

СТРУКТУРА МНОГОЛЕТНЕГО ВОДНОГО БАЛАНСА ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ

Ю. В. Голомах, Ю. А. Сало

*Карельский государственный педагогический университет,
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН*

Введение

Исследование закономерностей поступления, накопления и расходования влаги в границах природных объектов (речных или озерных водосборов, административных территорий, регионов и др.) выполняется с использованием метода водного баланса, в основе которого лежат генетические методы анализа причинно-следственных связей природных факторов и процессов. Уравнения водного и теплового баланса отражают фундаментальный закон природы – закон сохранения вещества и энергии – применительно к гидрологическим объектам. В зависимости от изучаемого природного объекта и расчетного интервала времени уравнение водного баланса может включать в себя различные элементы и, следовательно, иметь разную степень детализации и написание (уравнение «полного» или «приближенного» водного баланса) (Бочков, 1976; Методы изучения..., 1981; Методы расчета..., 1976). Результаты расчета по выбранному уравнению зависят от наличия, полноты и точности исходных данных.

Цель данной работы – рассчитать средний многолетний водный баланс и выполнить анализ его структуры для озера Пряжинское – базового объекта исследования по международной программе Лейкпромо.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- сформировать базу данных гидрометеорологических наблюдений по району исследований;
- выбрать расчетный период, в течение которого водный баланс озера может рассматриваться как равновесный;
- в зависимости от наличия и полноты исходных данных выбрать расчетные методы и выполнить расчет основных элементов водного баланса озера;
- выполнить анализ структуры приходной и расходной частей баланса и оценить количественные характеристики условного водообмена озера.

Материалы и методы

Исходными материалами для расчета многолетнего водного баланса за указанный период служили данные инструментальных наблюдений на метеостанции (МС) Пряжа (1960-1991 гг.), на гидрологическому посту в истоке из оз. Пряжинское (1977-1980 гг.), на озерном посту оз. Пряжинское - пгт. Пряжа (1964-1986 гг.); материалы специальных исследований, выполненных на оз. Пряжинское и его водосборе Институтом водных проблем Севера КарНЦ РАН в предыдущие годы. Схема расположения пунктов наблюдений показана на рис. 1.

Сведения о морфометрии озера и характеристиках его водосбора, необходимые для расчета составляющих водного баланса приведены в табл. 1.

Основным для расчета водного баланса озера Пряжинское является следующее уравнение:

$$P + Q_{\text{ПОДЗ}} + Q_{\text{ПОВЕРХ}} - E - R_{\text{ПОДЗ}} - R_{\text{ПОВЕРХ}} - W = \Delta V, \quad (1)$$

где P – объем атмосферных осадков на зеркало озера; $Q_{\text{ПОДЗ}}$ – подземный приток с водосбора; $Q_{\text{ПОВЕРХ}}$ – поверхностный приток с водосбора; E – испарение с водной поверхности озера в безледоставный период года и со снега в зимние месяцы; $R_{\text{ПОДЗ}}$ – подземный сток из озера; $R_{\text{ПОВЕРХ}}$ – поверхностный сток из озера; W – забор воды из озера для водоснабжения п. Пряжа; ΔV – изменение объема воды в озере за расчетный период.

