

УДК 556:626

## ВОДНЫЙ БАЛАНС И ВОДНЫЙ РЕЖИМ ОЗЕРА СЕВАН НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ

Л.Р. Варданян<sup>1</sup>, Л.В. Азизян<sup>1</sup>, Е.П. Ероян<sup>2</sup>, Г.А. Овасапян<sup>2</sup>, С.М. Мкртчян<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Государственная служба Армении по гидрометеорологии и мониторингу МТУЧС РА

<sup>2</sup> Институт водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егиазарова

Представлен анализ компонентов водного баланса и водного режима озера Севан на разных этапах. Показано их изменение в периоды понижения уровня озера, период относительной стабилизации и с 2002 г. - период повышения уровня озера. С помощью средних значений компонентов водного баланса и основываясь на результатах наблюдений за 2002-2014 гг., дается оценка долгосрочного изменения уровня озера Севан до 2030 г. В работе были использованы результаты годовых водных балансов озера Севан.

**Ключевые слова:** водный баланс, водный режим озера, изменение уровня озера, испарение, поверхностный приток, модульный коэффициент.

**Введение.** Озеро Севан является уникальным природным комплексом и важнейшим водным объектом, одним из национальных символов Армении, играющим большую роль в народном хозяйстве РА. На базе использования водных ресурсов озера в республике большое развитие получили орошаемое земледелие и гидроэнергетика.

Идея использования вод озера возникла, в основном, исходя из необходимости развития энергетики и орошаемого земледелия страны с учетом доступности такого использования, высокого положения озера над Араратской равниной и окружающей ее предгорной зоной, больших вековых запасов озера и его гидрологических особенностей.

Созданный по первой схеме использования водных ресурсов озера водохозяйственный комплекс включает систему орошения 80 тыс. га земель и каскад из 6 гидроэлектростанций с суммарной мощностью 556 МВт, выработкой 2,5 млрд кВтч в год. С осуществлением этой схемы в 1933 г. начался спуск уровня озера, когда величина годовых попусков начала превышать естественный сток озера. Но интенсивный спуск начался в 1949 г., после пуска головной ГЭС и основного водохранилища. Интенсивный спуск уровня озера длился 16 лет (1949–1964 гг.) и составил 13,5 м. Годовая величина попусков в то время достигла 1,2...1,5 млрд м<sup>3</sup> [1].

**Водный баланс озера в период снижения уровня.** В естественном состоянии, до спуска уровня, из каждых 13 м<sup>3</sup> приходной части водного баланса 12 м<sup>3</sup> расходовалось на испарение (табл. 1). Соразмерность величины испарения с поверхностью озера с суммарным притоком воды является следствием на

редкость малого соотношения (равного 1:2,5) площади водосбора и зеркала озера. Такое соотношение является основой проявления характерной особенности водного баланса оз. Севан.

Таблица 1  
Водный баланс оз. Севан до спуска его уровня [2]

Приход	млн м <sup>3</sup>	Расход	млн м <sup>3</sup>
Приток воды в озеро	770	Испарение	1210
Осадки на зеркало озера	550	Поверхностный сток	50
		Подземный сток	60
Итого	1320	Итого	1320

В дальнейшем, с понижением уровня, водный баланс озера и его составляющие претерпели изменения (рис. 1).

