

## ВОДНЫЙ БАЛАНС ПРАКУЛУНДИНСКОГО ОЗЕРА

В.П. Галахов, И.А. Колупаева<sup>1</sup>

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул,

<sup>1</sup>Алтайский государственный университет, г. Барнаул

Водный баланс современного Кулундинского озера был рассмотрен впервые А.В.Шнитниковым [14]. Однако наиболее подробные воднобалансовые работы проводились сотрудниками Ленинградского гидрометеорологического института в 1976-1980 гг. По результатам этих исследований был составлен соответствующий отчет и опубликован ряд статей [10,11,12].

Уравнение водного баланса бессточного озера имеет вид [5]:

$$V_{\text{пов.}} + V_{\text{подз.}} + V_{\text{осадков}} - V_{\text{испар.}} \pm V = 0, \quad (1)$$

где:  $V_{\text{пов.}}$  – поверхностный приток,  $V_{\text{подз.}}$  – подземный приток,  $V_{\text{осадков}}$  – осадки на поверхность водоема,  $V_{\text{испар.}}$  – испарение с водной поверхности или конденсация,  $V$  – изменение объема водоема.

Несмотря на кажущуюся простоту уравнения водного баланса, расчет его отдельных составляющих весьма сложен и может быть подвержен значительным ошибкам [9]. Все зависит от конкретно решаемой задачи. В нашем случае мы рассматриваем современные составляющие водного баланса, чтобы определить их возможные изменения в недалеком прошлом. Нас интересует также вопрос: что более интенсивно влияет на уровень зеркала озера – изменение термического режима (определяет испарение) или изменение увлажнения (годовые осадки).

Для решения поставленных задач воспользуемся имитационным моделированием [7]. Рассмотрим расчет отдельных составляющих уравнения водного баланса и ошибки, появляющиеся в результате расчетов.

### Поверхностный приток.

Расчет поверхностного притока при изменении термического режима и годовой суммы осадков рассмотрен нами в предыдущей статье [6]. Дополнительно лишь отметим, что поверхностный береговой сток (площади водосборного бассейна Кулундинского озера, не вошедшие в водосборные бассейны рек Кулунды и Суетки) оценивался по данным соответствующих водомерных постов.

Средний многолетний сток реки Кучук (при оценке праКулундинского озера) оценивался по данным поста Усть-Суетка. Расчеты показывают, что коэффициент корреляции между средними многолетними расходами рек Кучук и Суетка равен 0,99, а между Кучуком и Кулундой – 0,62.

### Подземный приток.

Как правило, подземный приток (грунтовые и напорные межпластовые воды) рассчитывается как остаточный член уравнения. Однако, в нашем случае, благодаря работам сотрудников Ленинградского гидрометеорологического института мы можем оценить, по крайней мере, приток грунтовых вод по непосредственным наблюдениям. Как указывает А.М.Догановский, существует устойчивая связь между притоком грунтовых вод и уровнем озера (табл. 1).

1. Уровень зеркала Кулундинского озера ( $H_{\text{оз. м.абс.}}$ ) и приток грунтовых вод ( $Q_{\text{млн. куб. м./год}}$ ) [12].

Год	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
H	99,18	99,37	99,55	99,61	99,44	99,32	99,22	99,09	99,10
Q	17,6	16,1	16,6	18,1	19,8	20,4	21,4	24,8	23,4

Материалы этих исследований позволяют принять следующий алгоритм притока грунтовых вод в озеро. При уровне зеркала более – равно 99,5 м.абс. (уровень сброса воды из озера Кулундинского в озеро Кучук) величину грунтового притока примем, в соответствии с рекомендацией А.М.Догановского, равной 17,68 млн. м<sup>3</sup>/год [12]. При уровнях зеркала менее 99,5 м.абс. величина притока грунтовых вод будет зависеть от уровня стояния озера:

$$W_{\text{грунтового}} = 1018,65 - 10,06 * H_{\text{оз. м.абс.}} \quad (2)$$

Межпластовые напорные воды, по мнению сотрудников Ленинградского гидрометеорологического института, фильтруясь через «гидрогеологические окна» и затем через донные осадки дают постоянную величину равную 96,8 тыс. м<sup>3</sup>/сутки или 35,2 м<sup>3</sup>/год. Мы полагаем, что величина притока в озеро из напорных межпластовых горизонтов должна быть близкой к нулю, как это считает Д.И.Абрамович [1]. Поэтому в своих расчетах мы учитывали лишь приток грунтовых вод.

