11	42.99	25.05	11.53	6.40	6.95	4.44	1.62	0.89	1.03	0.33	0.10	0.60								
5	1918	39.72	18.70	11.78	9.25	18.73	14.15	2.53	2.05	70.78	52.82	9.30	8.66	37.65	28.63	6.31	2.71	1.67	1.31	0.16	0.20	24.60	18.29	3.43	2.88	44.75	34.55	5.75	4.45	4.11	2.83	0.59	0.69	1.43	1.12	0.12	0.19								
6	1919	34.73	16.17	11.80	6.75	20.79	11.11	7.37	2.31	51.55	29.26	13.36	8.93	55.50	24.34	21.69	9.46	2.22	1.36	0.56	0.30	30.54	22.12	5.84	2.57	41.06	24.05	11.45	5.56	7.15	4.85	1.44	0.86	3.01	2.34	0.43	0.24								
7	1920	28.32	16.70	6.78	4.84	14.77	9.77	2.92	2.09	82.01	50.54	13.22	18.26	49.70	30.68	12.10	6.91	2.10	1.53	0.32	0.25	22.14	16.68	2.96	2.49	42.58	29.29	7.63	5.66	7.15	4.68	1.29	1.18	1.74	1.19	0.29	0.26								
8	1921	21.30	12.94	4.49	3.86	14.68	11.71	1.26	1.70	59.34	39.90	7.34	12.10	33.43	24.74	5.88	2.81	1.50	1.17	0.13	0.20	18.26	14.44	2.14	1.68	32.99	26.16	3.64	3.18	6.79	4.90	0.98	0.92	1.97	1.44	0.22	0.32								
9	1922	14.39	6.43	4.92	3.04	9.84	6.52	1.30	2.02	31.54	16.73	6.62	8.19	36.82	25.08	6.86	4.87	1.53	1.05	0.20	0.28	16.34	11.61	1.88	2.84	23.29	15.62	3.52	4.15	6.86	4.78	1.11	0.97	2.76	1.94	0.46	0.36								
10	1923	33.96	20.72	6.83	6.41	21.17	13.29	3.81	4.07	52.90	35.67	8.83	8.40	39.53	26.72	8.86	3.95	1.67	1.19	0.24	0.25	34.49	23.25	5.19	6.04	34.33	22.48	6.00	5.85	7.11	4.73	1.19	1.19	3.34	2.43	0.50	0.42								
11	1924	43.11	17.48	10.70	14.92	23.30	13.66	3.09	6.55	56.60	38.79	8.35	9.46	58.35	30.85	12.87	14.63	2.40	1.52	0.30	0.59	34.03	26.81	4.21	3.02	54.89	35.83	7.70	11.35	6.96	4.87	1.05	1.04	2.52	1.59	0.53	0.40								
12	1925	34.62	23.70	6.73	4.20	22.41	16.37	3.00	3.04	73.64	49.66	8.52	15.47	50.38	22.84	15.92	11.63	2.03	1.25	0.34	0.44	15.31	9.21	3.88	2.23	41.09	24.40	8.57	8.12	7.08	3.90	1.78	1.40	2.63	1.94	0.39	0.30								
13	1926	34.50	12.56	11.66	10.28	19.04	11.00	4.97	3.07	45.86	20.60	11.34	13.92	60.39	37.50	9.69	13.19	2.52	1.78	0.26	0.47	25.97	18.33	4.04	3.60	43.33	28.27	6.07	8.99	7.59	4.36	1.26	1.97	1.50	0.85	0.19	0.45								
14	1927	44.56	24.26	8.35	11.96	23.78	15.15	3.18	5.45	89.61	58.46	14.23	16.93	72.62	41.53	17.25	13.85	3.21	2.14	0.43	0.64	42.95	21.07	13.47	8.41	68.22	41.37	13.67	13.18	12.30	6.45	3.81	2.04	3.56	2.43	0.56	0.57								
15	1928	38.66	16.87	8.80	12.99	20.24	12.44	2.30	5.50	66.19	41.95	10.10	14.14	68.33	36.23	15.46	16.64	2.79	1.86	0.30	0.63	47.26	29.12	7.84	10.31	57.58	35.80	7.22	14.56	8.95	4.27	1.11	3.56	3.23	2.35	0.33	0.55								
16	1929	47.25	22.51	12.33	12.42	23.32	12.39	5.52	5.41	74.98	47.63	14.03	13.33	59.45	35.42	14.11	9.92	2.45	1.59	0.45	0.40	29.82	15.98	7.30	6.54	60.31	37.12	13.40	9.79	20.63	11.95	5.29	3.39	3.77	3.01	0.34	0.41								
17	1930	35.24	22.06	6.96	6.22	22.33	13.96	4.70	3.67	78.61	51.92	12.20	14.49	55.54	38.70	10.06	6.78	2.35	1.69	0.33	0.33	30.21	22.75	5.02	2.45	50.35	35.21	8.68	6.46	9.80	6.63	1.65	1.51	3.07	2.11	0.49	0.47								
18	1931	32.40	10.00	12.14	10.26	17.29	7.50	6.16	3.63	42.21	19.26	12.63	10.32	56.60	29.78	18.68	8.14	2.35	1.53	0.47	0.35	17.92	12.87	3.06	1.99	32.75	19.25	7.17	6.33	6.57	4.24	1.28	1.04	1.10	0.57	0.14	0.38								
19	1932	35.67	21.27	8.18	6.22	19.97	13.03	3.61	3.33	63.56	46.57	8.86	8.13	40.49	23.85	9.47	7.16	1.73	1.22	0.22	0.29	16.38	9.32	3.54	3.52	39.72	25.82	6.81	7.09	3.60	1.77	0.78	1.05	1.33	0.96	0.18	0.19								
20	1933	34.74	17.38	6.65	10.70	18.04	13.58	1.97	2.48	71.11	52.85	7.19	11.07	50.89	33.67	9.16	8.06	2.23	1.58	0.25	0.39	27.05	21.12	3.56	2.36	45.43	32.91	5.99	6.54	7.06	4.86	1.06	1.14	2.24	1.42	0.18	0.64								
21	1934	34.93	15.47	10.40	9.06	16.21	12.60	2.13	1.48	56.31	24.60	15.01	16.71	37.51	27.48	5.84	4.19	1.52	0.90	0.31	0.31	16.63	12.59	2.50	1.55	28.56	21.08	3.88	3.61	3.99	2.30	0.61	1.08	2.55	1.12	0.42	1.00								
22	1935	32.69	18.03	8.36	6.31	15.17	9.59	2.31	3.27	38.35	23.42	6.81	8.12	40.87	27.35	8.11	5.41	1.76	1.20	0.24	0.32	15.86	11.11	2.94	1.81	24.25	16.37	3.97	3.91	6.07	3.79	1.31	0.97	3.58	2.25	0.71	0.61								
23	1936	46.92	18.88	13.81	14.23	21.70	11.26	7.52	3.93	37.89	18.63	8.67	10.59	47.72	28.16	13.03	6.53	1.92	1.12	0.46	0.34	14.44	8.86	4.11	1.47	28.61	16.88	7.43	4.30	2.70	1.42	0.61	0.68	1.95	1.28	0.32	0.35								
24	1937	34.03	22.06	5.38	6.59	18.13	13.42	2.13	2.57	58.21	33.58	6.04	18.59	30.61	19.90	5.38	5.33	1.35	0.78	0.27	0.29	10.88	7.71	1.64	1.54	24.22	16.85	3.06	4.31	5.73	2.31	0.73	2.68	4.86	1.95	0.44	2.47								
25	1938	19.87	9.72	4.85	5.30	10.83	7.13	2.23	1.47	35.53	16.38	5.58	13.57	32.95	20.54	8.78	3.63	1.35	0.80	0.32	0.23	14.16	10.43	2.25	1.48	18.57	12.37	3.33	2.87	5.78	3.91	0.99	0.88	3.61	2.17	0.60	0.85								
26	1939	21.06	13.38	4.31	3.38	15.21	11.64	2.09	1.48	44.72	29.02	5.28	10.42	29.07	20.59	5.15	3.34	1.25	0.86	0.17	0.22	17.35	13.41	2.37	1.57	22.99	17.62	2.40	2.97	3.87	2.66	0.37	0.84	2.07	1.11	0.20	0.77								
27	1940	17.28	11.78	3.47	2.03	11.44	7.90	1.82	1.72	40.81	29.18	4.84	6.79	43.47	31.49	7.19	4.80	1.81	1.38	0.20	0.23	15.44	11.86	2.03	1.55	29.18	22.55	3.06	3.57	4.17	3.13	0.42	0.61	2.47	1.16	0.40	0.91								
28	1941	20.30	10.07	4.44	5.79	10.58	7.53	1.35	1.71	43.87	30.87	5.72	7.28	41.07	32.23	5.66	3.19	1.78	1.28	0.24	0.27	17.82	14.28	1.88	1.65	34.40	27.41	3.69	3.29	5.66	4.53	0.53	0.59	3.73	2.60	0.46	0.67								
29	1942	27.27	17.70	5.28	4.29	12.89	10.07	1.78	1.04	63.25	46.82	8.96	7.47	43.31	32.84	6.13	4.34	1.86	1.20	0.32	0.34	37.23	27.17	6.87	3.18	41.27	30.72	5.85	4.70	8.06	6.06	0.83	1.17	8.27	6.91	0.74	0.63								