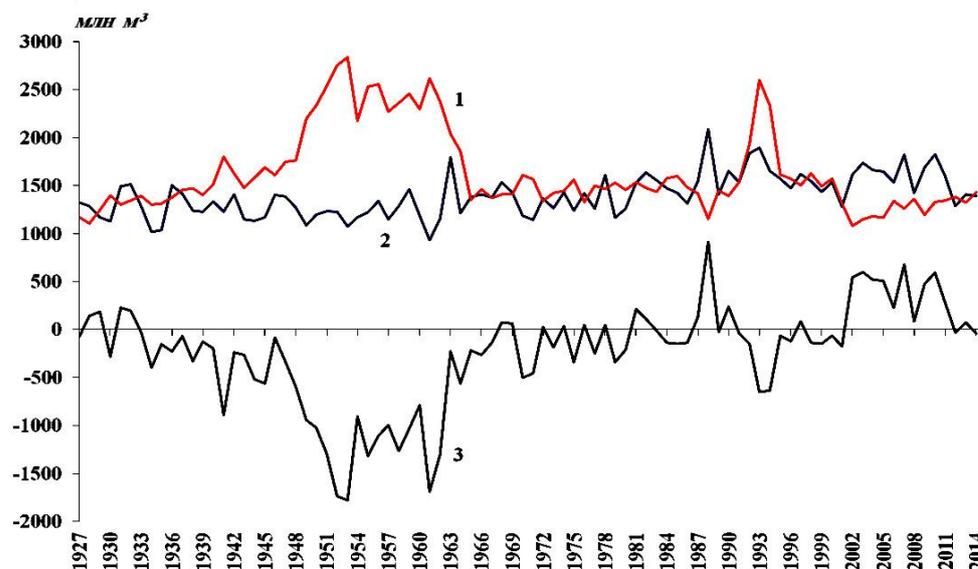


Рис. 1. Изменения приходных (2) и расходных (1) составляющих водного баланса, а также объема озера (3) за период 1927-2014 гг.

Разность в период спуска уровня озера соразмерна с изменением объема озера и характеризует использование его вековых запасов. Наибольшим элементом баланса является испарение, которое изменялось по ходу понижения уровня и сокращения площади зеркала озера. Однако уменьшение его осредненной величины по сравнению с уменьшением площади озера небольшое. Это объясняется увеличением его удельной величины, слоя испарения. Небольшое уменьшение испарения соответственно отразилось на тенденции увеличения активной отдачи - естественного стока из озера. Однако в последний

период (1981–2014 гг.) изменение активной отдачи имело сложный характер: линейную тенденцию уменьшения, а в конце периода - увеличение отдачи воды. Благодаря этому в настоящее время уровень озера повышается.

За этот период по причине такого спуска уровня и усиливающегося ухудшения качества воды озера за счет их загрязнения со стороны водосборного бассейна было замечено резкое ухудшение экологического состояния озера. По этой причине и исходя из сложившегося в это время общественного мнения о недальновидности первой схемы использования вековых запасов озера, эта схема отвергнута на государственном уровне. Проблема озера перешла во второй этап развития, основной смысл которого заключался в остановке спуска уровня на возможно высокой отметке. Для этого потребовалось выровнять приходную и расходную части в балансе озера без нарушения развития ирригации и энергетики и, как следствие, заменить энергию, вырабатываемую Севан-Разданским каскадом на специальных энергетических попусках из озера, что стало возможным вводом в строй тепловых электростанций, благодаря чему энергетические попуски в 1978 г. прекратились. Для компенсации частичного сокращения ирригационных попусков были введены мощные насосные станции подкачки низинных свободных вод Араратской равнины на высокие отметки для замены севанских вод. Были построены также водохранилища на реках Касах (Апаранское водохранилище) и Азат (Азатское водохранилище) для более эффективного использования местного стока путем его регулирования.

Наряду с уменьшением расходной статьи баланса озера необходимо было искусственное увеличение приходной части. С этой целью начал осуществляться большой комплекс переброски части стока р. Арпа в озеро, который вступил в строй в 1981 г.

Таким образом, была создана водохозяйственная система Арпа-Севан-Раздан. Осуществление части водохозяйственных мероприятий позволило с 1965 г. сократить попуски из озера до 500 млн м<sup>3</sup> в год, в том числе 380 млн м<sup>3</sup> ирригационных, и, кроме того, в год ввода туннеля Арпа-Севан проектной мощностью переброски в 250 млн м<sup>3</sup> воды в год остановить спуск уровня озера после снижения его на 18,48 м от начальной расчетной отметки (1915,57 м).