### Осадки на поверхность водоема.

Осадки на поверхность озера оцениваются по данным измерений ближайших осадкомерных станций. Однако если метеорологические станции и посты расположены не на островах, возникают «трудно учитываемые ветровые погрешности» ([9], с. 220). Кроме этого, «результаты различных исследований показывают, что осадки, выпадающие

на поверхность озера, ниже, чем осадки над окружающей сушей» ([9], с. 220). Различие на замерзающих озерах может достигать 6 % годовой суммы [9]. В наших расчетах осадки рассчитывались методом интерполяции по следующим осадкомерным постам: Благовещенка, Родино, Кулунда, Славгород, Знаменка, Шимолино. При изменении годовой суммы осадков их внутригодовое распределение принималось современным.

#### Испарение с водной поверхности.

Расходными составляющими для Кулундинского озера являются испарение с поверхности озера и сброс части вод по протоке в озеро Кучук. Однако, сброс воды в озеро Кучук наблюдается лишь при уровне зеркала Кулундинского озера больше-равно 99,5 м.абс. Для расчетов нами принят уровень Кулундинского озера снятый с топографических карт и равный 98,7 м.абс. Таким образом, в нашем случае перелив не должен наблюдаться.

Как и для случаев с расчетом испарения с поверхности водосборных бассейнов, различных расчетных формул и зависимостей расчета испарения с водной поверхности можно найти великое множество (смотри, например, [4,5]). Однако во всех этих формулах кроме температуры воздуха используется, как минимум, скорость ветра и давление водяного пара. Подобные расчетные формулы нам не подойдут в силу своей сложности и невозможности оценить большую часть характеристик, например, 550 лет назад (начало похолодания ледниковой стадии Фернау, значительное увеличение увлажнения). Поэтому для своих расчетов нам более пригодны графики расчета испарения с поверхности воды, снега и льда в зависимости от температуры воздуха, разработанные А.Майером [2]. Графики были аппроксимированы соответствующими уравнениями.

Для ноября, декабря, января, августа, сентября, октября –

$$E = 29,650 + 2,667 * T_{\text{ср.мес.}} + 0,063 * T_{\text{ср.мес.}}^2 \quad (3)$$

Для февраля, марта, апреля –

$$E = 41,409 + 4,222 * T_{\text{ср.мес.}} + 0,064 * T_{\text{ср.мес.}}^2 \quad (4)$$

Для апреля, мая, июня, июля -

$$E = 28,340 + 1,618 * T_{\text{ср.мес.}} + 0,109 * T_{\text{ср.мес.}}^2 \quad (5)$$

Графики А.Майера разработаны для пресной воды. В нашем случае Кулундинское озеро имеет минерализацию около 50-90 г/л. Согласно рекомендации А.М.Догановского [12] редуцированный коэффициент примем равным 0,9.

#### Обсуждение полученных результатов.

Рассмотрим вначале водный баланс Кулундинского озера (табл. 2).

2. Водный баланс Кулундинского озера при высотной отметке 98,7 м.абс, площади зеркала 610 км<sup>2</sup>, средних, многолетних температурах воздуха и среднемесячных осадках, в мм слоя воды.