Требования водопользователей (Критерии математической модели ВХР)

- 1. Достижение к концу половодья НПУ для всех водохранилищ ВКК ГЭС (NPU) – 166.74 куб.км**
- 2. Среднесезонная зимняя (с декабря по март) гарантированная мощность 90% обеспеченности ВКК ГЭС (PGarant) – 2945 МВт**
- 3. Обеспечение транспортного попуска в НБ Волгоградского гидроузла (Transp) – 5000 м3/с**
- 4. Обеспечение сельскохозяйственного попуска в НБ Волгоградского гидроузла (Agro) - 108 куб.км**
- 5. Обеспечение Экологического (рыбохозяйственного) попуска в НБ Волгоградского ГУ (Ecol+Fish) – 100 куб.км**

Задача I.

**Можно ли удовлетворить современные
требования водопользователей по
обеспеченности на основе анализа
существующего ретроспективного
многолетнего гидрологического ряда,
современного состояния водохранилищ ВКК
и действующих правил управления?**

Обеспеченность водопользователей по многолетнему ряду должна принимать следующие значения

Санитарные попуски

97-99%

Гидроэнергетика

85-95%

Орошение и сельскохозяйственное обводнение

75-90%

Орошаемое земледелие в гумидной зоне

75%

Орошаемое земледелие в аридной зоне

90%

Рыбное хозяйство

75-90%

Судоходство

85-90%

Задача II.

Если указанная цель недостижима, можно ли обосновать стратегию управления водохранилищами в многолетнем разрезе при современном состоянии ВКК ГЭС на основе поиска и принятия компромиссного решения для водопользователей (либо уменьшить требования, либо принять компромисс по обеспеченностям)

Задача III.

**Обосновать возможные мероприятия по
улучшению состояния и
совершенствованию правил управления
ВКК ГЭС, которые в многолетнем разрезе
могут увеличить водообеспеченность
пользователей**

Задача IV.