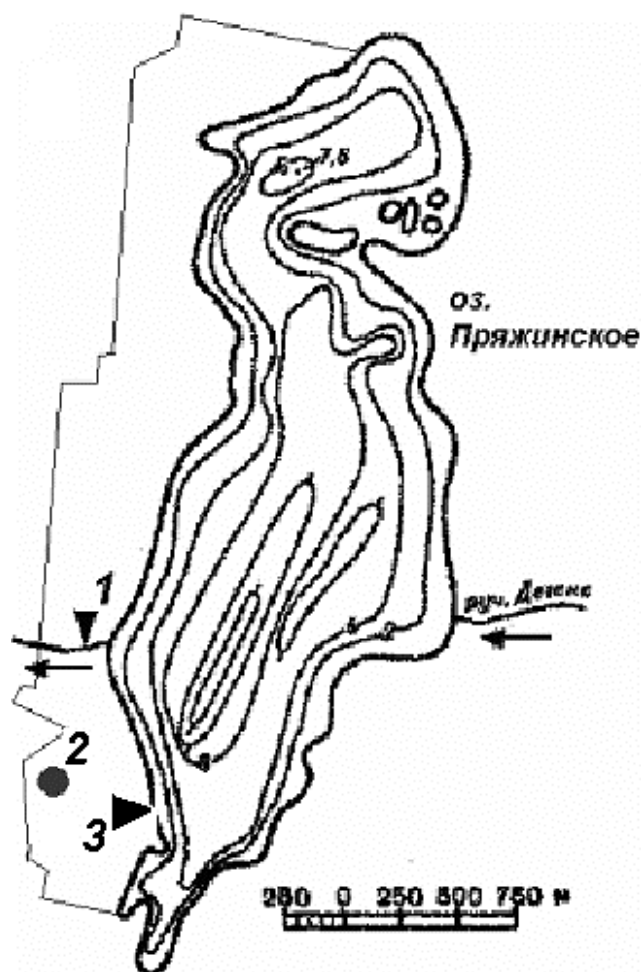


Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений на озере и водосборе:

1 – речной сток; 2 – метеостанция;
3 – озерный урвненный пост

Все элементы водного баланса в уравнении (1) выражены в млн. м³. В качестве расчетного периода выбран гидрологический год (с 1 ноября предыдущего до 31 октября текущего года).

Анализ опубликованных многолетних данных по уровням воды озера Пряжинское показал, что для 9-летнего периода (1978-1986 гг.) изменения уровня и соответственно объема воды в озере могут быть приняты равными нулю ($\Delta V=0$). При этом уравнение (1) характеризует равновесный водный баланс озера Пряжинское.

Таблица 1

Основные морфометрические характеристики озера Пряжинское

Характеристика	Значение	
Координаты центра озера	61° 41' 44" N 33° 38' 28" E	
Высота над уровнем моря, м. абс.	108,4	
Площадь водосбора, км ²	50,2	
Площадь озера, км ²	общая	3,8
	водной поверхности	3,7
Длина, км	4,5	
Ширина, км	средняя	0,8
	наибольшая	1,6
Глубина, м	средняя	4,1
	наибольшая	7,5
Объем воды, км ³	0,0149	

Водный баланс озера пряжинское за многолетний период

Расчет осадков (P) на зеркало озера выполнен по формуле:

$$P = 0,001 \cdot F_{\text{зерк}} \cdot P_{\text{мс}},$$

где P – осадки, млн. м³; F_{зерк} – площадь зеркала озера, F_{зерк} = 3,7 км²; P_{мс} – среднее за расчетный период годовое количество осадков по МС Пряжа за гидрологический год, мм.

За период 1978-1986 гг. годовая сумма осадков по МС Пряжа изменялась от 503 до 838 мм, в среднем за расчетный период P_{мс} = 629 мм. Тогда при F_{зерк} = 3,7 км² объем осадков на зеркало озера равен 2,42 млн. м³.

Подземный приток (Q_{ПОДЗ}) в оз.Пряжинское за период 1978-1986 гг. был рассчитан с учетом результатов полевых исследований, выполненных лабораторией гидрохимии и гидрологии ИВПС КарНЦ РАН. Расчет по формуле Дарси с учетом уровней воды в измерительных скважинах, коэффициента водопроницаемости грунта и дебита родников показал, что суточный подземный приток равен 8,5 тыс.м³/сут., что соответствует годовому притоку подземных вод с водосбора в озеро Q_{ПОДЗ} = 3,10 млн.м³.

Поверхностный приток (Q_{ПОВЕРХ}) рассчитан по модулю речного стока по гидрологическому посту в истоке из оз. Пряжинское. Средний за расчетный период расход воды получен равным 0,505 м³/с, площадь водосбора – 59,8 км²; следовательно, модуль стока равен M = 0,505 · 1000 / 59,8 = 8,4 л/с·км². Принимая указанный модуль равным модулю притока поверхностных вод с водосбора площадью 50,2 км², получим, что средний многолетний приток Q_{ПОВЕРХ} = 0,0315 · 8,4 · 50,2 = 13,3 млн.м³.

В наших расчетах для оценки испарения с водной поверхности оз. Пряжинское использованы карты нормы испарения с поверхности стандартных водоемов с площадью водной поверхности 2 км² и глубиной 2 м (Ресурсы..., 1972). В соответствии с этим методом с карты по местоположению озера снимается значение E_{СТ} и определяются поправочные коэффициенты на отличие фактической глубины водоема от стандартной (K₁), на фактическую среднюю длину разгона воздушного потока над водоемом (K₂), на уменьшение испарения с защищенных водоемов (K₃) и на зарастание водоема (K₄). Эти коэффициенты определяются по таблицам, приведенным в Ресурсы..., 1972.

