

3. Kossowska-Cezak, U., Bajkiewicz-Grabowska, E., 2009, Fundamentals of hydro-meteorology, PWN, Warsaw.
4. Mikulski, Z., 1970, Inland waters in the coastal zone of the Southern Baltic Sea, Papers of the PIHM, vol. 98, Warsaw.
5. Mikulski, Z., Bojanowicz M., Ciszewski R., 1969, Water balance of Lake Druzno, Papers of the PIHM, vol. 96, Warsaw.
6. Balicki, H., 1977, The impact of the Baltic Sea on the hydrological conditions of Lake Gardno], manuscript, IMiGW Library in Słupsk.
7. Weber, M., 1973, Attempt to calculate the water balance of Lake Łebsko, Wiad. Służby Hydrolog. i Meteorolog., vol. 4, sec. IX, Wyd. Papers of the Communications, Warsaw.
8. Chlost, I., Cieśliński, R., 2005, Characteristics of fluctuations in the water level of Lake Łebsko], [w:] J.P. Girjatowicz, Cz. Koźmiński (ed.) Hydrographic and meteorological aspects of research of the Baltic Coast and some areas of Poland, Szczecin.
9. Choiński, A., 1985, Selected problems of physical limnology of Poland, Adam Mickiewicz University, Poznan.
10. Jańczak, J. (eds.), 1997, Atlas jezior Polski [Atlas of the lakes of Poland], IMGW and GW, Bogucki WN, Poznan
11. Majewski, A., 1972, Hydrological characteristics of estuary waters of the Polish coast], Papers of the PIHM, nr 105, Warsaw.
12. Szopowski, Z., 1958, Fluctuations of water levels in the Polish seaports], Hydro-technical Papers, vol. 4, Gdańsk.
13. Jańczak, J., 1997, Atlas of Polish lakes, Ed. IMGW, Warsaw.
14. Chlost 2009, Water level and water balance of Lake Łebsko] [in:] Bogdanowicz R., Fac-Beneda J. (ed.) Water resources and water protection. Water cycle and matter cycle in river basins], the Foundation for the Development of the University of Gdansk, Gdansk.
15. Paślawski, Z., 1975, Hydrological typology of the lakes of the Wielkopolskie Lake District], Geographical Review, 20, 4.

УДК 556.55

ПОЛОЖЕНИЕ ОЗЁР НА РАЗНЫХ УРОВНЯХ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАК ФАКТОР, ФОРМИРУЮЩИЙ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКУЮ ПРОВОДИМОСТЬ ВОДЫ

Камиль Новиньски

Кафедра Лимнологии, Гданьский Университет, Гданьск, Польша,
geokamil@univ.gda.pl

The article describes influence of lake's location in the spatial hydrographic system on water conductivity of lakes. Water properties are dependant on water supply structure which is determined by location within the spatial hydrographic systems. Lake location in the system determines proportions between the surface and underground water supply and capacity of reservoirs to increase the outflow.

Введение

Условия водообмена и структура питания озёр поставлены в зависимость от их размещения в пределах территориальных гидрографических систем [Дрваль 1982, 1985] и линейных речно-озёрных систем [Байкевич-Грабовска 2002]. Помещение озера в системе решает вопрос о пропорциях между поверхностным и подземным питанием и о способности бассейнов к увеличиванию отлива. Структура питания отвечает за изменения свойств воды в озёрах. Вода, расположенная в поверхностной фазе вращения, относится к разным этапам циркуляции: от осадков до питания из подземных слоёв. Концентрация заключённых в ней минеральных веществ зависит

от времени вращения и типа центра, в котором находится. По этой причине величина притока воды из разных источников предопределяет степень её минерализации.

Целью работы является указание связи размещения озёр в пределах водосборного бассейна со структурой их питания, что в результате перекладывается на электролитическую проводимость воды.

Территория и методы исследований

Объектом изучения является речно-озёрная система верхней Радуня (Кашубское Поозерье, Польша), в состав которой входит 19 озёр (рисунок 1), отличающихся морфометрическими параметрами, гидрологической активностью, устойчивостью от внешних влияний, физико-химическими особенностями воды и трофическим состоянием. Временной диапазон проводимых исследований охватывал гидрологические годы 1999-2007, характеризующиеся значительной дифференциацией годовых течений более важных гидрологических и метеорологических характеристик.

