

С. В. ГРИГОРЬЕВ

О НЕКОТОРЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЯХ И ПОКАЗАТЕЛЯХ В ОЗЕРОВЕДЕНИИ

В последние годы в практику лимнологических работ в Карелии введен ряд терминов, определений и показателей, которые пока ограничиваются применением их в неопубликованных трудах отдела гидрологии Карельского филиала Академии наук СССР. В этой статье автор поставил задачу довести их до более широких кругов гидрологов, а также попутно восстановить в памяти некоторые моменты из истории отечественной лимнологической терминологии.

а) Весьма широко и давно вошел в научный оборот термин „озерность“ или коэффициент озерности бассейнов рек. У нас он получил применение в гидрографии озерных районов СССР для характеристики степени относительной занятости акваторией водоемов любой территории. Коэффициент озерности, выраженный в процентах, представляет отношение суммарной площади озер в данном бассейне реки или его части, или на любой оконтуренной территории к площади этого бассейна или территории. Термин этот соответствует „sjöprocent“ (буквально — процент озер) в шведской гидрографии, откуда он перешел в финскую.

В русской практике он впервые предложен около 1913 г. инженером-гидротехником и гидрологом А. А. Вельнером, позднее известным эстонским гидрологом и руководителем Гидрографического бюро Эстонии (1922—1940).

Работая в 1910—1914 гг. в организации Министерства путей сообщения (партии исследований и составления проекта Черноморско-Балтийского водного пути) руководителем работ по Западной Двине (Даугава), А. А. Вельнер в своей записке по гидрографии и гидрологии Западно-Двинского бассейна, богатого озерами, ввел этот термин. Оттуда нами он был перенесен несколько позднее (с 1917 г.) в практику работ по озерам Карелии и Кольского полуострова, а затем с начала 1920—1922 гг. получил признание в советской лимнологии.

б) Коэффициент озерности бассейна хорошо характеризует степень средней относительной насыщенности акваторией по всему бассейну или территории. Однако характер размещения водоемов по бассейну при одном и том же коэффициенте озерности может быть совершенно различным. Так, наиболее крупные озера или большая часть общей акватории озер могут быть размещены в верхней части бассейна, или, наоборот, преимущественно в нижней его части, или в средней части, наконец, в бассейнах притоков главной реки бассейна и т. д.

Не требует особых пояснений, что при одной и той же общей площади водоемов и одинаковом коэффициенте озерности регулирую-

щее влияние этого фактора на режим стока рек будет при разных типах расположения озер в бассейне неодинаковым. Поэтому учет влияния важного фактора озерности — коэффициентом средней озерности, в формулах, выражающих влияние этого фактора на максимальный, минимальный сток (Д. Л. Соколовский, А. В. Огиевский, Г. А. Алексеев, А. А. Соколов и др.) оказывается мало удовлетворительным.

Этот недостаток „среднего“ показателя озерности ощущался давно, в том числе упомянутыми здесь гидрологами. Еще в начале 30-х годов автором была сделана попытка применить понятие „приведенной озерности“ бассейна для определения типа — относительного размещения в нем озер.

Задачу определения типа размещения озер можно свести к нахождению относительного центра тяжести озер в рассматриваемом бассейне реки. Ее можно решить обычным способом моментов. Положение вычисленного тем или иным способом¹ центра озерных площадей в бассейне по отношению к центру самого бассейна — выше его (по течению главной реки — оси бассейна), около него, ниже его (по течению главной реки бассейна) — определило бы тип географического расположения озер в бассейне. Но такое решение с гидрологической точки зрения не может удовлетворить. Важнее в этом направлении учесть, какую часть бассейна замыкает собою и, следовательно, регулирует каждый водоем этого бассейна. Поэтому в формуле определения „приведенной“ озерности бассейна должны учитываться как площади самих озер, так и их частные бассейны, т. е. бассейны, ими замыкаемые.

В простой формуле вычисления коэффициента озерности бассейна $K_{оз.} = \frac{\sum^n f}{F}$ (1), где F — площадь всего бассейна, $\sum_{n-1}^{n-n} f$ — сумма акватории всех n водоемов в бассейне.

Коэффициент озерности $K_{оз.}$ можно также представить в виде суммы $K_{оз.} = \sum_{n-1}^{n-n} \left(\frac{f_1}{F} + \frac{f_2}{F} + \dots + \frac{f_n}{F} \right)$ или $K_{оз.} = \frac{1}{F} \sum_{n-1}^{n-n} f$ (2), т. е. как сумму частных коэффициентов озерности, определяемых каждым водоемом.

По указанным соображениям нами принята следующая формула для определения коэффициента „приведенной озерности“ — $K_{оз. пр.}^1$:

$$K_{оз. пр.}^1 = \sum_{n-1}^{n-n} \left(\frac{f_1}{F} \times \frac{F_1}{F} + \frac{f_2}{F} \times \frac{F_2}{F} + \dots + \frac{f_n}{F} \times \frac{F_n}{F} \right) \quad (3) \text{ или}$$

$$K_{оз. пр.}^1 = \frac{1}{F^2} \sum_{n-1}^{n-n} (f_1 \times F_1 + f_2 \times F_2 + \dots + f_n \times F_n) \quad (4), \text{ где}$$

F — площадь всего бассейна,

f_1, f_2, \dots, f_n — площади зеркала последовательно всех озер данного бассейна,

F_1, F_2, \dots, F_n — площади бассейна, замыкаемые соответственно озерами f_1, f_2, \dots, f_n .

¹ Здесь может быть применен или простой способ вычисления центра системы точек, где каждая точка имеет свой вес — площадь, относительно принятого основного начала координат, или более сложным — по методу центрографии, предложенному Д. И. Менделеевым.

Вычисление коэффициента „приведенной озерности“ связано с большой трудоемкостью. В этом убедил опыт автора по определению этого коэффициента, проведенный им в 1932 г. для бассейна р. Туломы на Кольском полуострове (средняя озерность его около 3%). Вычисление показало, что приведенная озерность этого бассейна оказывается в несколько раз меньше средней. В настоящее время для таких озерных районов Советского Союза, как Карелия, Кольский полуостров, уже имеются каталоги озер, где для всех более значительных водоемов вычислены и приведены площади их бассейнов. Поэтому сейчас вычисление коэффициента „приведенной озерности“ ($K_{\text{пр. оз.}}^1$) значительно облегчается. Его можно еще упростить, применяя приближенный расчет. Для этого можно отбросить озера не выше определенной минимальной площади, сумма акватории которых, например, составляет менее 10—5% общей площади озер бассейна.

Чтобы показать, какие соотношения могут быть между коэффициентом средней озерности и приведенной при разных типах размещения озер в бассейне, проделали элементарные расчеты для трех случаев.