В периоды понижения (до 1981 г.), относительной стабилизации (1981–2001 гг.) и нынешнего (с 2002 г.) этапа повышения уровня имели место изменения водохозяйственных параметров озера (рис. 2). Попуски воды из озера до 1981 г. имели место в основном за счет его вековых запасов, в период 1981–2001 гг. - за счет естественного стока (водоотдачи) и перебрасываемого из р. Арпа стока, а после 2001 г. началось частичное восстановление вековых запасов озера за счет естественного стока и перебрасываемой воды. За период отмеченного спуска уровня и период стабилизации из озера было выпущено 47,1 млрд м<sup>3</sup> воды (не считая около 2 млрд м<sup>3</sup> подземного оттока), в том числе 25,6 млрд м<sup>3</sup> за счет вековых запасов озера. Объем воды в озере уменьшился на 43,7%, площадь зеркала - на 12,1%. Совмещенные графики изменения уровня и попусков из

озера отчетливо отражают ход решения проблемы озера за описанные этапы (рис. 2).

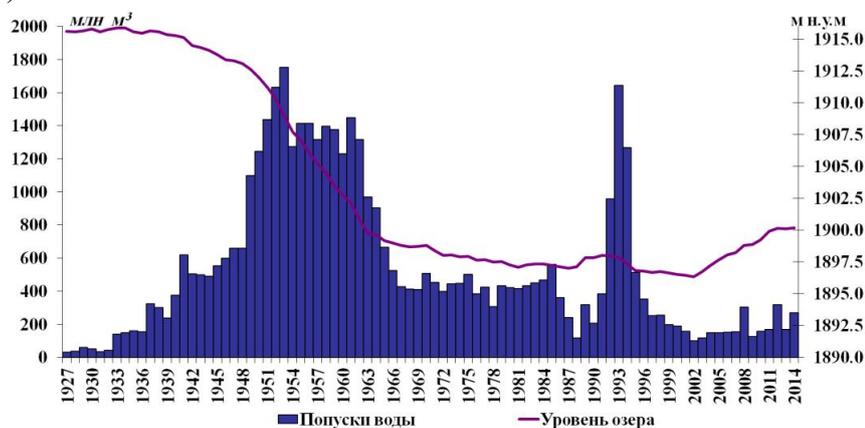


Рис. 2. Изменение уровня озера и пусков из озера за 1927–2014 гг.

**Водный баланс и режим озера в период стабилизации уровня.** Понижение уровня озера в конце 1980 г. составило около 18,5 м. В годы условной стабилизации (1981–2001 гг.) уровень поднялся на 0,9 м (1981–1990 гг.), а затем понизился на 1,68 м (1991–2001 гг.). После достижения минимальной отметки 1896,32 м началось постепенное повышение уровня. До конца 2014 г. это повышение составило 3,81 м. В конце 2014 г. суммарное понижение уровня сократилось до 15,44 м. Эти изменения повлияли на водный баланс и озера. По данным Армгосгидромета за 2014 г., водный баланс озера в период 1981–2014 гг. в среднем и за характерные годы имеет следующий вид (см. табл. 2).

Таблица 2

Водный баланс оз. Севан в период 1981-2014 гг.

Элементы баланса	Средний	1981	1988*	1999**	2001***
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Приход, млн м <sup>3</sup>					
Приток воды по рекам	775	774	1125	576	582
Осадки на зеркало	507	541	602	454	420
Подземный приток	92	53	93	94	94
Переброска из р. Арпа	204	164	264	311	180
Итого	1578	1532	2084	1435	1276

Продолжение, табл. 2

1	2	3	4	5	6
Расход, млн м <sup>3</sup>					
Испарение	1108	1114	1024	1282	1142
Подземный сток	13	6	14	14	14
Попуски из озера	355	416	113	196	158
Итого	1476	1536	115	1492	1314
Морфометрические параметры					
Отметка уровня (м):					
в начале	1897,09	1897,09	1897,10	1896,63	1896,46
в конце	1900,13	1897,10	1897,83	1896,51	1896,32
Площадь зеркала (км <sup>2</sup> ):					
в начале	1244,38	1244,38	1244,50	1239,71	1237,89
в конце	1274,99	1244,42	1251,83	1238,55	1236,20
Объем воды (км <sup>3</sup> ):					
в начале	33,88	33,88	33,89	33,30	33,09
в конце	37,71	33,88	34,80	33,15	32,92

Примечание: \* - многоводный год;

\*\* - год минимального естественного стока (-259 млн м<sup>3</sup>),

\*\*\* - год минимальной отметки уровня.