Озеро Пряжинское по площади водной поверхности (3,7 км²) и средней глубине (4,1 м) близко к стандартному водоему, поэтому для него все коэффициенты, кроме K₃, равны единице. Коэффициент K₃ при фактической длине разгона воздушного потока 2,7 км и принятой средней высоте препятствий (высота деревьев 30-50 м) принят равным 0,96. Для оз. Пряжинское E_{СТ} = 450 мм. Тогда с учетом коэффициентов среднее за расчетный период испарение с его водной поверхности равно E = 432 мм, или в единицах объема с учетом площади озера E = 432 · 3,7 · 0,001 = 1,60 млн. м³.

Испарение за зимний период (ноябрь-апрель) для всех лет принято равным 30 мм (Кабранова, 1977), что соответствует в объемных единицах 0,111 млн. м³.

Поверхностный сток (R_{ПОВЕРХ}) из озера рассчитан по формуле

$$R_{\text{ПОВЕРХ}} = 31,54 \cdot Q, \text{ млн.м}^3,$$

где Q – средний расход воды за гидрологический год, м³/с.

Поскольку измерения расходов воды в истоке из оз. Пряжинское производились только в 1978-1980 гг., этих данных недостаточно, чтобы подсчитать средний сток за расчетный период (1978-1986 гг.). Поэтому для расчета расходов воды за недостающие годы применен метод гидрологической аналогии. Сущность метода состоит в том, что устанавливается связь стока расчетной реки (в нашем случае – в створе на выходе из озера) со стоком рек-аналогов за совместный период и рассчитывается сток расчетной реки за недостающие годы по данным рек-аналогов, имеющих более продолжительный период наблюдений. В данном случае в качестве рек-аналогов выбраны два ближайших створа: р.Свят – пгт. Пряжа (площадь водосбора 355 км², период наблюдений с 1932 года по настоящее время) и р.Маньга – д.Маньга (площадь водосбора 209 км², период наблюдений с 1937 года по настоящее время). Хронологические графики расхода воды за совместный период показаны на рис.2.

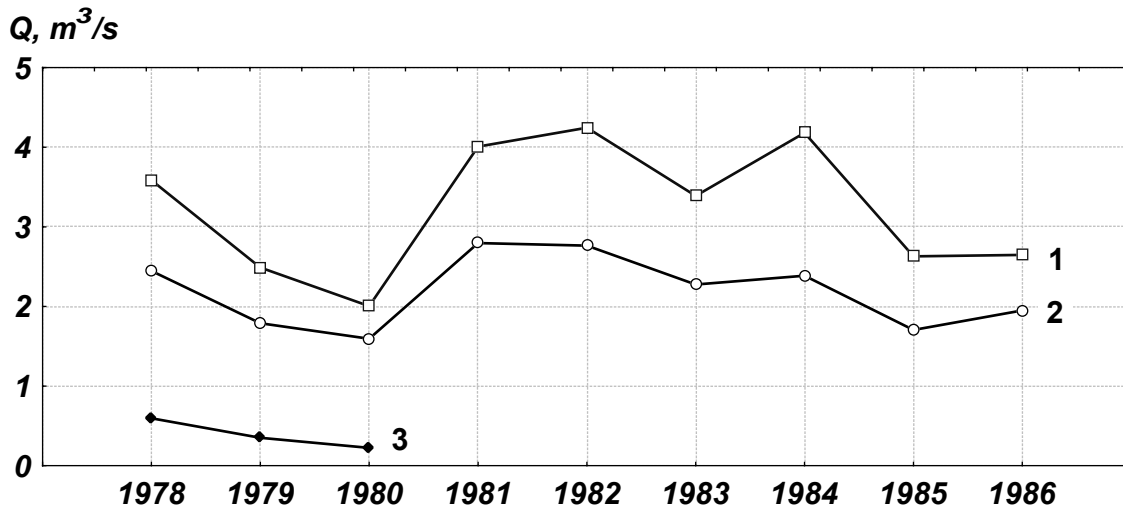


Рис.2. Средние за гидрологический год расходы воды:

1- р. Свят – пгт. Пряжа; 2 - р. Маньга – п. Маньга;
3 - протока между озерами Пряжинское и Шаньгима – пгт. Пряжа;

С помощью ППП STATISTICA 5.0 были получены соответствующие уравнения связи расхода воды в расчетном створе и створах-аналогах и рассчитан средний за период 1978-1986 гг. объем стока воды из озера Пряжинское $R_{\text{ПОВЕРХ}}=15,9$ млн.м³.

Подземный сток ($R_{\text{ПОДЗ}}$) в уравнении (1) принят равным нулю.