Условно принимаем площадь бассейна равной 100, коэффициент озерности (средней) — 10% или 0,10; отсюда площадь озер — 10. Для простоты расчетной схемы условно все озера принимаем в виде одного суммарного водоема этой площади.

Следующие расчетные схемы дают такие результаты:

а) все озера — условный водоем — сосредоточены в верхней части бассейна с замыкаемой им третью всего бассейна (соответствует часто наблюдаемому типу верхового положения главных озер в бассейне, с замыканием ими 30—35% всего бассейна);

$$K_{\text{оз.}} = 0,10; f_1 = \Sigma f = 10; F = 100 \times 0,3 = 30,$$

$$K_{\text{оз. пр.}} = \frac{1}{F^2} \times \Sigma (f_1 \times F + \dots) = \frac{1}{100^2} \times 10 \times 30 = 0,03,$$

т. е. приведенная озерность для этого типа составит всего 0,03, т. е. в 3 раза меньше средней;

б) все озера или условный суммарный водоем расположен у самого устья с замыканием им до 97% всего бассейна (пример — бассейн р. Нивы, где крупнейшее оз. Имандра, определяющее на 60% озерность бассейна, замыкает собдю 97% всего бассейна);

$$K_{\text{оз.}} = 0,10; f = \Sigma f = 10; F = 100 \times 0,97 = 97,$$

$$K_{\text{оз. пр.}} = \frac{1}{F^2} \times f \times F_1 = \frac{1}{100^2} \times 10 \times 97 = 0,097 \approx 0,10,$$

т. е. коэффициент приведенной озерности практически близок к коэффициенту озерности средней.

Большая часть наблюдаемых в природе типов распределения озер в бассейнах рек принадлежит к промежуточным между крайними рассмотренными принципиальными схемами, и отношение коэффициента приведенной озерности к коэффициенту озерности средней или, упрощая, приведенная и средняя озерности будут лежать в пределах 0,3—1,0, приближаясь к единице, т. е. к средней, но никогда практически ее не достигая. Конечно, могут быть примеры бассейнов, когда коэффициент приведенной озерности окажется значительно менее 0,3. Эта задача — определения для озерных бассейнов коэффи-

циентов приведенной озерности наряду с вычисленными для них величинами коэффициента озерности (средней) — должна быть поставлена на очередь.

Нетрудно видеть, что обратное отношение этих коэффициентов озерности — средней к приведенной — может служить показателем типа распределения озер в бассейне: показатель отношения, близкий к единице — 1,1 — 1,3¹ — указывает тип низового расположения главной массы озерной акватории в бассейне. Показатель более 3—3,5 обозначает преобладающее положение озер в верхней части бассейна.

Позднее, в 1937 г., в финском географическом журнале „Terra“ появилась статья гидрографа Х. Ренквиста на ту же тему (Renquist, 1937). Ощущая, как и многие гидрологи, неполноту характеристики озерности, даваемой средним коэффициентом озерности (vägda sätrogocent), Ренквист предложил формулу, совпадающую с нашей. Он применил ее также в виде опыта к вычислению приведенной озерности одного из крупнейших бассейнов Финляндии.

Понятие „приведенной“ или „взвешенной“ (по Г. А. Алексеву, 1954) в гидрологии до самого последнего времени практически не применялось; сейчас советской гидрологией накоплен большой материал, облегчающий трудоемкое вычисление этого коэффициента. В последние годы к вопросу о замене средней озерности бассейна другим показателем, отражающим положение главных регулирующих озер в бассейне, возвращается ряд гидрологов Советского Союза.

Так, Г. А. Алексеев (1954) также предлагает заменить „среднюю озерность“ „взвешенной“, с учетом доли водосбора, регулируемого главным озером, в общем бассейне реки, пользуясь также формулой (4).

Эту задачу замены средней озерности бассейна или его определенной части приведенной он сводит к определению последнего по отношению к главному или главным регуливающим озерам, что в ряде случаев дает недостаточную точность.

Его повторяет А. А. Соколов (1956) в своем исследовании. Можно сейчас считать, что вопрос о замене коэффициента средней озерности коэффициентом приведенной или взвешенной² прочно входит в советскую практику гидрологических расчетов.

Чтобы закончить с этим новым понятием о средневзвешенной озерности бассейнов, требующим особого исследования, приведем несколько примеров результатов расчета этого коэффициента и сопоставления его со средней озерностью. Подсчеты были произведены по нашему предложению аспирантом отдела гидрологии, водного хозяйства и энергетики Карельского филиала АН СССР И. В. Винокуровой. В основу положены данные каталога озер Карелии (Григорьев, Грицевская, 1958).

Здесь ограничиваемся несколькими характерными примерами для разных типов размещения главных регулирующих озер в бассейнах рек.

1) р. Шуя (Беломорская): площадь бассейна гидрологической станции $F^1 = 938 \text{ км}^2$; коэффициент средней озерности — $K_{оз}$ (этой части бассейна) — 7,0%; приведенная (средневзвешенная) озерность — 0,7% или $0,1 K_{оз}$; тип расположения главного регулирующего озера и других, — меньших, — верховой.

¹ Границы эти пока условны.

² Это последнее (по Г. А. Алексеву) нам кажется более удачным.

2) р. Кереть — площадь бассейна гидрологической станции — $F^1 = 2920 \text{ км}^2$; коэффициент средней озерности этого бассейна $K_{оз.} = 17,5\%$; приведенная или взвешенная озерность — $4,4\%$ или $0,25 K_{оз.}$; расположение главного регулирующего озера — в верхней половине бассейна;

3) р. Лижма (средняя) — площадь бассейна гидрологической станции $F^1 = 515 \text{ км}^2$; коэффициент средней озерности $K_{оз.} = 21\%$; приведенная или взвешенная озерность — $13,9\%$ или $0,66 K_{оз.}$; тип расположения главного регулирующего озера — низовой;

4) р. Суна — площадь бассейна гидрологической станции $F^1 = 1970 \text{ км}^2$; коэффициент средней озерности — $13,4\%$; приведенная (средневзвешенная) озерность — $4,7\%$ или $0,35 K_{оз.}$; тип размещения главных озер (по реке и в бассейне), — каскадный (или близкий к центральному — см. ниже).

в) В каталоге озер Карелии (1949 — первая редакция) и в других работах по гидрографии озер Карелии (Григорьев, 1948) для обозначения степени покрытости водоема островами нами введен термин „островистость“ или коэффициент островистости. Он определяется как отношение суммарной площади островов озера к его полной площади, в процентах или долях единицы.

Приходилось слышать обвинения в надуманности этого определения. Проверка позднее подтвердила полную законность такого определения, относительно нового лишь в научном применении к нашим озерам.