Таким образом, изменение водного баланса оз. Севан в ходе искусственного понижения его уровня проявилось в изменении основных противоположно взаимосвязанных элементов - испарения и естественного стока (активной отдачи озера). Для уточнения и прогноза отмеченных изменений необходимо расширить соответствующий мониторинг и изучить характеристики элементов баланса озера [3]. Такой прогноз необходим для уточнения планов повышения уровня озера и проведения мер по улучшению его экологического состояния, созданию стратегического запаса и запаса вод для эффективного использования водных ресурсов водоема.

Сравнение величин элементов и структуры балансов последнего периода (1981–2014 гг.) и естественного состояния (до спуска уровня) показывает, что подземный сток в расходной части значительно уменьшился; в приходной части баланса появился новый элемент - подземный приток. Правомерность появления последнего, его рост за период 1927–1980 гг., постоянство по годам в период 1981–2014 гг., а также согласованность по величине с соответствующим

элементом баланса водосборной площади озера, глубинным стоком четко не установлены. В связи с использованием и искусственным пополнением водных ресурсов озера в его водном балансе в приходной части добавляется элемент переброски. В расходной части поверхностный сток заменяется элементом попуска из озера, придавая водному балансу озера структуру водохозяйственного баланса озера-водохранилища.

К концу завершения второго этапа проблема озера получила новый смысл, заключающийся в восстановлении нарушенного экологического режима озера. На основе научных исследований и анализа технических возможностей стало реальным повышение уровня озера до отметки 1903,5 м. Это обеспечит условия для восстановления экологического равновесия озера и качества воды, создания стратегического запаса воды питьевого качества, что можно будет использовать для водоснабжения и других целей.

**Водный баланс и режим озера в период повышения уровня.** Повышение уровня озера, как было сказано выше, началось с 2002 г. (табл. 3). При этом элементы водного баланса по величине из года в год почти повторяются. Исключение составляют 2008, 2012, 2014 гг., являющиеся в некотором масштабе аномальными как по естественным элементам, так и по использованию воды, попускам из озера.

Что касается внутригодового хода изменения элементов баланса, то здесь происходит обычное сезонное распределение (рис. 3).

Такое же сезонное распределение наблюдается в годовом ходе уровня озера. В месячном разрезе больше всего уровень озера повышается в мае – в среднем на 21 см (2002-2014 гг.), максимально - на 36 см (2007 г.), а больше всего понижается в августе или сентябре – в среднем на 10 см, максимальная величина понижения составила 16 см – в августе 2014 года.

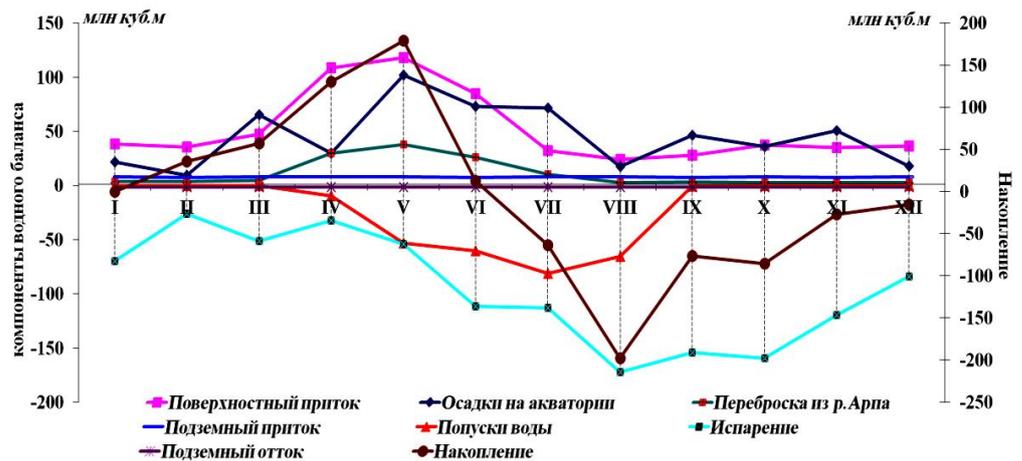


Рис. 3. Годовой ход изменения элементов водного баланса в 2014 г.