Озеро Пряжинское – источник водоснабжения пгт. Пряжа. Водообеспечение жителей и предприятий осуществляется из озера двумя водозаборами - коммунальным и ведомственным. Коммунально-бытовые стоки после очистки сбрасываются в руч. Шаньгимский, за пределы водосбора озера, поэтому в уравнении водного баланса (1) учитывается только забор воды из озера (в среднем за расчетный период 1978-1986 гг. $W=0,203$ млн. м³).

Заключение

По результатам расчета элементов водного баланса составлена сводная таблица (табл. 2), которая позволяет выполнить анализ структуры многолетнего водного баланса оз. Пряжинское за расчетный интервал времени. Как следует из табл.2, невязка баланса, определяемая как разность между суммарным приходом и суммарным расходом, равна 1,01 млн.м³, или 5,4% от общего прихода. Это подтверждает достаточно высокую точность расчета отдельных составляющих баланса и принятые при расчетах допущения.

Таблица 2

Многолетний водный баланс оз. Пряжинское за 1978-1986гг.

Составляющие водного баланса					
	Приход		Расход		
	млн.м ³	%		млн.м ³	%
Осадки	2.42	12.9	Испарение с водной поверхности	1.60	9.0
Подземный приток	3.10	16.5	Испарение со снега	0.111	0.6
Поверхностный приток	13.3	70.6	Поверхностный сток	15.9	89.3
			Подземный сток	0	0
			Использование воды	0.203	1.13
Всего	18.82	100	Всего	17.81	100
Невязка баланса	1,01 млн.м ³				

Структура многолетнего водного баланса оз. Пряжинское следующая. В приходной части баланса основной составляющей является поверхностный приток с водосбора, на долю которого приходится около 71% общего поступления воды в водоем. Доля осадков составляет около 13%, следовательно, гидрохимические условия в оз. Пряжинское будут в основном определяться химическим составом воды, стекающей в котловину озера с его водосбора. В расходной части баланса основной составляющей является поверхностный сток из озера, на долю которого приходится 89,3% общего расхода. Хозяйственное использование незначительно, забор воды составляет чуть более 1%.

Важной гидрологической характеристикой озера является показатель его условного водообмена ($k_{y,v}$). Он определяется как отношение объема воды W , вытекающей из озера к объему воды V в котловине озера

$$k_{y,v} = W/V, \text{ год}^{-1}.$$

Величина, обратная $k_{y,v}$, называется периодом условного водообмена $T_{y,v}$, и характеризует время, в течение которого объем воды в озере заменяется новой

$$T_{y,v} = k_{y,v}^{-1} = V/W, \text{ год}.$$

По данным табл. 1 и 2 рассчитаны показатели условного водообмена оз. Пряжинское. Получены следующие значения:

$$k_{y,v} = 15,9/14,3 = 1,11 \text{ год}^{-1}, \\ T_{y,v} = 0,9 \text{ года} = 330 \text{ сут.}$$

Указанные показатели проточности имеют важное значение для анализа гидрологических, химических и биологических процессов, протекающих в озере.

Выполненные расчеты характеризуют структуру водного баланса оз. Пряжинское за многолетний период. Вместе с тем важное значение имеет внутригодовой ход элементов водного баланса и его структура по сезонам. Расчет сезонных водных балансов оз. Пряжинское является задачей дальнейших исследований.

Результаты расчетов являются гидрологической основой для анализа гидрохимического и гидробиологического режима озера Пряжинское по программе проекта Лейкпромо, а также могут быть использованы для выполнения школьных исследовательских проектов по экологии, географии и краеведению.

Литература

Бочков А. П. Водный баланс речных бассейнов за конкретные интервалы времени и генетически однородные периоды // Тр. IV Всесоюз. гидрол. съезда. Т. 2. Л., 1976. С. 72-79.

Кабранова А.И. Водный баланс Выгозерско-Ондского водохранилища / Сборник работ Ленинградской гидрометеорологической обсерватории. Выпуск 11. Исследования режима и расчеты водного баланса озер-водохранилищ Карелии. Л., 1977. С. 78-93.

Методы изучения и расчета водного баланса / Ред. В. С. Вуглинский, Г. С. Клейн и др. Л., 1981. С. 201-233.

Методы расчета водных балансов. Международное руководство по исследованию и практике / Ред. А. А. Соколов и Т. Г. Чапмен. Л., 1976. 120 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.2. Карелия и Северо-Запад. Ч. 1. Л., 1972. 528 с.