**Как на основе принятого стратегического
(компромиссного) решения и
обоснованных мероприятий разработать
информационное обеспечение для
поддержки принятия решений при
оперативном управлении ВКК ГЭС в
период половодья?**

**Как показали расчеты,
водопользователи ВКК не обеспечены водой с
достаточной надежностью и практически в
каждый маловодный или средний по водности
год возникает конфликт интересов.**

**Анализ границы множества достижимых целей
показал, что основной конфликт имеет место
между критерием «наполнение водохранилищ
ВКК до НПУ» и требованием экологического
попуска.**

Максимальный приоритет НПУ

Показатели обеспеченности

НПУ= 85%

Экол= 41%

Максимальный приоритет экологических требований

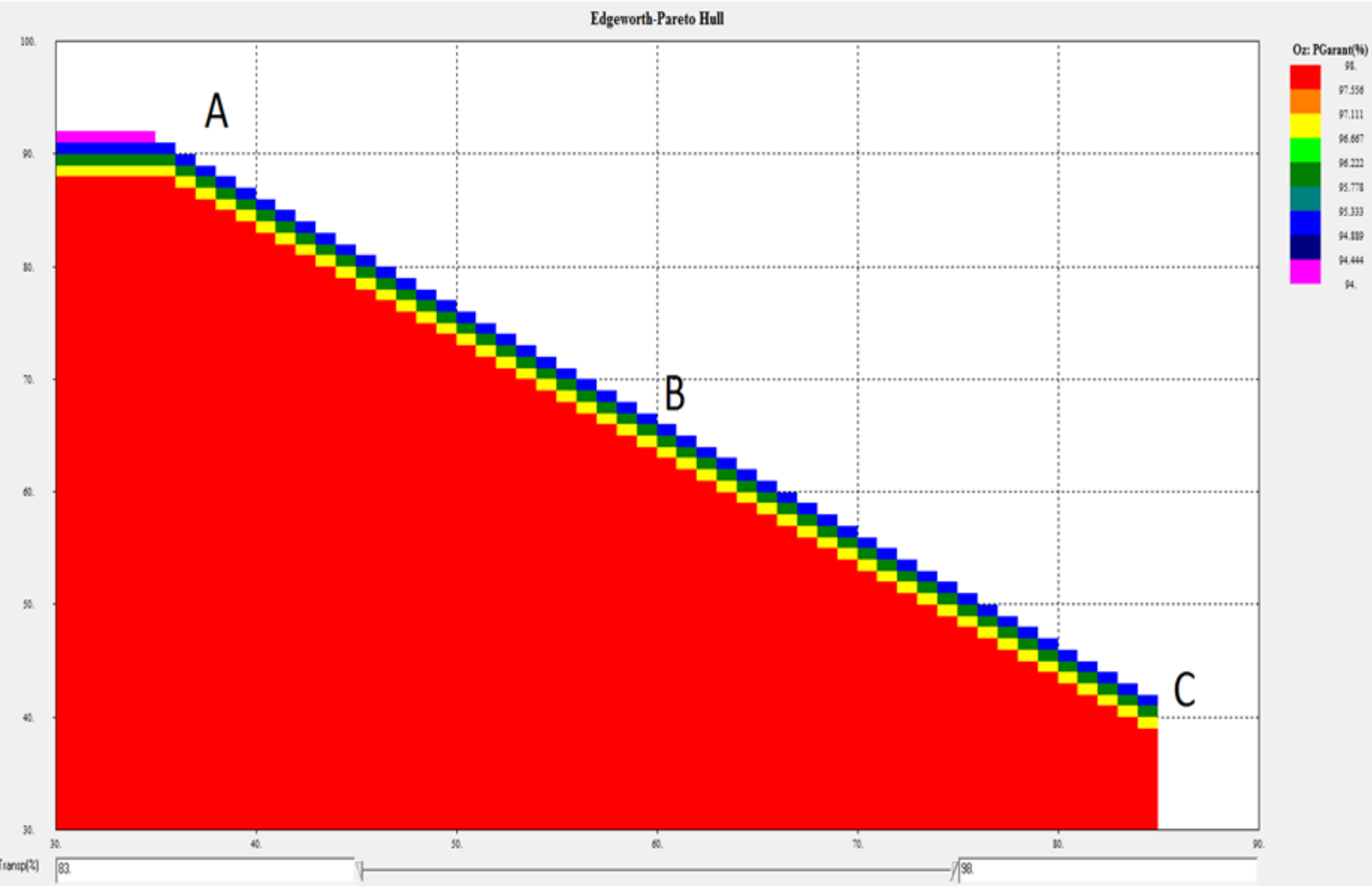
Показатели обеспеченности

Экол= 92%

НПУ= 33%

Требования к производству электроэнергии в зимний период и транспортному попуску в летне-осеннюю межень в обоих вариантах удовлетворяются с достаточной надежностью

Поддержка выбора стратегической цели на карте решений



Максимальный приоритет НПУ

Выбрана следующая реализация
стратегического решения по обеспеченностям
водопользователей