Таблица 3

## Водный баланс оз. Севан за 2002–2014 гг.[4]

Элементы баланса	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Приход, млн м<sup>3</sup></b>													
Поверхностный приток	692,5	760,9	750,5	735,2	703,2	804,1	668,0	764,3	981,8	855,1	675,2	710,4	626,1
Подземный приток	94,2	94,2	94,2	94,2	94,2	94,2	94,2	94,2	94,2	94,2	94,2	94,2	94,3
Осадки на акваторию	585,62	620,9	567,8	577,4	554,0	742,9	469,4	625,7	601,5	603,2	441,0	648,8	541,7
Переброска из р. Арпа	243,71	260,6	247,9	240,6	183,8	177,5	192,4	203,8	237,1	53,1	77,6	137,1	130,2
<b>Итого</b>	<b>1616,02</b>	<b>1736,6</b>	<b>1660,4</b>	<b>1647,4</b>	<b>1535,2</b>	<b>1818,7</b>	<b>1424,0</b>	<b>1688,0</b>	<b>1824,6</b>	<b>1605,6</b>	<b>1288,0</b>	<b>1410,5</b>	<b>1392,3</b>
<b>Расход, млн м<sup>3</sup></b>													
Испарение	966,5	1018,4	1015,4	1001,2	1170,3	1092,8	1044,9	1053,7	1154,6	1159,8	1051,5	1138,2	1147,3
Подземный отток	14,4	14,4	14,4	14,40	14,40	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
Попуски воды	99,5	118,3	149,0	149,55	152,0	155,0	303,7	126,5	157,7	168,3	317,6	170,0	269,6
<b>Итого</b>	<b>1080,4</b>	<b>1151,1</b>	<b>1179,7</b>	<b>1165,0</b>	<b>1337,1</b>	<b>1262,0</b>	<b>1363,0</b>	<b>1194,6</b>	<b>1326,7</b>	<b>1342,5</b>	<b>1383,5</b>	<b>1322,6</b>	<b>1431,3</b>
Разность ±	535,7	585,5	470,7	482,2	198,1	556,9	61,0	493,4	497,9	263,1	-95,5	87,9	-39
Невязка ±	-9,3	-14,5	-37,3	-27,8	-33,9	120,1	-24,0	15,4	-93,1	-23,9	-63,6	15,1	5,70
Уровень в начале года	1896,32	1896,76	1897,24	1897,66	1898,07	1898,25	1898,79	1898,85	1899,23	1899,90	1900,13	1900,10	1900,16
Уровень в конце года	1896,76	1897,24	1897,66	1898,07	1898,25	1898,79	1898,85	1899,23	1899,70	1900,13	1900,10	1900,16	1900,13
<b>Изменение уровня, м</b>													
За год	0,44	0,48	0,42	0,41	0,18	0,54	0,06	0,38	0,47	0,23	-0,03	0,06	-0,03
Суммарное изменение	0,44	0,92	1,34	1,75	1,93	2,47	2,53	2,91	3,38	3,61	3,58	3,64	3,61
<b>Объем воды, км<sup>3</sup></b>													
В начале года	32,921	33,466	34,066	34,584	35,094	35,326	36,003	36,088	36,566	37,423	37,709	37,677	37,750
В конце года	33,466	34,066	34,584	35,094	35,326	36,003	36,088	36,566	37,156	37,715	37,677	37,750	37,705
Накопление за год	0,545	0,600	0,518	0,510	0,232	0,677	0,085	0,478	0,59	0,292	-0,032	0,073	-0,045
Суммарное накопление	0,545	1,145	1,663	2,173	2,405	3,082	3,167	3,645	4,235	4,527	4,495	4,568	4,523

За период 2002 - 2014 гг. средняя величина годового повышения уровня озера составила 27 см. За тот же период суммарное повышение уровня озера составило 3,81 м. В годовом разрезе величина максимального повышения наблюдалась в 2007 году и составила 54 см, а в 2012 и 2014 гг. наоборот - уровень опустился на 3 см. В 2008 и 2013 гг. величина годового повышения уровня озера составила 6 см, что значительно ниже средней величины рассматриваемого периода (рис. 4).