Слова „островистый“ или „островитый“ (богатый островами) находим в сокровищнице русской лексикографии — в „Толковом словаре живого великорусского языка“ В. Даля (1955). У Даля нет указаний на происхождение слов и степень их древности. Подтверждение давности этого чисто русского определения, взятого из старинной русской гидрографической терминологии, бытовавшей в XVI—XVII вв., мы находим в „Книге Большому Чертежу“ (1950). Так, в описании речных систем Севера Руси, р. Водлы и Водлозера неизвестный нам составитель говорит: „... а озеро Водло островисто“¹.

Определение „островистость“ озера соответствует переводу определения „Insulierung“ в известном труде Э. Науманна (1931), посвященном лимнологической терминологии. В свою очередь Науманн добросовестно указывает, что этот термин предложен в географии еще Риттером в начале XIX в., а позднее он повторен Пенком.

Из дополнительных определений и показателей, относящихся к морфологии водоемов, нами принято два.

г) Первый — показатель удлиненности водоема, удобный для характеристики озер. Он определяется как отношение длины (наибольшей) озера (L) к его средней ширине B или $a_{удл.} = \frac{L}{B}$. Из определения средней ширины $B = \frac{f}{L}$, $a_{удл.} = \frac{L}{B} = \frac{L^2}{f}$ (5), т. е. удлиненность озера равна квадрату наибольшей длины водоема, деленному на его полную площадь.

Показатель удлиненности дает представление о фигуре озера и степени характерности водоема в ряду других озер рассматриваемого района или групп озер. Так, по нашим вычислениям для боль-

¹ Действительно, коэффициент островистости Водлозера по каталогу озер Карелии оценивается в 9,1%.

шого числа озер Карелии — крупных и средней величины — показатель удлиненности их в среднем около 3—3,5. Малая величина удлиненности (она не может быть меньше 1,0 или очень близка к ней) — 1,5—2 указывает на форму, близкую к круглой. Из озер Карелии особенно большой удлиненностью выделяются Путкозеро в Заонежье (равна 41 — ленточного типа) и Елмозеро — более 30.

д) Второй характеристикой принята „линейная озерность“ (Григорьев, 1935, 1948). Она служит для определения степени участия озер в составе озерно-речных систем или реки, имеет значение для характеристики сложной структуры рек, или, точнее, озерно-речных систем таких озерных районов СССР, как Карелия и Кольский полуостров. Показателем линейной озерности $a_{\text{лин. оз.}}$ является отношение суммарного протяжения озер, входящих в состав реки, к ее общему протяжению. Дополнением к нему может служить число таких озерных звеньев в составе реки. Линейную озерность обозначают, например, — $a_{\text{лин. оз.}} = 0,65 (10)$, где первый коэффициент обозначает собственно показатель или коэффициент линейной озерности, а цифра в скобках указывает число озерных звеньев в составе данной реки.

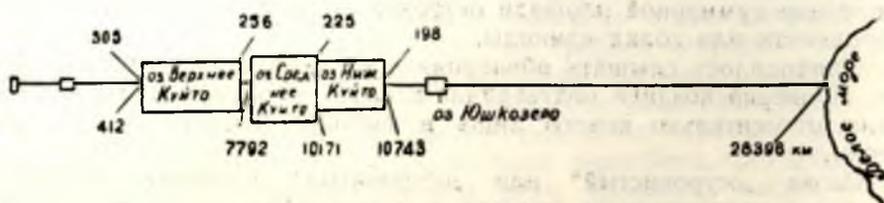


Рис. 1. Тип верхового положения озер в системе р. Кемь (Карелия)

Цифры вверху — расстояние от устья в км;
Цифры внизу — площадь бассейна в км².

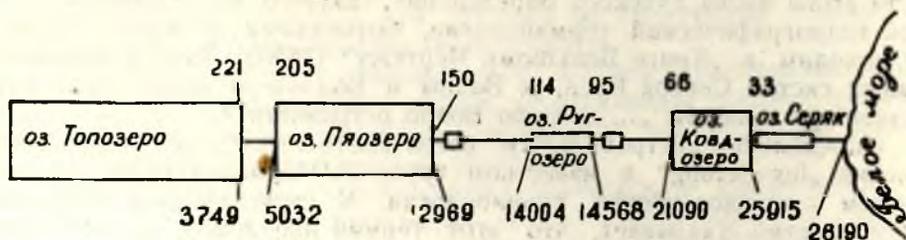


Рис. 2. Тип каскадного положения озер в системе р. Ковды (Карелия)

Цифры вверху — расстояние от устья в км;
Цифры внизу — площадь бассейна в км².

Этот показатель имеет существенное практическое значение с точки зрения лесосплава по таким рекам, характеризуя число смен типов сплава по реке — россыпью по речным участкам и в кошелях по озерам. Показатель линейной озерности характеризует также степень аккумуляции, возможного отстаивания взвешенного („твердого“) стока в озерных участках таких рек. У карельских рек „линейная озерность“ колеблется в широких размерах. У некоторых рек она достигает почти 65%: у р. Лендерки — 63,6% (18), у р. Ковды — 67,4% (10).

е) Показатель линейной озерности рек определяет среднее относительное участие озерных звеньев в структуре реки. Но он еще не дает представления о характере относительного размещения озер по реке. Анализ относительного строения рек с озерными звеньями

позволил выделить три основных типа размещения более крупных озер в системе реки: верхового положения, каскадного — более или менее равномерного их распределения по реке — и низового, когда наиболее крупное озеро или целая группа таких озер располагается в нижнем участке реки, ближе к ее устью. Примеры названных трех типов размещения озер по реке даны на рис. 1—3 — р. Кемь (верховой тип), р. Ковда (каскадный тип) и р. Муромка-Гакугса в Южной Карелии. Это нашло отражение в неопубликованной работе автора „Водноэнергетическая схема Карело-Мурманского края“ (1935). Такое определение отмечено в капитальном труде проф. Е. В. Близняка (1945).

Нетрудно перейти от общего, чисто качественного определения типа размещения озер в составе рек к их числовой характеристике.

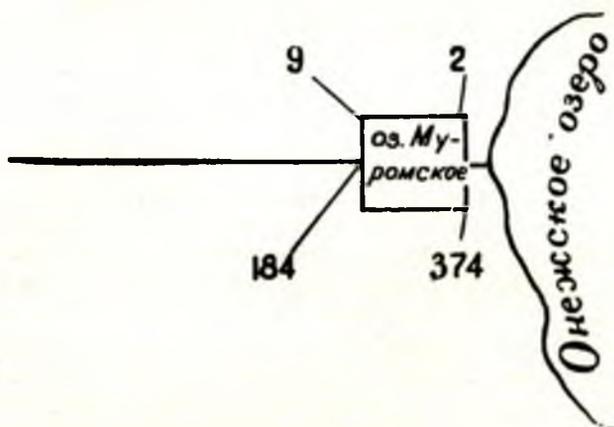


Рис. 3. Тип низового положения озер в системе р. Муромка-Гакугса (Карелия)

Цифры вверху — расстояние от устья в км;
Цифры внизу — площадь бассейна в км².