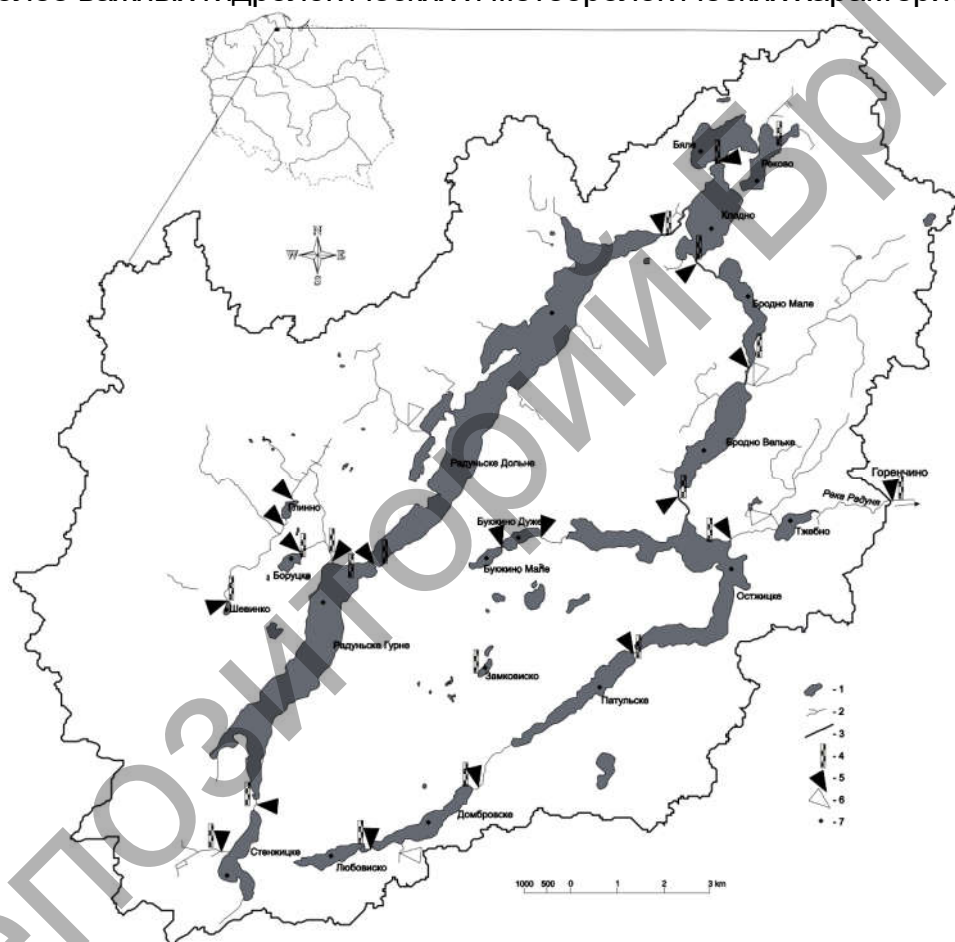


Рисунок 1 – Водообмен верхней Радуня и размещение измерительных точек:
1 - озера, 2 - водотоки, 3 - водораздел верхнего водообмена Радуня,
4 - точки измерения состояний воды, 5 - основные гидрометрические профили,
6 - периодические гидрометрические профили, 7 - места лимнологических измерений на озёрах

В ежемесячном цикле выполнялись измерения физических и химических особенностей воды в 19 озёрах и в 20 контрольных профилях, размещённых на входящих и выходящих из озёр водотоках, в которых выполнялись также измерения интенсивности потока. Распознавание гидрологических условий каждого озера проходило на основании гидрографического картирования водосбора в периоды, приходящиеся на четыре основных времени года.

Результаты

1. Разделение водосбора верхней Радунь на уровни гидрографической системы

Молодогляциальные территории представляют собой двухэтажную территориальную систему (водообменный каскад), где процессы вращения и отвода излишков воды объясняют анализ образования и организации гидрографической сети [Дрваль 1982, 1985]. Молодогляциальный водосбор в этом понимании трактуется как система каскадно расположенных и связанных с друг другом уровней водосбора.