Показатели обеспеченности

НПУ= 85%

Энерг= 95%

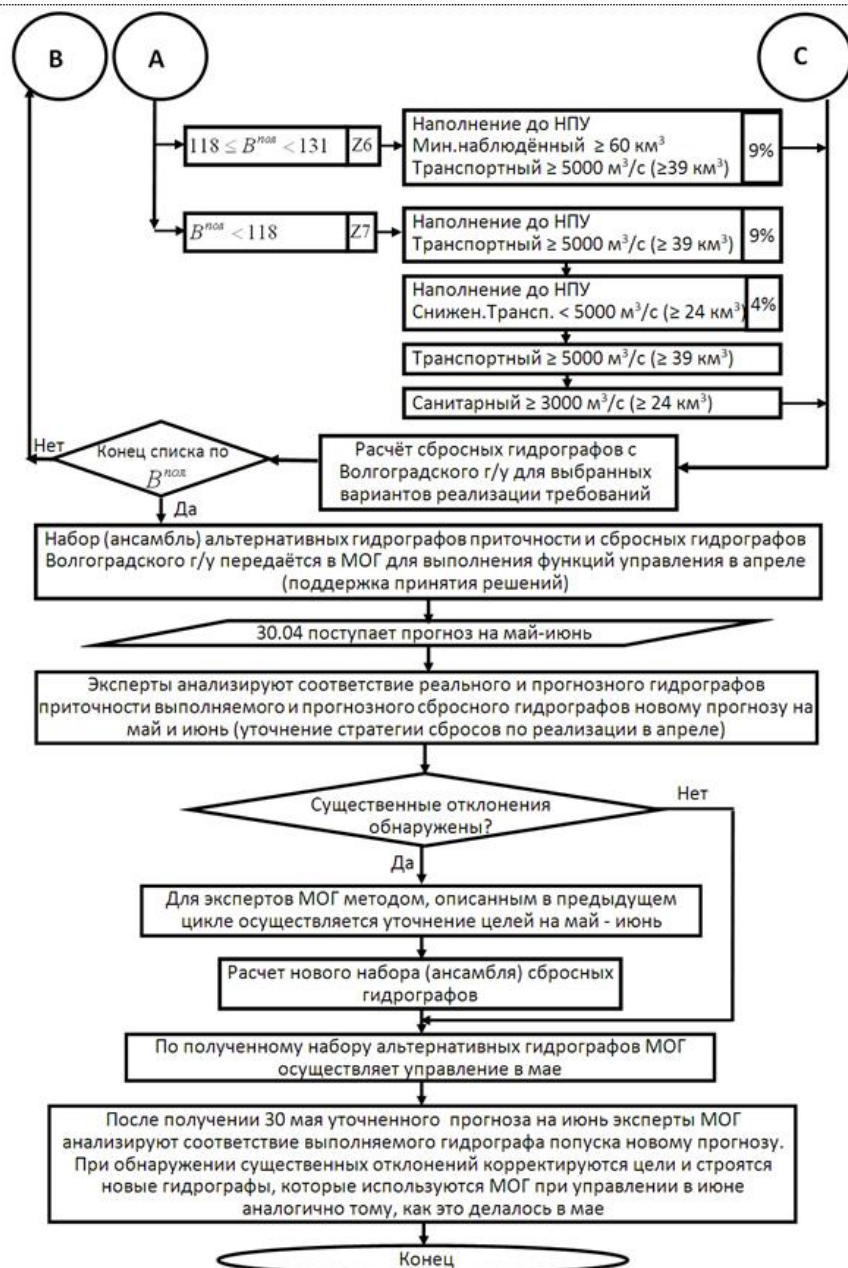
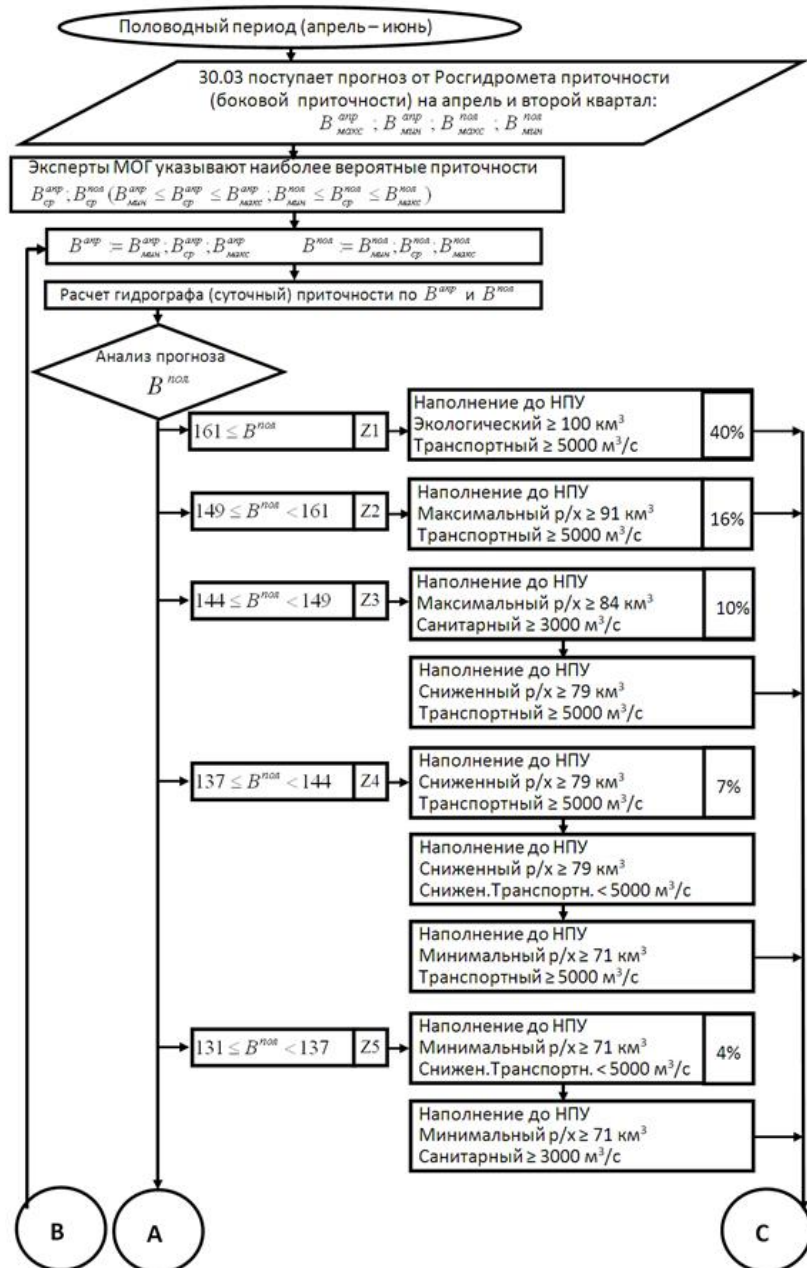
Трансп= 93%