Вычисление можно провести по трем признакам:

а) относительного положения на реке суммарного протяжения озерных участков. Его вычисление можно провести по формуле:

$$a_{\text{лин. оз.}}^1 = \sum_{n=1}^{n-n} \frac{(l_1 \times l'_1 + l_2 \times l'_2 + \dots + l_n \times l'_n)}{\Sigma l_{\text{оз.}} \times L}, \text{ или} \\ \frac{1}{\Sigma l_{\text{оз.}} \times L} \times (l_1 \times l'_1 + l_2 \times l'_2 + \dots + l_n \times l'_n) \quad (6), \text{ где}$$

L — полное протяжение реки как озерно-речной системы,

$\Sigma l_{\text{оз.}}$ — суммарное протяжение озерных участков в составе реки,

l_1 — длина участка (первого озера от верховья) — в составе реки,

l'_1 — расстояние середины этого озера от устья реки.

$a_{\text{лин. оз.}}^1$ — отвлеченное число — выражает относительное положение суммы озерных участков от устья реки в долях ее общего протяжения.

Если коэффициент менее 0,3—0,4, это указывает на низовое положение озер на рассматриваемой реке; около 0,5 — каскадное или центральное положение озер, (так, у р. Ковды он оказался 0,49) и, наконец, $a_{\text{лин. оз.}}^1$ более 0,6—0,7 — позволяет отнести такую реку к типу с верховым положением озер. В этом виде показателя линей-

ной озерности отражаются только линейные размеры озер и не отражена их площадь.

б) Определение относительного положения общей площади озерных участков в составе реки; здесь можно применить формулу (6), но с заменой в ней l_1, \dots, l_n соответствующей площадью озер f_1, \dots, f_n и $\Sigma l_{оз.}$ суммой $\Sigma f_{оз.}$ в составе реки; значения l'_1, \dots, l'_n остаются теми же, что и в формуле (6), т. е. l'_1, \dots, l'_n обозначают расстояние середины данного озера (первого, второго от верховья к устью) до устья реки.

Для этого способа формула (6) переписывается:

$$a_f^1 = \frac{\sum_{n-1}^{n-n} (f_1 \times l'_1 + \dots + l_n \times l'_n)}{\sum_{n-1}^{n-n} f_{оз.} \times L} \quad \text{или} \\ \frac{1}{\sum f_{оз.} \times L} (f_1 \times l'_1 + f_2 \times l'_2 + \dots + f_n \times l'_n) \quad (7)$$

a_f^1 выражает относительное положение суммарной площади озерных участков от устья реки в долях ее общего протяжения — L .

В этом случае можно применить в качестве показателей типов те же коэффициенты, что и в первом случае. Однако полное совпадение для одной и той же реки коэффициентов $a_{лин. оз.}$ и a_f^1 обычно не имеет места.

Показатель типа озерности реки по второму способу представляется более характерным, так как в этом способе отражается более важный фактор — площади водоемов вместо их протяжения.

в) В третьем способе вычисления учитывается так же, как и во втором способе, величина площади водоемов — звеньев, но вместо расстояния середины водоемов от устья его оси-реки вводится величина водосбора, замыкаемого каждым водоемом, а общее протяжение реки заменяется общим водосбором или бассейном рассматриваемой реки. В этом способе правильнее учитывается не геометрическое положение (линейное) озер на реке, а гидрологическая значимость озер реки (в ее составе). В этом способе формула (7) преобразуется в следующую:

$$a_{F_{оз.}}^1 = \frac{\sum_{n-1}^{n-n} (f_1 \times F_1 + \dots + f_n \times F_n)}{\sum_{n-1}^{n-n} f_{оз.} \times F} \quad \text{или} \\ \frac{1}{\sum_{n-1}^{n-n} f \times F} (f_1 \times F_1 + \dots + f_n \times F_n) \quad (8)$$

Здесь F — полный водосбор реки (у устья), f_1 — площадь озера в составе реки, первого от верховья, F_1 — площадь водосбора, замыкаемого озером первым, и т. д.

$a_{F_{оз.}}^1$ выразит относительное положение суммарной площади озерных звеньев реки в ее бассейне в долях его величины, считая от устья реки. Аналогичные коэффициенты, не совпадающие для одной и той же реки, могут быть применены для характеристики типов рек озерного состава: величины его менее 0,3 — обозначают тип реки с низким положением озер-звеньев в ее водосборе, около 0,5 — тип с центральным или каскадным положением озер в бассейне реки и более 0,7 — с верховым положением озер.

Следует сказать, что независимо от автора, гидролог А. Н. Малявкин (1947) отметил значение положения главных озер в бассейне карельских рек озерного состава для режима стока. Сравнительные расчеты указанных показателей для некоторых типичных рек (Ковда, Кемь) убеждают, что более характерными являются показатели, определенные по третьему методу.

В качестве примера приводим показатели, рассчитанные по всем трем способам для р. Ковды: 0,49—0,59—0,64. Как видим, последние два способа вычисления показателей дают очень близкие значения, но большие, чем по первому способу. Эти показатели — a'_j и a'_F переводят р. Ковду из каскадного в переходный тип с верховым положением главных озер.

ж) В практике наших работ по гидрографии в качестве важной характеристики водоемов введено понятие об удельном водосборе или удельном бассейне озера — $\Delta F = \frac{F'_{ос.}}{F}$. Это — отношение площади водосбора, замыкаемого данным озером, к площади его акватории, или площадь водосбора, приходящегося на единицу зеркала водоема. Этим показателем устанавливается количественная связь водоема с непосредственной средой его питающей — бассейном или водосбором. Именно бассейн озера определяет величину поступления в водоем всякого рода вещества, стока с поверхности водосбора: жидкого, твердого (эрозионного), химического — ионного; количества тепла, вносимого в озеро его притоками. Самые притоки озера являются элементами бассейна озера, его гидрологическим выражением. Величина водосбора и связанного с ним стока всякого рода, выраженная в предлагаемом относительном виде, характеризует степень возможного влияния на жизнь водоема, его режим. Многообразные сочетания площадей озер и их водосбора в природе укладываются в спектр показателей удельного водосбора озер. Мысль о тесной связи водоема с его средой не новая. В общем виде об этой связи неоднократно указывали Науманн (1927), Г. Ю. Верещагин и др. Применение простого показателя — удельного водосбора — устраняет слишком общие разговоры о связи и переводит ее на язык конкретных числовых характеристик.