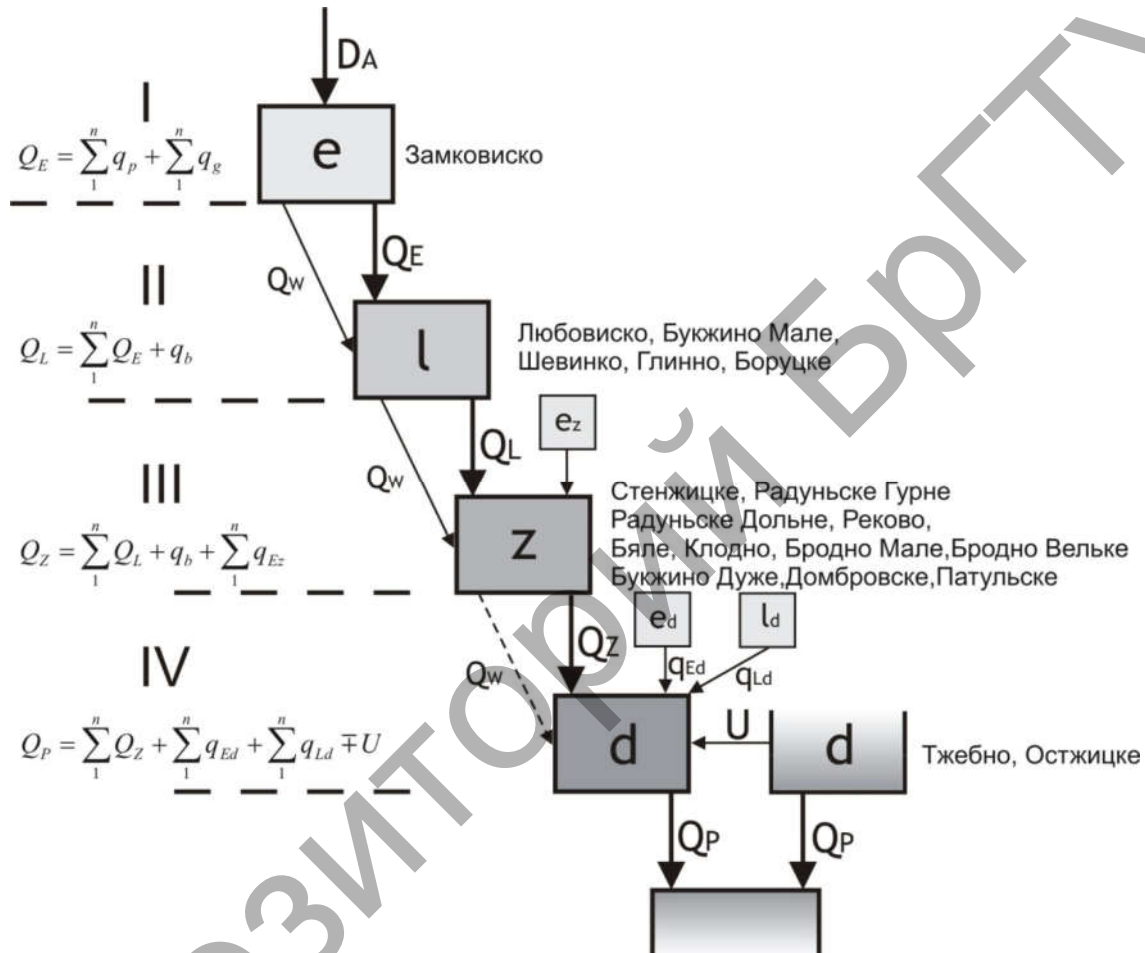


Рисунок 2 – Расположение озёр верхнего водосбора Радунь в уровнях гидрографической системы

Уровни организации системы : e – элементарные водосборы, l – локальные водосборы, z – источниковые водосборы, d – бассейны рек, n – численность единиц, ez – элементарные водосборы, строящие приречья истокового водостока, edld – элементарные и локальные водосборы, создающие непосредственный водосбор главной реки.

Этапы организации речного отлива : qq – поверхностный отлив из единичного элементарного водосбора, qg – грунтовой отлив из единичного элементарного водосбора, qb – основной отлив, Q_W – подземный отлив, DA – атмосферный приток, Q_E – концентрированный отлив из элементарных водосборов,

Q_L – отлив водотоками из локальных водосборов, Q_Z – речной отлив из истоковых водостоков, Q_P – речной отлив из бассейнов рек, U – подземный приток или отлив, выравнивающий недостатки или излишки между бассейнами рек,

q_{Ez} – концентрированный отлив из приречий истокового водотока,

$q_{Ed}q_{Ld}$ – соответственно : концентрированный из элементарного водосбора и отлив местного водотока в непосредственном водотоке главной реки.