Экол= 41%

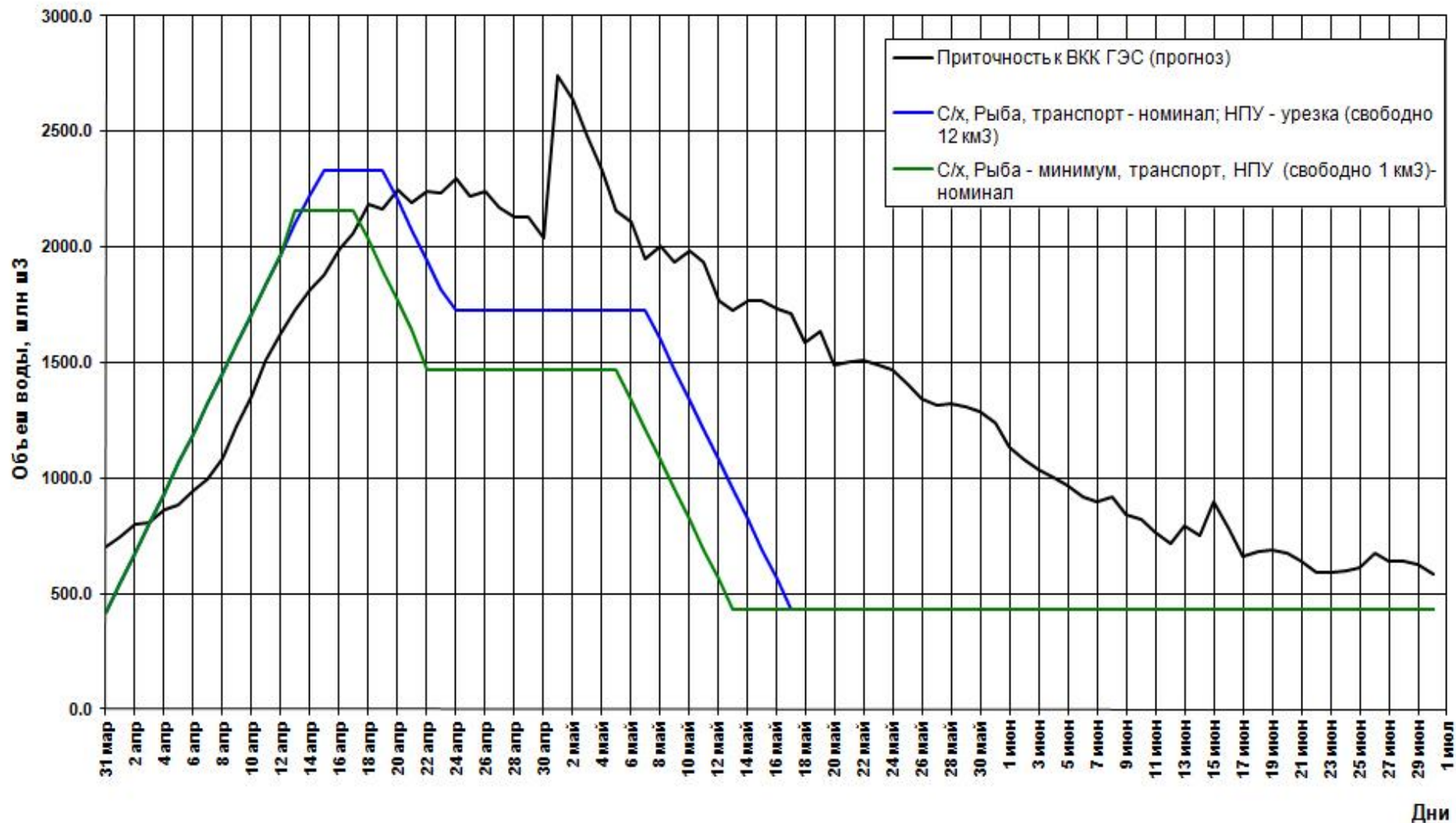
Пороговые величины для объемов притока за половодье, км³

Спецпопуск в НБ Волгоградского ГУ	Продолжительность, с/х полки, дн	С/х попуск, м ³ /с	Продолжительность, р/х полки, дн	Р/х попуск, м ³ /с	Транспортный (санитарный) попуск, м ³ /с	Объем пуска за половодье, куб.км	Пороговые величины для объемов притока за половодье, куб.км
Санитарный	7	3000	23	3000	3000	24	83
Транспортный	7	5000	23	5000	5000	39	118
Р/х мин., санитарный	7	17000	23	17000	3000	71	131
Р/х мин., транспортный	7	17000	23	17000	5000	79	137
Р/х макс., санитарный	7	20000	23	20000	3000	84	144
Р/х макс., транспортный	7	20000	23	20000	5000	91	149
Экологический, транспортный	5	25000	23	20000	5000	100	161

Блок-схема ВТ для реализации принятого стратегического решения (формирование тактического решения)