Изменения уровня озера и величин элементов баланса, обуславливающих эти изменения, представлены по годам в виде графиков (рис. 5). При этом, учитывая, что в рассматриваемый период величины подземного притока и оттока были постоянными, они не включены в графики, а значения всех остальных элементов взяты с их модульными коэффициентами (отношение величины рассматриваемого элемента к его средней многолетней величине за данный период), причем за норму попусков из озера взято 170 млн м<sup>3</sup>, а за норму

количества воды, поступающей по туннелю Арпа-Севан, принято 220 млн м<sup>3</sup> (средняя величина за 2002-2010 гг.).

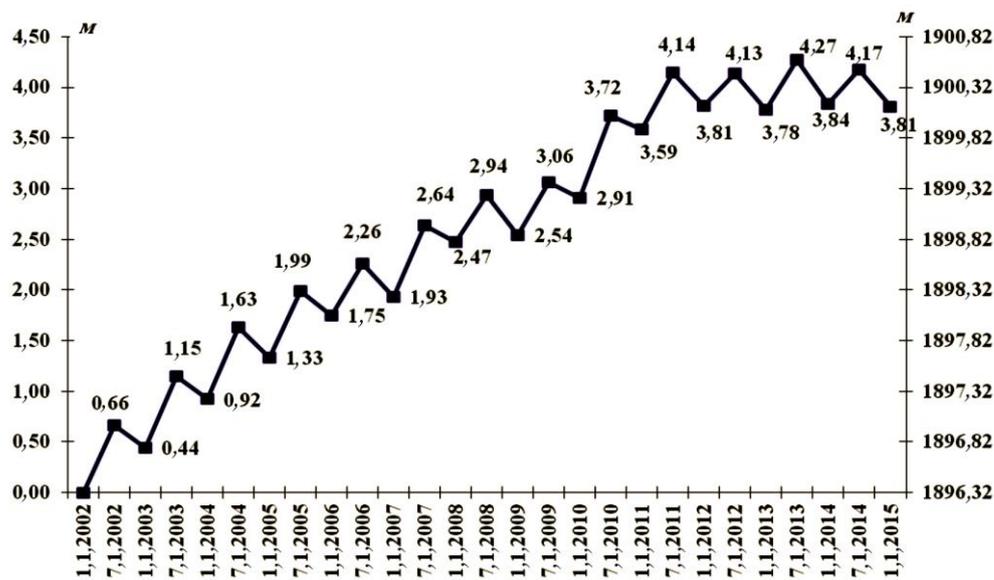


Рис. 4. Повышение уровня (отметки, м н.у.м) по годам и за период повышения уровня 2002–2014 гг.