Удельный водосбор характеризует прежде всего естественную регулируемую способность водоема. Показателем способности саморегулирования притока в водоем и стока из него служит средняя годовая (многолетняя) амплитуда колебания уровня озера: чем она меньше, тем выше саморегулирующая способность водоема. Анализ этого показателя по ряду озер Карелии показывает прямую связь величины удельного водосбора с величиной средней годовой амплитуды. Чем меньше удельный водосбор озера, а значит, и величина удельного притока в него, тем оно легче справляется с его переработкой и тем меньше годовое колебание его уровня.

Связь между удельным водосбором водоемов с их аккумулярующей способностью или со средней годовой амплитудой колебания уровня водоемов, независимо от автора, указал косвенно гидролог В. С. Сумароков (1947). Такую связь он получил между коэффициентом озерности водосбора водоемов, назвав этот коэффициент, как нам кажется, не совсем правильно, коэффициентом озерного питания. Величина, обратная этому коэффициенту, обычно близка к величине удельного водосбора.

Показатель удельного водосбора есть величина по размерности

отвлеченная — $\left(\frac{\text{км}^2}{\text{км}^2} = \frac{F}{f}\right)$. Вместе с тем она остается физической, точнее — это гидрографическая конкретная данная — площадь общего водосбора озера, приходящаяся на 1 км^2 его акватории.

Для озер с малой величиной удельного водосбора лучше его определять за вычетом из него акватории самого озера, т. е. $\Delta F'' = \frac{F-f}{f} = \frac{F}{f} - 1$. Для водоемов с большим удельным водосбором, например, от 100 и более, выключение самого водоема не имеет значения. Например, при $\Delta F = 100 \text{ км}^2$ $\Delta F'' = \frac{F}{f} = 100 - 1 = 99$. Ошибка при приравнивании ΔF к $\Delta F''$ будет не более 1%, т. е. в пределах точности определения площади бассейна планиметрированием.

Величина удельного водосбора ΔF для разных озер Карелии, а затем и других районов СССР укладывается в спектр точек в очень широких пределах — от 1,5—2 (по Карелии от 3—3,5) до нескольких тысяч квадратных километров.

Понятно, что показатель удельного водосбора озер различных гидрологических районов трудно сравнивать. Например, удельный водосбор оз. Свенто (Латвия) — $\Delta F = 3,73 \text{ км}^2$ с удельной водоносностью его водосбора (модулем стока) $6,6 \text{ л}$ и почти такой же $\Delta F = 3,8 \text{ км}^2$ Топозера (в Карелии) с модулем стока $9,5 \text{ л}$ несопоставимы.

Действительно, удельному водосбору оз. Свенто $\Delta F = 3,73 \text{ км}^2$ соответствует удельный сток в $6,6 \times 3,73 = 24,7 \text{ л/сек}$, а у Топозера — $9,5 \times 3,8 = 36,1 \text{ л}$. Поэтому и гидрологическое влияние водосбора на эти озера должно быть неодинаковым. Для сравнимости показателя удельного водосбора водоемов, лежащих в районах, различных по модулю стока, можно ввести понятие приведенного удельного водосбора. Для этого заменяем величину фактического ΔF озера другой величиной $\Delta F'$ с удельным стоком, эквивалентным ΔF . Для пересчета ΔF в $\Delta F'$ пользуемся уравнением $\Delta F \times M_0 = \Delta F' \times M_{\text{усл}}$, или $\Delta F' = \Delta F \times \frac{M_0}{M_{\text{усл}}}$. Здесь M_0 — модуль стока водосбора озера, а $M_{\text{усл}}$ — принятый условный единый модуль. Для простоты вычисления коэффициента приведения $K_{\text{прив.}} = \frac{M_0}{M_{\text{усл}}}$ удобно принять $M_{\text{усл}} = 10 \text{ л}$. Тогда $\Delta F' = 0,1 \times \Delta F \times M_0$. При этом удельный водосбор оз. Дридзе $\Delta F = 3,73 \text{ км}^2$ с соответствующим ему удельным стоком $24,9 \text{ л}$ можно заменить $\Delta F' = 3,73 \times \frac{6,6}{10} = 3,73 \times 0,66 = 2,5 \text{ км}^2$ с тем же удельным стоком $24,9 \text{ л}$, но с условным модулем стока 10 л .

Удельный водосбор Топозера $\Delta F = 3,8 \text{ км}^2$ с его удельным стоком в 36 л можно заменить приведенным $\Delta F' = \Delta F \times \frac{9,5}{10} = \Delta F \times 0,95 = 3,61 \text{ км}^2$ с модулем стока 10 л и с эквивалентным стоком.

Коэффициент приведения для пересчета ΔF в $\Delta F'$ выражается простой величиной: $\frac{M_0}{M_{\text{усл}}} = \frac{M_0}{10} = 0,1 M_0$. Следовательно, если модуль стока водосбора озера $M_0 = 10$, коэффициент приведения будет равен единице, т. е. величина приведенного удельного водосбора совпадает с фактическим — $\Delta F' = \Delta F$. Если модуль стока M_0 оказывается

более 10 л, то и коэффициент приведения будет более 1,0 и, наоборот, при $M_0 < 10$ л и коэффициент приведения окажется меньше единицы.

Модуль стока M_0 водосбора озера может быть достаточно точно получен из порайонных справочников по водным ресурсам СССР или из картограмм изолиний модуля стока СССР Б. Д. Зайкова в издании Государственного гидрологического института, 1946, или по региональным, более подробным таким картам, составленным по некоторым республикам и областям СССР.

Приведем несколько примеров определения показателя удельного водосбора фактического и приведенного для нескольких крупных водоемов разных районов СССР и за его пределами.

1. Оз. Телецкое (Алтай) — площадь озера (зеркала) $230,6 \text{ км}^2$, удельный водосбор $\Delta F = 90 \text{ км}^2$, модуль стока его водосбора — $11,7 \text{ л}$, с удельным стоком $11,7 \times 90 = 1053 \text{ л}$, приведенный $\Delta F' = 105,3 \text{ км}^2$; с тем же удельным стоком; годовая амплитуда колебания уровня — $3,15-4,9 \text{ м}$.

2. Оз. Марка-Куль (горный Алтай) — площадь 454 км^2 , удельный водосбор $\Delta F = 2,6 \text{ км}^2$, модуль стока водосбора $M_0 = 9,8 \text{ л}$, приведенный $\Delta F' = 2,55 \text{ км}^2$, коэффициент приведения 0,98.

3. Оз. Байкал — площадь зеркала 30760 км^2 , удельный водосбор $18,8 \text{ км}^2$, модуль стока водосбора $2,5 \text{ л}$ и удельный сток 47 л , приведенный $\Delta F' = 4,7 \text{ км}^2$ с тем же удельным стоком 47 л , коэффициент приведения 0,25.