Сбросные гидрографы с Волгоградского ГУ, 2015



Объем полезног о притока											Волжская ГЭС					Б. приток к	Объем нач.	Сброс в НБ	Сброс	Объем наполн
											млн.м3	км3	м3/с	млн.м3	км3					
											Из след.	На 8:00 тек.	Из след.		На 8:00 след.					
		24.0		24.0		24.03.201				24.03.201		83	24.03.2016							
		25.0		25.0		25.03.201				25.03.201		84	25.03.2016							
		26.0		26.0		26.03.201				26.03.201		85	26.03.2016							
		27.0		27.0		27.03.201				27.03.201		86	27.03.2016							
		28.0		28.0		28.03.201				28.03.201		87	28.03.2016							
		29.0		29.0		29.03.201				29.03.201		88	29.03.2016	2.6		6820	589	30.73		
	447	31.0	2550	31.0	741	31.03.201	1826	0	190	31.03.201	36	0	90	31.03.2016	2.9	30.73	6880	594	30.71	
0.	793	01.0	3533	01.0	741	01.04.201	2231	0.2	235	01.04.201	-109	1	91	01.04.2016	-9.4	30.50	6870	594	30.50	
0.	921	02.0	3609	02.0	804	02.04.201	3344	0.5	235	02.04.201	109	2	92	02.04.2016	9.4	30.44	6800	588	29.72	
0.	321	03.0	4067	03.0	842	03.04.201	2176	0.7	260	03.04.201	40	3	93	03.04.2016	3.5	29.72	6820	589	30.65	
0.	711	04.0	3987	04.0	893	04.04.201	1550	0.8	458	04.04.201	58	4	94	04.04.2016	5.0	30.65	6910	597	30.59	
0.	947	05.0	3869	05.0	952	05.04.201	3239	1.1	530	05.04.201	146	5	95	05.04.2016	12.6	30.59	7000	605	30.62	
0.	1167	06.0	3692	06.0	1040	06.04.201	5163	1.5	701	06.04.201	143	6	96	06.04.2016	12.4	30.62	7420	641	30.71	
0.	1339	07.0	3741	07.0	1280	07.04.201	7739	2.2	748	07.04.201	143	7	97	07.04.2016	12.4	30.71	7550	652	30.41	
1.	1542	08.0	3808	08.0	1712	08.04.201	9792	3.0	920	08.04.201	-128	8	98	08.04.2016	-11.1	30.41	7460	645	29.90	
1.	1835	09.0	4078	09.0	2140	09.04.201	8939	3.8	1080	09.04.201	13	9	99	09.04.2016	1.1	29.90	7380	638	30.05	
1.	2224	10.0	4405	10.0	2760	10.04.201	8326	4.5	1140	10.04.201	144	10	100	10.04.2016	12.4	30.05	7410	640	30.50	
1.	2367	11.0	4410	11.0	3710	11.04.201	11876	5.6	220	11.04.201	73	11	101	11.04.2016	6.3	30.50	7320	632	30.05	
2.	3426	12.0	4185	12.0	4660	12.04.201	7547	6.2	866	12.04.201	180	12	102	12.04.2016	15.6	30.05	7100	613	30.17	
2.	3708	13.0	5706	13.0	5500	13.04.201	9428	7.0	900	13.04.201	177	13	103	13.04.2016	15.3	30.17	7050	609	30.41	
3.	3809	14.0	6406	14.0	5920	14.04.201	10005	7.9	870	14.04.201	209	14	104	14.04.2016	18.1	30.41	7110	614	30.29	
3.	3945	15.0	6809	15.0	6050	15.04.201	10497	8.8	705	15.04.201	209	15	105	15.04.2016	18.1	30.29	9140	790	30.11	
4.	4316	16.0	6390	16.0	7130	16.04.201	10192	9.7	770	16.04.201	307	1	106	16.04.2016	26.5	30.11	10650	920	29.99	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
9.	322	18.0	1176	18.0	2156	18.06.201	1784	25.8	215	18.06.201	48	35	169	18.06.2016	4.1	29.76	5000	432	29.77	
9.	312	19.0	1190	19.0	1997	19.06.201	1762	26.0	205	19.06.201	48	36	170	19.06.2016	4.1	29.77	5000	432	29.77	
9.	296	20.0	1197	20.0	1863	20.06.201	1755	26.1	215	20.06.201	48	37	171	20.06.2016	4.1	29.77	5000	432	29.77	
9.	267	21.0	1205	21.0	1785	21.06.201	1733	26.3	205	21.06.201	48	38	172	21.06.2016	4.1	29.77	5000	432	29.77	
10.	239	22.0	1212	22.0	1699	22.06.201	1725	26.4	205	22.06.201	48	39	173	22.06.2016	4.1	29.77	5000	432	29.77	
10.	246	23.0	1197	23.0	1614	23.06.201	1710	26.6	205	23.06.201	48	40	174	23.06.2016	4.1	29.77	5000	432	29.77	
10.	299	24.0	1176	24.0	1522	24.06.201	1695	26.7	205	24.06.201	48	41	175	24.06.2016	4.1	29.77	5000	432	29.77	
10.	304	25.0	1111	25.0	1437	25.06.201	1703	26.9	205	25.06.201	48	42	176	25.06.2016	4.1	29.77	5000	432	29.76	
10.	312	26.0	1075	26.0	1297	26.06.201	1695	27.0	215	26.06.201	48	43	177	26.06.2016	4.1	29.76	5000	432	29.76	
10.	291	27.0	1046	27.0	1163	27.06.201	1703	27.2	205	27.06.201	48	44	178	27.06.2016	4.1	29.76	5000	432	29.77	
10.	285	28.0	1017	28.0	1072	28.06.201	1718	27.3	205	28.06.201	48	45	179	28.06.2016	4.1	29.77	5000	432	29.76	
10.	256	29.0	974	29.0	1126	29.06.201	1718	27.5	205	29.06.201	48	46	180	29.06.2016	4.1	29.76	5000	432	29.76	
	01				895	30.06.201	1710	27.6	177	30.06.201	48	47	181	30.06.2016	4.1	29.76	5000	432	29.76	
	02					01.07.201				01.07.201			182	01.07.2016	1.06	29.76		49.17		
						02.07.201				02.07.201			183	02.07.2016		0.00	5000.00	432.00	28.86	
																31.10	27000.00	2332.80	31.10	

Оптимизатор (SOLVER) в среде EXCEL

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:

До: ☐ Максимум ☒ Минимум ☐ Значения:

Изменяя ячейки переменных:

В соответствии с ограничениями:

\$Y\$2 <= \$AQ\$2

\$X\$2 <= \$AP\$2

\$X\$193 <= \$W\$5

\$W\$2 <= \$AO\$2

\$V\$5 <= \$X\$192

\$V\$2 <= \$AN\$2

\$U\$2 <= \$AM\$2

\$AM\$1 <= \$U\$2

\$AN\$1 <= \$V\$2

\$AO\$1 <= \$W\$2

\$AP\$1 <= \$X\$2

\$AQ\$1 <= \$Y\$2

Добавить

Изменить

Удалить

Сбросить

Загрузить/сохранить

☒ Сделайте переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод решения:

Параметры

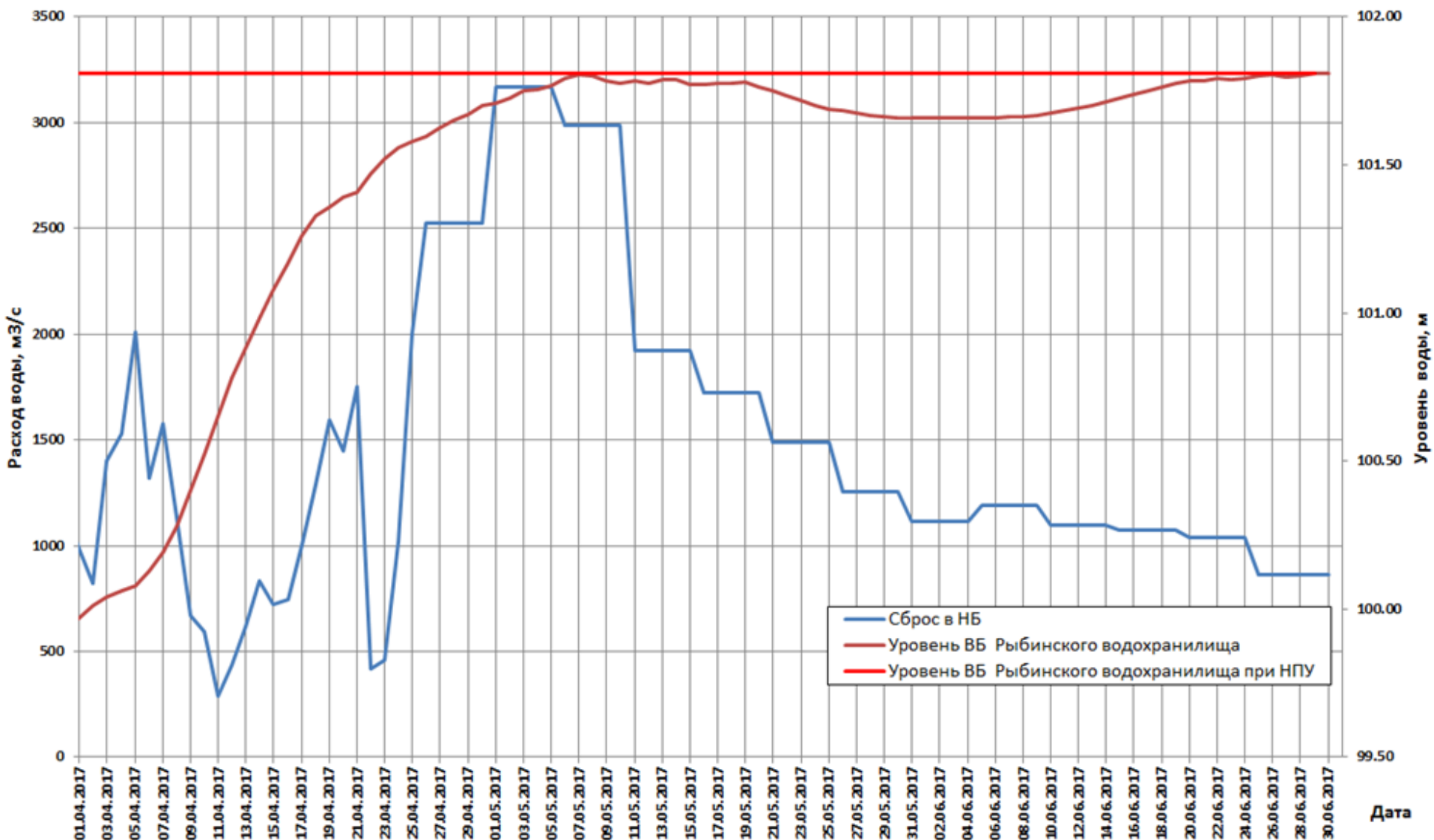
Метод решения

Для гладких нелинейных задач используйте поиск решения нелинейных задач методом ОПГ, для линейных задач - поиск решения линейных задач симплекс-методом, а для негладких задач - эволюционный поиск решения.

Справка Найти решение Закрыть

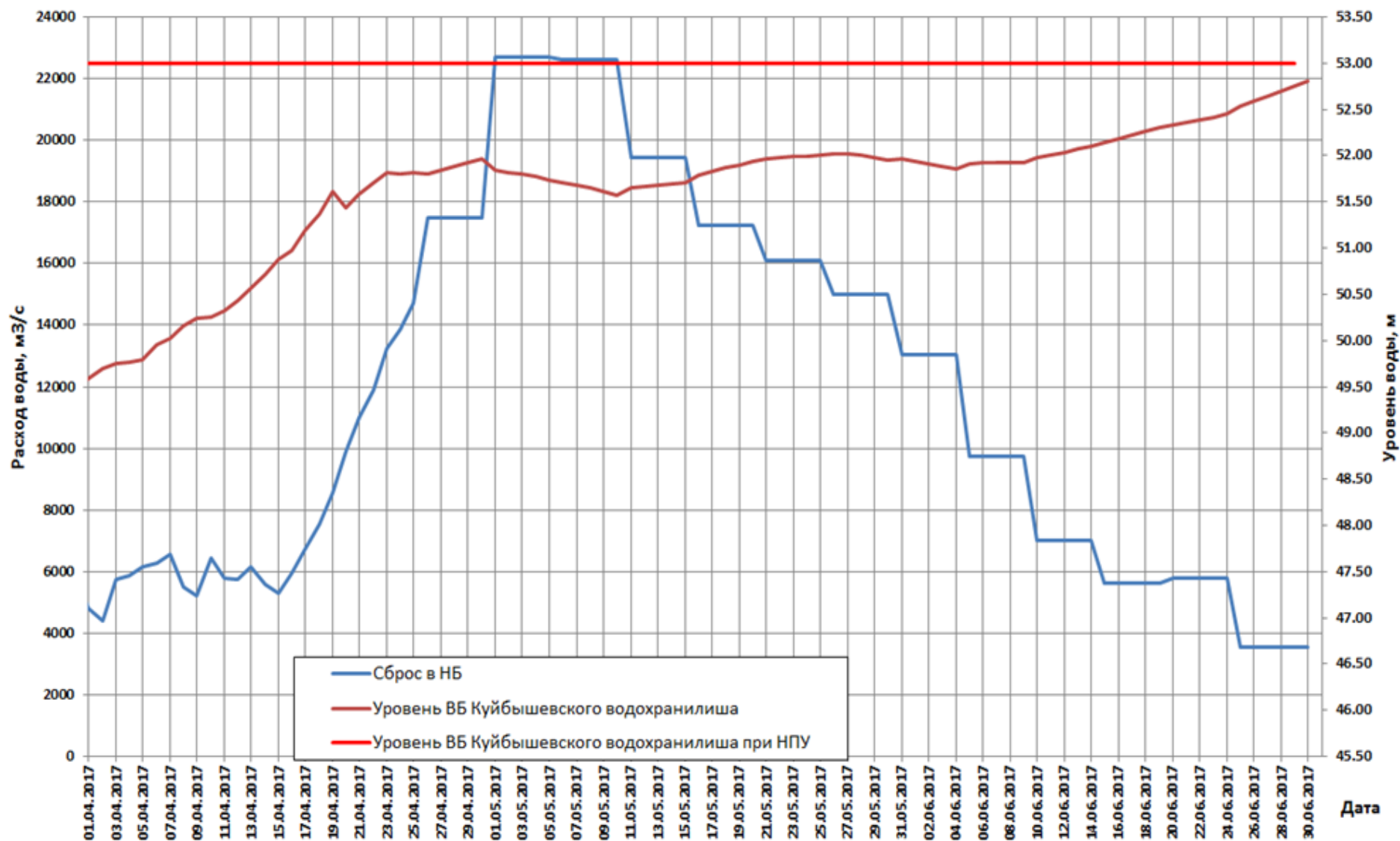
**Уровни: 25 апреля - 101,58 м; 1 мая – 101,71 м;
8 мая – 101,8 м; 1 июля - 101,81 м (НПУ)**