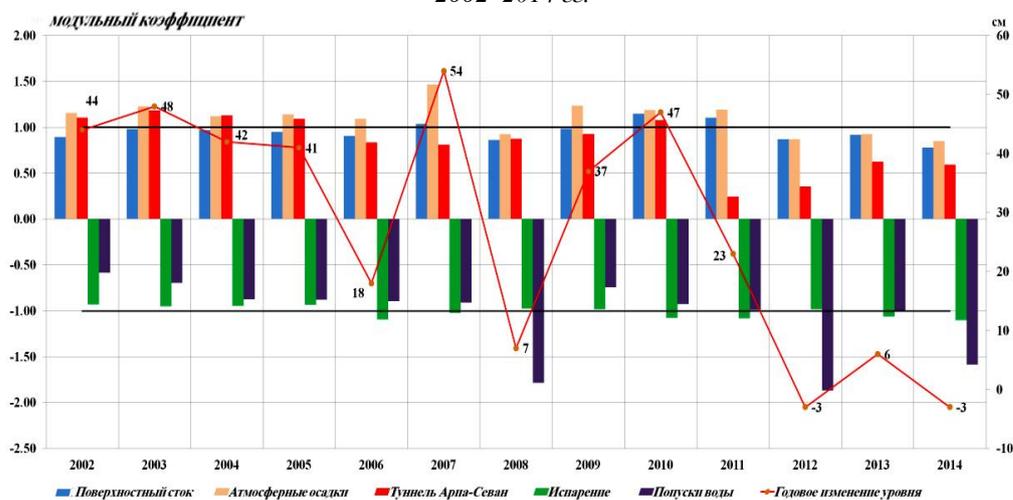


Рис. 5. Динамика изменения модульных коэффициентов элементов водного баланса и уровня озера Севан за 2002-2014 гг.

Как показано на графике, годовой рост уровня озера колеблется в пределах 41...48 см за период 2002-2005 гг. Это обусловлено тем, что приходные компоненты водного баланса (за исключением речного стока) были выше нормы, в то время как значения расходных компонентов ниже нормы.

В 2007 году, как уже отмечалось выше, уровень озера повысился на максимальное значение и составил 54 см, так как этот год выделялся обильными осадками. 2008 г. и 2012-2014 гг. были засушливыми, и изменение уровня озера не только было ниже нормы, но и со знаком минус (в частности, в 2012, 2014 гг.). В течение указанного периода все приходные компоненты водного баланса были ниже нормы (в 2012 г. сток туннеля Арпа-Севан состоял главным образом из потоков грунтовых вод), в то же время в эти годы (за исключением 2013 г.) водозбор с озера Севан был самым высоким за рассматриваемый период.

В 2010 и 2011 гг. значения приходных компонентов водного баланса были достаточно высокими, и, несмотря на значительное испарение с озера, это обстоятельство обеспечило повышение уровня воды соответственно на 47 и 23 см (повышение уровня воды в 2011 г. было меньше относительно 2010 г., так как не работал туннель Арпа-Севан, и водозабор с озера был больше в 2011 г.).

В результате анализа исторических данных о многолетней кривой колебаний уровня озера [5,6] приходим к выводу, что уровень озера имел колебания с вековым циклом около 60 лет и амплитуду в 2,5...3,0 м. Первые циклы (начало 1820 г.) проявились достаточно четко. Судя по ним, можно предположить, что с 2002 г. начавшееся половодье в естественном стоке озера является началом четвертого цикла. Следовательно, начавшийся естественный ход повышения уровня может продолжаться еще 15...20 лет, что совпадает со сроком запланированного повышения уровня озера на оптимальную высоту - до отметки 1903,5 м.

Исходя из вышеизложенного, нами была проведена оценка изменения уровня озера Севан до 2030 г., при этом для долгосрочной оценки изменения уровня были учтены средние значения компонентов водного баланса по результатам за 2002-2014 гг. Следует отметить: до 2017 г. в озеро поступит 130 млн м<sup>3</sup> воды в год за счет туннеля Арпа-Севан, а после завершения работ над туннелем, в 2017 г. - до 250 млн м<sup>3</sup> воды. Принимая водозабор с озера 170 млн м<sup>3</sup> в год, прогнозируется, что 1-го января 2017 г. уровень воды озера Севан составит 1900,49 м. Результаты прогнозов для 2018 г. и последующих лет представлены в табл. 4.

Таблица 4  
 Результаты прогнозов уровня озера Севан за период 2015-2030 гг.

Годы	Прогнозируемые значения уровня озера (м) на 01.01
2017	1900,49
2018	1900,78
2019	1901,07
2020	1901,35
2021	1901,64
2022	1901,93
2023	1902,21
2024	1902,50
2025	1902,78
2026	1903,07
2027	1903,35
2028	1903,63
2029	1903,92
2030	1904,20

**Выводы.** Сравнение величин элементов, а также структуры балансов периода (1981–2014 гг.) и естественного состояния (до спуска уровня) показывает, что подземный сток в расходной части значительно уменьшился; в приходной части баланса появился новый элемент - подземный приток.