4. Оз. Сайма (Финляндия) — площадь 4435 км^2 , удельный водосбор — $14,0 \text{ км}^2$, модуль стока водосбора — $9,7 \text{ л}$, приведенный $\Delta F' = 13,58 \approx 13,6 \text{ км}^2$, коэффициент приведения 0,97.

На этих примерах, особенно на примере Байкала, видно, как существенно может отличаться приведенный удельный водосбор от фактического. Замена фактического удельного водосбора ΔF водоемов приведенным удельным водосборам $\Delta F'$ переводит этот показатель из показателя чисто гидрографического в гидрологический. По существу показатель $\Delta F'$ превращается в показатель водоносности удельного водосбора озера при умножении его на 10: $\Delta V_0 = \Delta F \times M_0 = \Delta F' \times 10$, где ΔV_0 — удельный сток в литрах в секунду, M_0 — модуль стока водосбора озера.

Введя множитель $31,54 \times 10^6$ — число секунд в году, и 0,001 — для пересчета на м^3 , можно перевести $\Delta F'$ или ΔF в ΔV_0 : $\Delta V_0 = \Delta F \times M_0 \times 31,54 \times 10^6 \times 0,001 = \Delta F \times M_0 \cdot 31,54 \times 10^3$ или $\Delta V_0 = \Delta F' \times 31,54 \times 10^3 = \Delta F' \times 31,54 \times 10^4 \dots$ (9). Это удельный объем среднего (многолетнего) годового стока на 1 км^2 зеркала озера с его водосбора. Этот последний показатель ΔV_0 , связанный с модулем стока M_0 бассейна водоема, в отличие от удельного водосбора как гидрографического показателя, неизменного и не зависящего от времени, есть величина вполне определенная только в многолетнем разрезе. В отдельные же годы ΔV_0 отражает изменчивость водности этих лет. Величина ΔV_0 , как и M_0 , подвержена изменению, характеризуемому гидрологическими коэффициентами — C_V — вариации и C_S асимметрии. Подобно M_0 — модулю стока, подчиненному закону географической зональности, и эти коэффициенты, с которыми связана изменчивость годового притока в озеро с его водосбора, также связаны с зональностью.

Так, с удельным водосбором связаны прямой зависимостью величина удельного и общего притока в озеро и его влияние на водоем. Степень влияния, наслаивающегося на собственный режим водоема, определяемый его внутренними чертами, с его периодичностью количественного характера, оказывается также периодически изменчивой.

з) Другим показателем, не менее важным для гидрологической классификации водоемов, в некоторой степени производным от первого ΔF и $\Delta F'$, может быть ранее предложенный нами показатель условного водообмена или сменности объема озера — $a_{\text{вод.}}$. Он представляет собою отношение объема среднегодового притока в озеро (или приближенно стока из него) с его водосбора V_0 к объему самого водоема — W , т. е. $a_{\text{вод.}} = \frac{V_0}{W}$. Здесь V_0 — объем среднегодового стока водосбора озера вычисляется по величине площади водосбора водоема и модулю стока M_0 .

Показатель условного водообмена или сменности объема озера приточными водами указывает, какую долю от объема воды самого водоема составляет объем притока в него и, следовательно, каково возможное влияние приточных вод на режим озера. Обратная величина $\frac{1}{a_{\text{вод.}}} = \frac{W}{V_0}$ обозначает условное число лет „средней водности“, в течение которых весь объем воды озера мог бы смениться за счет притока в озеро с его водосбора, в условном допущении, что весь объем озера принимает участие в такой смене.

Показатель $a_{\text{вод.}}$ колеблется по отдельным озерам, как показали наши расчеты, в очень широких пределах — от 0,1 и менее до 300 и более для малых проточных озер. Так, для Онежского озера $a_{\text{вод.}} \approx 0,06$, а у оз. Марка-Куль (Алтай) — по приближенным подсчетам порядка даже 0,02. У оз. Алуksне (Латвия) $a_{\text{вод.}} = 0,05$.

Такое малое значение показателя условного водообмена указывает в общем на ничтожную роль стока или притока в озеро (в среднегодовом разрезе) на жизнь водоема. Гидрологические и биологические свойства такого водоема определяются его внутренними чертами — морфологией (площадь, глубины, объем) и географическим положением (климатический фактор). Влияние приточных вод должно носить очень ограниченный, узко местный характер, в зоне устьев более значительных притоков, в прибрежной зоне.

Обратное положение характеризует высокий показатель $a_{\text{вод.}}$, например, 342 у оз. Шаверы в бассейне р. Лендерки (Зап. Карелия). Оно обозначает, что в среднем объем водной массы этого озера мог бы сменяться ежедневно быстрее в весеннее время паводковых вод и замедляясь в меженное время лета, зимы. Делается ясным, даже с введением поправок на участие в смене вод озера не всего его объема, что такое озеро, как Шаверы, является лишь плесом протекающей через него главной реки, повторяя в своем режиме гидрологический режим этой реки. Мы позволяем себе применить к этим двум крайним гидрологическим типам водоемов, характеризуемым показателем $a_{\text{вод.}}$, определения их режимов, как *автохтонного* в первом случае, т. е. определяемого преимущественно его собственными, внутренними чертами, и *аллохтонного* для второго, или как типа, режим которого зависит главным образом от внешней среды — водосбора озера.

Вычисления, сделанные нами для большого числа водоемов Карелии и других районов СССР, частью и за его границами, показали, что очень большое количество озер, например, Карелии, имеют $a_{\text{вод}}$ в пределах 0,5—5—10. Эту зону условно, по-видимому, и можно считать зоной средних значений $a_{\text{вод}}$. Вопрос о показателе условного водообмена озер различных районов СССР и других стран, их распределении, ввиду его обширности, здесь не развиваем, считая его предметом особого исследования.

Формула, определяющая величину показателя условного водообмена $a_{\text{вод}} = \frac{V_0}{W}$, позволяет сделать ряд следующих выводов:

1) знаменатель W — объем озера можно считать в среднем годовом состоянии практически величиной постоянной для данного водоема;

2) числитель $V_0 = F \times M_0 \times 31,54 \times 10^3 M^3$ зависит от модуля стока M_0 — величины определенной, близкой к постоянной только в многолетнем разрезе; следовательно, и $a_{\text{вод}}$, зависящий от числителя, следует считать определенным гидрологическим показателем, средним для многолетнего периода;

3) так как объем притока в озеро — V_0 , пропорциональный M_0 — модулю стока, может колебаться в довольно значительных пределах в годы разной водности, определяемых модульными коэффициентами этих лет (от 1,6—1,8 по отношению к „среднему“ году для годов многоводных (до 0,5—0,7 от „среднего“ года в маловодные годы), то в тех же отношениях будет изменяться и показатель условного водообмена в отдельные годы, то увеличиваясь в многоводные годы, выражая собою увеличение влияния приточных вод на режим озера в такой многоводный год, то уменьшаясь в маловодный год, т. е. свидетельствуя о снижении влияния приточных вод на режим водоема в маловодный год;

4) объем годового притока, соответствующий среднегодовому расходу воды общего притока, как известно, не является равномерным внутри года, а подвержен значительным колебаниям по сезонам и месяцам года; следовательно, с внутригодовой или сезонной изменчивостью притока в озеро должно измениться и посезонное влияние приточных вод на водоем.