**Расчетный режим работы Рыбинского водохранилища во II квартале 2017
(на 27.04.17 г)**



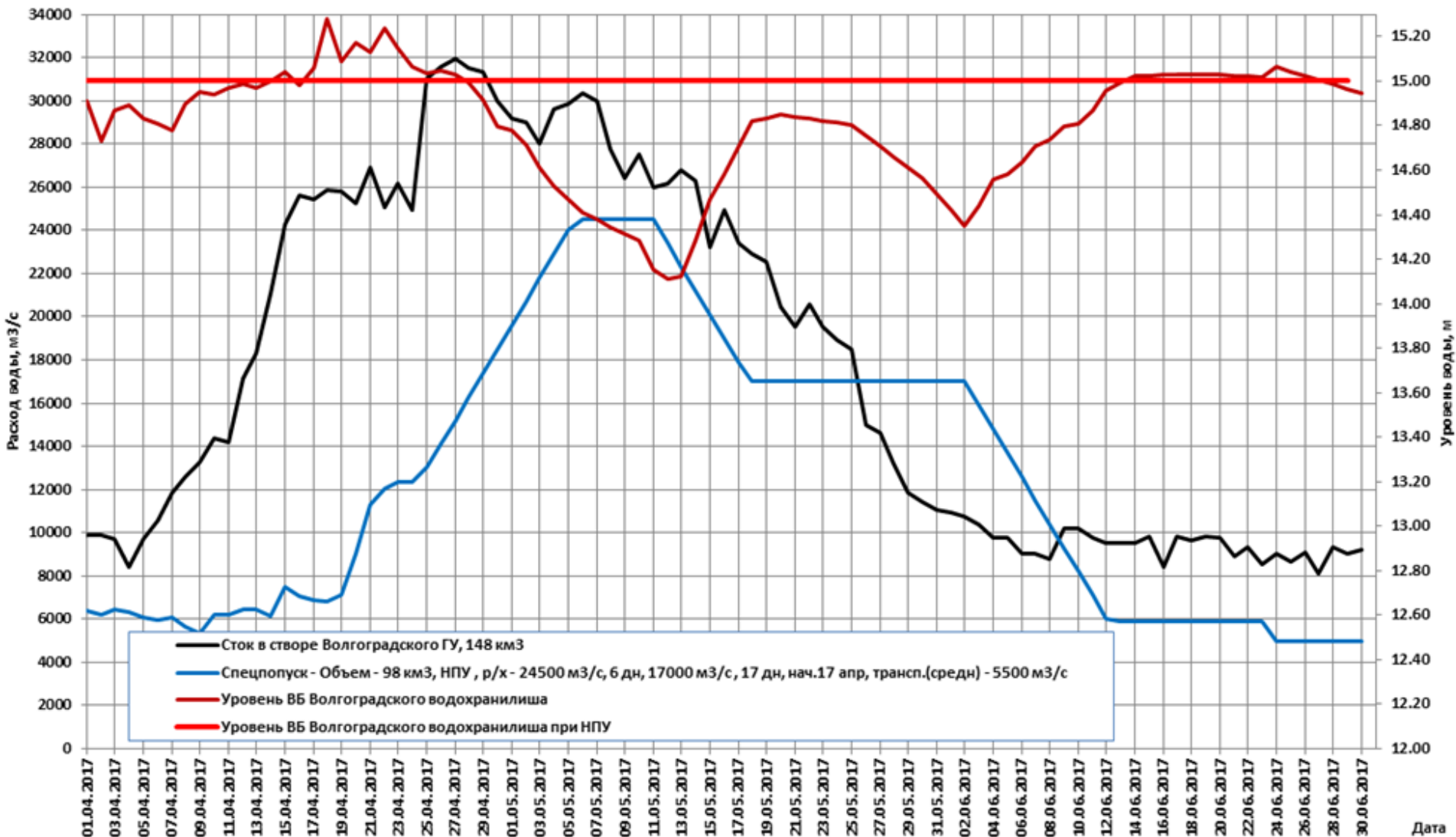
**Уровни: 25 апреля - 51,82 м; 1 мая – 51,84 м;
8 мая – 51,65 м; 1 июля - 52,80 м (-20 см от НПУ)**

**Расчетный режим работы Куйбышевского водохранилища во II квартале 2017
(на 27.04.17 г)**



До 5 мая, с 15 по 31 мая, с 3 по 30 июня уровень больше или равен 14,5 м. Минимальный уровень 14,11 м

Расчетный режим работы Волгоградского водохранилища во II квартале 2017
(на 27.04.17 г)





Спасибо за внимание!