За период 2002-2014 гг. средняя величина годового повышения уровня озера составляет 27 см. За тот же период суммарное повышение уровня озера составило 3,81 м. В годовом разрезе величина максимального повышения наблюдалась в 2007 г. и составила 54 см, а в 2012 и 2014 гг. наоборот - уровень опустился на 3 см.

*Работа проведена в рамках темы “Научно-технические эскизные основы водно-ресурсного обеспечения перспективного повышения уровня озера Севан” (шифр 13-1E228).*

#### Литература

1. **Մնացականյան Բ.Պ.** Սևանի ավազան (Բնությունը, կլիման և ջրերը). – Երևան: Աստղիկ, 2007.- 190 էջ:
2. **Давыдов В.К.** Водный баланс оз. Севан: Материалы по исследованию оз. Севан и его бассейна. - Ч. 6. -Л., 1938. - 83 с.
3. **Զիլինգարյան Լ.Ա.** Սևանա լճի մակարդակի բարձրացման և ջրատնտեսական հաշվեկշռի տարրերի փոփոխության կանխագուշակումը.-Երևան: Հայաստան, 1992.- 134 էջ:
4. Հիդրոմետ ծառայություն: Սևանա լճի ջրային հաշվեկշռի տարեկան և ամսական տեղեկանքներ, 1961-2014 թթ.

5. **Бек-Мармарчев Б.И.** Многолетняя кривая колебаний уровня озера Севан // Известия АН АрмССР. - 1951. - Т. IV, № 1. - С. 53–69.
6. **Зайков Б.Д.** Водный баланс озера Севан // Тр. Водно-энергетического ин-та АН АрмССР.-1950.-С. 107–131.

*Поступила в редакцию 25.10.2015.  
Принята к опубликованию 22.02.2016.*

## **ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ԶՐԱՅԻՆ ՀԱՇՎԵԿՇԻՌԸ ԵՎ ԶՐԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄԸ ՏԱՐԲԵՐ ՓՈՒԼԵՐՈՒՄ**

**Լ.Ռ. Վարդանյան, Լ.Վ. Ազիզյան, Ե.Պ. Երոյան, Գ.Հ. Հովասափյան,  
Ս.Մ. Մկրտչյան**

Ներկայացված են Սևանա լճի ջրային հաշվեկշռի տարրերի վերլուծությունը, դրանց փոփոխությունը տարբեր փուլերում՝ մինչև մակարդակի իջեցումը, հարաբերական կայունության և ներկայիս (2002 թ.-ից) մակարդակի բարձացման փուլերում: 2002-2014 թթ. ջրային հաշվեկշիռների տարրերի միջին արժեքների միջոցով գնահատվել է Սևանա լճի մակարդակի երկարաժամկետ փոփոխությունը մինչև 2030թ.: Աշխատանքի իրականացման համար օգտագործվել են Սևանա լճի տարեկան ջրային հաշվեկշիռների արդյունքները:

**Առանցքային բաներ.** ջրային հաշվեկշիռ, լճի ջրային ռեժիմ, լճի մակարդակի փոփոխություն, գոլորշացում, մակերևութային ներհոսք, մոդուլային գործակից:

## **WATER BALANCE AND WATER REGIME OF LAKE SEVAN AT DIFFERENT STAGES**

**L.R. Vardanyan, L.V. Azizyan, Y.P. Yeroyan, G.H. Hovasapyan,  
S.M. Mkrtchyan**

The analysis of the components of the water balance and water regime of Lake Sevan, at different stages is introduced: the period before the descent of the level, the period of relative stabilization and present (since 2002) - the period of rising. With the average values of the components of the water balance in the period of 2002-2014, the long-term change in the level of Lake Sevan till 2030 was estimated. For implementing the work, the results of annual water balances of Lake Sevan were used.

**Keywords:** water balance, water regime of the lake, the change in the level of the lake, evaporation, surface inflow, modular coefficient.