Месяц	V <sub>пов.</sub>	V <sub>подз.</sub>	V <sub>осадков</sub>	V <sub>испар.</sub>	V
11	1.470	3.527	.0000	10.73	-5.729
12	.7223	3.530	.0000	2.892	1.361
1	.2223	3.532	.0000	1.595	2.160
2	.1165	3.533	.0000	.4500	3.199
3	.718E-1	3.535	.0000	1.773	1.834
4	175.5	3.229	90.88	43.93	225.7
5	8.547	3.269	19.78	56.79	-25.20
6	1.793	3.336	32.99	83.48	-45.36
7	1.024	3.403	41.85	92,23	-45.95
8	.9518	3.476	30.93	84.65	-49.29
9	.9345	3.524	25.13	60.78	-31.19
10	10.78	3.523	22.46	33.08	3.686
Сумма	202.1	41.42	264.0	472.4	35.18

Как видим, при принятом алгоритме расчетов водного баланса и при средних, многолетних температурах и осадках озеро имеет положительный баланс + 35,2 мм/год. Однако в алгоритме мы не учли уменьшение осадков над акваторией озера (6 %): 15,8 мм. Если учесть уменьшение осадков, то годовой средний, многолетний баланс будет равен +19,4 мм/год.

Систематические наблюдения за уровнем Кулундинского озера начаты с 1933 г. у пункта Белград. В 1965 г. уровеньный пост был перенесен к пункту Херсонка, где наблюдения продолжались до 1968 г. Эти материалы и собственные наблюдения Ленинградского гидрометеорологического института обобщены и опубликованы А.М.Догановским [10].

В период с 1933 по 1965 годы уровень озера поднялся от 190 до примерно 240-250 см над «0» графика водомерного поста. Если наши расчеты водного баланса верны, то за три десятка лет уровень озера должен возрасти на 60 см. С учетом изменения площади озера и соотношения приходной и расходной частей баланса это изменение должно быть меньше: около 50 см. Таким образом, реальные наблюдения за изменением уровня зеркала озера подтверждают наши расчеты.

В период и после освоения целинных и залежных земель (1955 – 1965 гг.) в бассейнах равнинных рек началось интенсивное строительство прудов. В бассейне реки Суетки поверхностный сток почти прекратился вследствие использования поверхностных вод для орошения. В бассейне реки Кулунды, по оценке Ленинградского гидрометеорологического института, из поверхностного стока изымалось от 15 до 20 % [12]. Даже при 15 % изъятия стока водный баланс Кулундинского озера будет отрицательным: около 11 мм/год. За 40 лет падение уровня озера должно составлять от 240 см до 125-130 см над «0» водомерного поста, т.е. немногим более метра. С учетом некоторого потепления за этот период (по оценке Н.Ф.Харламовой, примерно +0,5 °С) и некоторого уменьшения годовой суммы осадков (примерно на 15-20 мм по сравнению с периодом с 1933 по 1970 гг. [13]), рассчитанные характеристики показывают, что разработанная модель расчета баланса Кулундинского озера отражает реальные события.

Рассмотрим, каким образом влияют на интенсивность изменения составляющих водного баланса колебания температур воздуха (табл. 3) и увлажнения (табл. 4).

### 3. Изменение составляющих водного баланса Кулундинского озера в зависимости от изменения термического режима (F = 610 км, Н м.абс. = 98,7 м)

$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$V_{\text{пов.}}$	$V_{\text{полз.}}$	$V_{\text{осадков}}$	$V_{\text{испар.}}$	$V$
-2	230,4	40,8	264,0	411,4	123,8
-1	218,4	41,1	264,0	440,2	83,3
-0,5	210,1	41,2	264,0	455,7	59,7
0	202,1	41,4	264,0	472,4	35,2
+0,5	196,5	41,6	264,0	489,4	12,7
+1	190,5	41,8	264,0	506,8	-10,5
+2	177,5	42,1	264,0	542,8	-59,2

### 4. Изменение составляющих водного баланса Кулундинского озера в зависимости от изменения годовой суммы осадков (F = 610 км, Н м.абс. = 98,7 м)

$\Delta X, \text{мм}$	$V_{\text{пов.}}$	$V_{\text{полз.}}$	$V_{\text{осадков}}$	$V_{\text{испар.}}$	$V$
-100	78,0	43,2	164,0	472,4	-187,2
-50	132,9	42,4	214,0	472,4	-83,0
0,0	202,1	41,2	264,0	472,4	35,2
+50	294,9	40,3	314,0	472,4	176,8
+100	410,4	38,9	364,0	472,4	340,9

Анализируя полученные материалы, можно с уверенностью сказать, что наиболее интенсивно на колебания уровня озера влияет увлажнение. Даже при уменьшении годовой суммы осадков на 25 мм (это менее 10 % среднего многолетнего) зеркало озера должно опускаться со скоростью 5-6 см/год. Естественно, скорость изменения уровня озера будет отличаться вследствие изменения площади озера и солености. Однако результаты численного моделирования помогают нам оценить вклад метеорологических составляющих в изменение структуры водного баланса, а также влияние человеческой деятельности на колебание зеркала озера.