и) Конечно, действительная схема смены водных масс водоемов приточными водами является более сложной. Здесь оказывают влияние дрейфовые явления — от ветрового влияния, конвекционное перемешивание, силы Кориолиса. Особенно это сложно в озерах с малым и очень малым показателем условного водообмена. В зависимости от величины — абсолютной и относительной — объема приточных вод — и положения входа приточных вод в озеро часто возможно наметить и установить наблюдениями (термики, гидрохимическими) зоны наибольшего обменного движения приточных вод — и наименьшего, участки озера, слабо участвующие в водообменном движении. Первую мы называем активной зоной, вторые — зоной или участками — пассивными или полупассивными. Эти термины и понятия заимствованы нами из теории и расчета охлаждающих прудов (холодильников) мощных тепловых электростанций (ЭС) с так называемым обратным водоснабжением (Бернацкий, 1930).

к) В распределении потоков приточных вод в озере, в определении их вероятного направления, при выделении активной и пассивных (полупассивных) зон водообмена во многих случаях решающее значе-

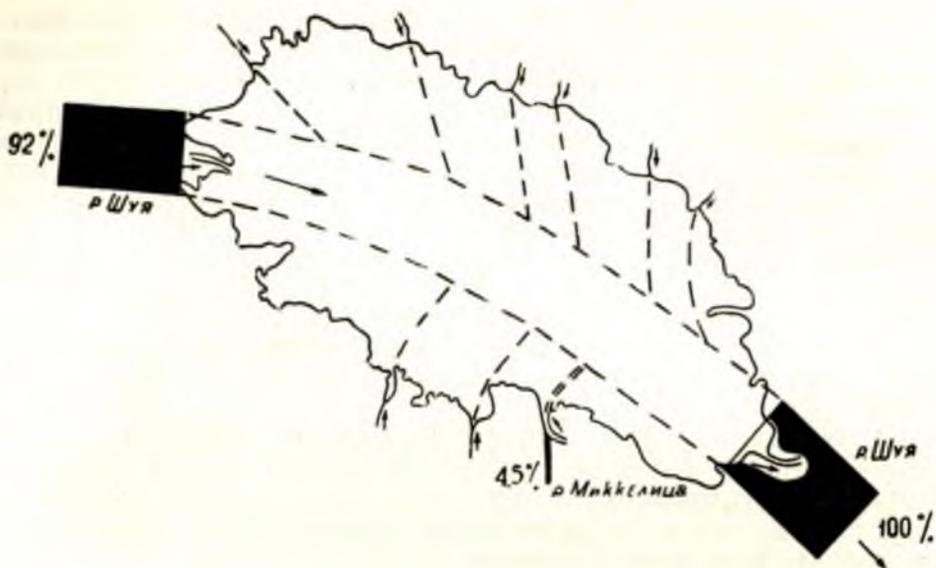


Рис. 4. Тип продольно-осевой приточности и проточности Шотозера (бассейн р. Шуи — Карелия)

ние имеют схемы или типы распределения приточности и проточности озер.

Можно наметить следующие основные типы приточности и проточности в водоемах.

1) Продольная приточность и проточность, когда направление входа и выхода основного притока — реки в проточном водоеме — совпадает с главной осью озера. Примером может служить большое проточное оз. Шотозеро в составе р. Шуи (Карелия); его площадь $74,04 \text{ км}^2$, площадь водосбора в истоке из него р. Шуи — 5548 км^2 и удельный водосбор 75 км^2 ; средний годовой объем (и расход) приточных вод р. Шуи — 1640 млн. м^3 , тоже — годового стока — 1759 млн. м^3 ; объем озера — 228 млн. м^3 ; показатель условного водообмена — $7,7$. Приток в Шотозеро с его частного водосбора составляет 8% от общего притока в водоем, т. е. определяющим является приток вод р. Шуи (рис. 4). По условиям распределения глубин течение в озере прижимается ближе к юго-западному берегу. В озере этого типа всю площадь (или почти всю) водоема можно отнести к зоне активного водообмена.

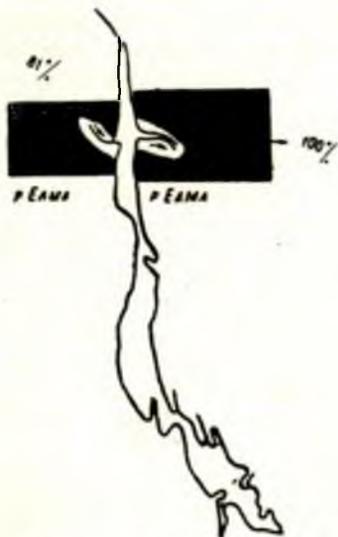


Рис. 5. Тип поперечной приточности и проточности Елмозера (бассейн р. Выга — Карелия)

2) Поперечная приточность — проточность — преобладающая часть приточных вод, в виде главного притока, и место истока реки из озера направлено в крест простираения главной оси водоема. Примером этого редкого типа может служить оз. Елмозеро в Карелии (рис. 5). Схема

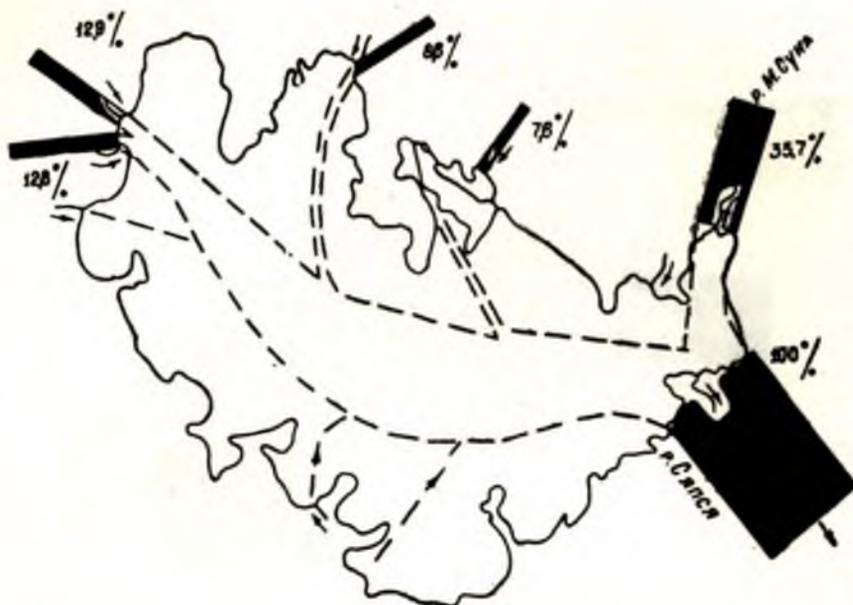


Рис. 6. Тип полукольцевой приточности Сумозера (бассейн р. Шуи — Карелия)

распределения его приточности и проточности не нуждается в пояснении. В этом крупном озере Карелии (площадь $55,9 \text{ км}^2$, удельный водосбор $6,8 \text{ км}^2$) его малая величина показателя условного водообмена $0,15$, как средняя по озеру, не характеризует озеро в целом. Главный поток приточных вод (р. Елмы) как бы рассекает озеро на самостоятельные части, каждая с собственным, еще более низким показателем водообмена.

Процесс сменности вод этого озера несомненно происходит более сложным путем. Активной зоной можно считать узкий участок потока устья Верхней Елмы до истока Елмы, остальные участки можно отнести к полупассивным зонам.

3) Кольцевая приточность озера, когда притоки его, более или менее одинаковые по величине их водосбора, распределены относительно равномерно по побережью водоема. Наиболее ярко такой тип бывает выражен у водоемов формы, приближающейся к круглой или короткоовальной — малой удлиненности. В этом случае характер проточности может быть установлен только путем непосредственных наблюдений и исследований.

Кроме перечисленных трех типов, наблюдаются многочисленные смешанные типы проточности по отношению к месту выхода реки из озера: полукольцевой, продольно-поперечной, ког-

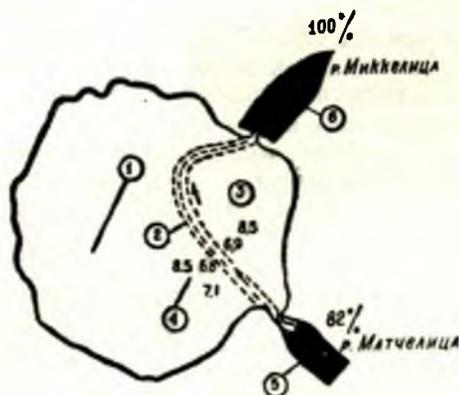


Рис. 7. Тип поперечно-боковой проточности — оз. Миккельское (бассейн р. Шуи — Карелия)

1 — пассивная зона водообмена; 2 — зона активной проточности; 3 — зона полупассивного водообмена; 4 — значения рН по разрезу; 5 — среднеголовой сток р. Матчелицы ($60 \times 10^6 \text{ м}^3$); 6 — среднеголовой сток из озера ($73 \times 10^6 \text{ м}^3$).

да на главный поток приточных вод продольного направления, параллельно направлению главной оси водоема, накладывается поперечный к ней поток крупного притока, но обычно значительно меньший; поперечно-боковая приточность и проточность (рис. 7 и 8).

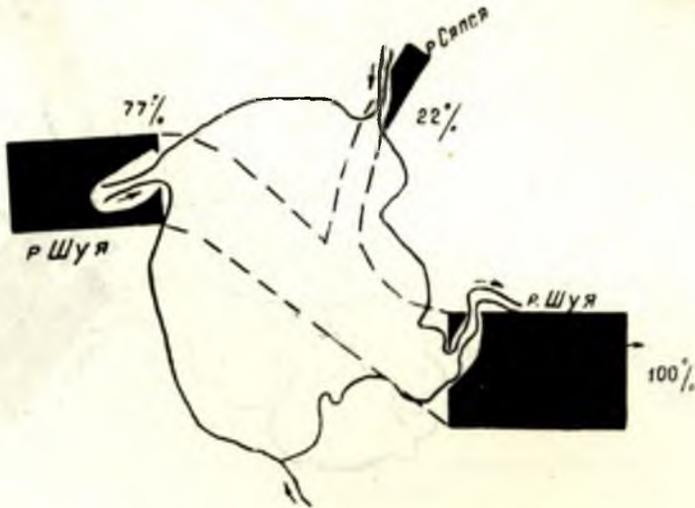


Рис. 8. Тип продольно-поперечной приточности и проточности оз. Вагат (бассейн р. Шуи)

В каждом отдельном случае можно построить схему приточности водоема и наметить зоны активного и полупассивного водообмена. Эти зоны во многих случаях хорошо проверяются гидрохимическими и термическими разрезами (см. рис. 7).

ВЫВОДЫ

Введение предлагаемых понятий — линейной и приведенной озерности бассейнов, удельного водосбора водоема, его условного водообмена, типа приточности и связанных с ним проточности, активной и полупассивной зон водообмена позволяет:

подойти к новой гидрологической классификации озер;

облегчает понимание природы водоема и направления происходящих в нем процессов;

правильно наметить исследование его режима — гидрологического, гидрохимического, гидробиологического.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев Г. А. Построение гидрографов паводков на основе расчета трех главных элементов паводка. Труды ГГИ, вып. 43/97, 1954.

Бернацкий Н. М. Теория расчета прудов-холодильников. Материалы по гидрогр., гидрол. и водн. силам СССР, вып. 5. Гос. техн. изд., Л., 1930.

Близняк Е. В. Гидрография СССР. Гидрометеиздат, М.—Л., 1945.

Григорьев С. В. Гидрография рек и озер Карелии. Рукопись. Архив Кар. филиала АН СССР. Петрозаводск, 1948.

Григорьев С. В., Грицевская Г. Л. Каталог озер Карелии (в печати). Изд. АН СССР. М.—Л., 1958.

Даль Вл. Толковый словарь живого русского языка. 6-е изд., 1955.

Книга Большому Чертежу. Подготовка к печати и ред. К. Н. Сербиной. Изд. АН СССР. М.—Л., 1950.

Малявкин А. Н. Геолого-гидрологический очерк Карелии и характеристика речного стока. Уч. зап. КФ Гос. ун-та, т. 1, 1947.

Науманн Э. Цель и основные проблемы региональной лимнологии (в русск. переводе). Труды Косинской биол. станции, вып. 6, 1927.

Соколов А. А. Максимальный сток рек с озерным питанием и методика его расчета. Труды ГГИ, вып. 50 (104), 1955.

Сумароков В. С. Среднегодовые амплитуды колебания уровня водоемов Севера СССР. „Метеор. и гидрология“, № 6, 1947.

Naumann Einar. Limnologische Terminologie. Wien, Urban u. Schwarzenberg, 1931.

Renquist H. Den vägda sjöprocenten. „Terra“, Helsinki, 1937, № 3.