#### **Водный баланс праКулундинского озера.**

В своей работе за 1948 г. А.В.Шнитников указывает ([14], с.97): «Еще в XVIII веке П.С.Паллас (1771 г.) и И.П.-Фальк (1785 г.) привели первые сведения ... о наличии стока из Кулундинской степи через р. Карасук, впадающую в р. Иртыш у д. Качиры.». Далее А.В.Шнитников пишет (с.97-98): «... новые карты, как топографические, так особенно геологические, позволяют с полной достоверностью установить, что еще не в столь давние (геологически) времена все три основные реки Кулундинского бассейна (Кулунда, Бурла, Карасук) имели сток в р. Иртыш через общую для них всех депрессию: оз.Бурлинское – оз. Б. Топольное – оз. Аж-Булат, с дальнейшим направлением по ложбине, занятым ныне рядом мелких озер, к д. Качиры на р. Иртыш, - той самой, о которой рассказывали Г.И.Танфильеву местные жители; об этом же местоположении устья р. Карасук еще ранее писал П.С.Паллас. Таким образом, существование в недавнее время сброса высоких вод р. Карасук в р. Иртыш становится несомненным. В то же время, отметки депрессионных понижений позволяют легко определить направление древнего стока р. Кулунды. При отметке 111-113 м громадное «Кулундинское море» площадью в 2,5 - 3 тыс. км<sup>2</sup>, объединявшее в себе также озера Кучук, М. Яровое и др., через узкую ложбину в 10 км к северу от г. Славгород давало сброс рекам своего бассейна в оз. Бурлинское и далее к оз. Б. Топольное. Здесь эти воды сливались с водами рек Бурла и Карасук и вместе с ними, через оз. Аж-Булат, изливались в р. Иртыш. Постепенно, по мере усыхания Кулундинской степи, такой сток осуществлялся лишь в периоды высоких весенних вод; затем для оз. Кулундинского он прекратился совсем, а для рек Бурла и Карасук частично сохранился, по-видимому, еще 150-200 лет тому назад.»

Консультации с археологами Алтайского госуниверситета показали, что старожилы («местные жители») помнят события около 7-8 поколений, или примерно 200 лет назад. Таким образом, по свидетельству местных жителей праКулундинское озеро должно было существовать около 1550 года. Площадь его должна быть равна 2750 км<sup>2</sup>, сток из озера наблюдался при отметке зеркала 113,75 м.абс. 1550 год – это время, примерно через столетие после начала похолодания в северном полушарии, которое вызвало наступление горных ледников: стадия Фернау в Альпах, стадия Актру на Алтае.

Исследования в бассейне Актру [8] показали, что в стадию Актру похолодание в теплый период года должно было в среднем многолетнем составлять -0,2 °С. Используя полученную информацию изменения термического режима, с помощью численных экспериментов определим: насколько должна увеличиться годовая сумма осадков, чтобы баланс этого озера был равен нулю, а само озеро могло существовать некоторое время (табл.5).

5. Водный баланс праКулундинского озера при абсолютной высотной отметке 113,75 м, площади зеркала 2750 км<sup>2</sup>, средних многолетних температурах воздуха, уменьшенных на 0,2 °С и осадках, увеличенных на 150 мм за год (внутригодовое распределение осадков принято современным), мм слоя воды. Озеро пресное.

Месяц	V <sub>пов.</sub>	V <sub>подз.</sub>	V <sub>осадков</sub>	V <sub>испар.</sub>	V
11	.3045	.5358	.0000	11.45	-10.61
12	.1482	.5358	.0000	3.149	-2.465
1	.467E-1	.5358	.0000	1.770	-1.188
2	.237E-1	.5358	.0000	.1980	.3615
3	.145E-1	.5358	.0000	2.211	-1.660
4	93.12	.5358	147.0	47.56	193.1
5	3.320	.5358	31.75	61.61	-26.00
6	.4815	.5358	49.68	90.31	-39.61
7	2.100	.5358	63.84	100.3	-33.82
8	2.114	.5358	51.56	91.15	-36.94
9	2.169	.5358	39.63	65.53	-23.20
10	2.531	.5358	37.48	35.75	4.794
Сумма	106.4	6.429	421.0	511.0	22.81

В данном случае, так же, как и в предыдущей таблице (баланс современного озера), мы не учитываем уменьшение осадков над акваторией озера. Если эту величину принять равной 6 %, то баланс озера будет равен 3 мм, что нас вполне удовлетворит. Материалы численных экспериментов показали также, что для заполнения озерной котловины при вышеприведенных изменениях метеорологических характеристик необходимо около 110-120 лет.

Ранее нами на основе материалов палеоисследований в долине Актру [8] было показано, что в начале стадии Актру должно было наблюдаться увеличение годовой суммы осадков. По крайней мере, в этот период, в долине отмечается увеличение селевой активности, которую мы связываем с увеличением снежности зим. Да и само увеличение массы льда в ледниках (при таком слабом уменьшении температур теплого периода), скорее всего, связано со значительным и длительным увеличением увлажнения. Поэтому увеличение годовой суммы осадков на 150 мм (при средней многолетней величине в настоящее время в районе Кулундинского озера около 270-280 мм [3]) нам кажется вполне достоверным.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 07-05-00158).*

#### Литература

1. Абрамович Д.И. Воды Кулундинской степи. Новосибирск: Наука, 1960, 214 с.
2. Апполов Б.А. Учение о реках. М.: Изд-во МГУ, 1963, 424 с.
3. Атлас Алтайского края. Комитет геодезии и картографии СССР. М.: 1991, 36 с.
4. Братсерт У.Х. Испарение в атмосферу. Теория, история, приложения. Л.: Гидрометеоиздат, 1985, 352 с.
5. Викулина З.А. Водный баланс озер и водохранилищ Советского Союза. Л.: Гидрометеоиздат, 1979, 176 с.
6. Галахов В.П. Условия формирования поверхностного стока в бассейне Кулундинского озера // Известия АлтГУ. № 3(29). Серия: химия, география, биология. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2003. с. 71-78.
7. Галахов В.П.. Моделирование в географии (учебное пособие). Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2006, 128 с.
8. Галахов В.П., Назаров А.Н., Харламова Н.Ф. Колебания ледников и изменение климата в позднем голоцене по материалам исследований ледников и ледниковых отложений бассейна Актру (Центральный Алтай, Северо-Чуйский хребет). Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2005, 132 с.
9. Грани гидрологии (под редакцией Джона К. Рода). Л.: Гидрометеоиздат, 1980, 448 с.
10. Догановский А.М. Закономерности многолетних колебаний уровней оз. Кулундинского // В сб.: Водные ресурсы Алтайского края, их рациональное использование и охрана. Барнаул, 1978, с. 109 – 112.

11. Догановский А.М. Водный баланс озера Кулундинского и его возможные изменения в связи с предполагаемым хозяйственным использованием водоема // Труды ЛГМИ, вып.69. Л.: Гидрометеиздат, 1979, с. 66-79 .
12. Отчет о научно-исследовательской работе № 6/83. - № гос. регистрации 0184.007.3995. «Прогноз Кулундинской геосистемы в целях обоснования водопользования (научн. рук. – Ревякин В.С., отв. исп. – Вавилихин И.А.)». Барнаул, 1985, 388 с.
13. Харламова Н.Ф. Современные изменения климата внутриконтинентальных районов России // Известия АлтГУ, вып. 3, Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2006, с. 47 – 52.
14. Шнитников А.В. Водный баланс озер Кулундинского и Кучук // Труды ГГИ. Вып. 4(8), Л.: Гидрометеиздат, 1948, с. 96 – 121.