В молодогляциальных гидрографических системах можно выделить 5 связанных друг с другом уровней со всё более высокой степенью организации (рисунок 2). В пределах этих уровней встречаются водохранилища, отличающиеся генезисом, морфометрией, гидрологическими качествами, а также ролью, которую они выполняют в системе. В зависимости от расположения на уровне системы озера влияют на условия вращения воды во всей системе: от увеличения испарения через включение во вращение подземных вод до инициации и регулирования потамического отлива.

В элементарных единицах, где начинают организовываться первые формы концентрированного отлива, встречаются небольшие вместилища (главным образом прудки), большей частью лишённые постоянного отлива. Они занимают углубления, в которых накапливаются периодические излишки воды. На этой территории часть воды, накопленной поверхностно и из грунта, возвращается в атмосферное вращение, часть воды инфильтруется, пополняя подземные воды. В границах элементарного водосборного бассейна расположено бессточное озеро Замковиско, значительная глубина бассейна которого (17.8 м) подсказывает, что оно связано с подземными водами.

Критерием, который позволяет классифицировать единицу к более высокой ступени организации системы, является существование постоянного или временного отлива. В местных водосборах появляется уже основной отлив, благодаря дренажу водоносных слоёв. На этой ступени организации озера обеспечивают уже речной отлив. Озер в локальных водосборах больше, чем в элементарных водосборах. Их питание идёт, главным образом, через поверхностный дренаж водосбора и дренаж грунтовых вод, что гарантирует постоянство этих объектов и небольшой потамический отлив. Вот озера в местных водосборах в системе верхней Радуни: Шевинко, Глинно, Боруцке, Букжино Мале, Любовиско (рисунок 2).

На более высоком уровне организации системы, то есть в истоковых водосборах, находятся самые большие озера, то есть проточные, с большими накопительными способностями. В системе верхней Радуни это озера: Стенжицке, Радуньске Гурне, Радуньске Дольне, Клодно, Бродно Мале, Бродно Вельке, Патульске, Домбровске, Реково, Бяле и Букжино Дуже. Они принимают полное участие в формировании речного отлива, преимущество которого над другими формами отведения излишков воды - отличительное качество истоковых водосборов. В связи со значительными глубинами эти озера дренажируют также углублённые водоносные уровни, включая их воду в потамическое вращение. В истоковых водосборах также отчётливо заметна задержка в реагировании водотоков на повышенное осадочное питание.

Следующим уровнем организации гидрографической системы в молодогляциальном пейзаже являются бассейны рек. В их пределах встречаются, главным образом, реолимнические водохранилища, то есть сильно проточные. Озера этого типа накапливают, главным образом, речные воды и выполняют функцию регулирования отлива вод, поставляемых главной рекой или непосредственно из истоковых водосборов. В случае этого типа озёр местные факторы играют во вращении воды небольшую роль, поскольку пополнение по непосредственному водосбору озера имеет ничтожное значение в общей структуре отлива. На этой ступени организации в верхнем водосборе Радуни функционирует озеро Тжебно. С точки зрения накопления воды из разных истоковых водосборов, локальных и элементарных, на этом уровне можно расположить также озеро Остжицке.

Наиболее высоким в иерархии уровнем, охватывающим отдельные бассейны, является кашубская гидрографическая система [Дрваль 1985]. Эта полностью сложившаяся система отводит излишки воды из пространства Кашубского Поозерья.

Этажность положения гидрографических единиц отчётливо согласована с морфологическими уровнями территории. Уровень высотности характеризуется

периодической гидрографической сетью и присутствием бессточных поверхностей. Донья желобов отличаются постоянством гидрографической сети.

На молодогляциальных пространствах большое значение имеет подземная фаза вращения воды. На основании разниц в значениях притока и отлива на отдельных уровнях организации гидрографической сети можно предполагать, что подземное вращение воды может проходить с пропуском некоторых водоносных этажей. В этом процессе существенна дренажирующая роль озёрных бассейнов. Существующие на отдельных уровнях каскады озера, часто значительной глубины, включают в поверхностное вращение воду из разных водоносных слоёв [Янковска 1985]. В районе верхнего водосбора Радуни в элементарных водосборах эвапотранспирационных, после учтённого накопления и разницы между осадками и испарением, равнодействующая подземного отлива может достигнуть максимумом 188 мм. В элементарных впитывающих водосборах инфильтрация достигает 257 мм и является главной формой отлива из этого типа единиц гидрографической системы. Элементарные отливные водосборы показывают большей частью производительность поверхностного отлива на уровне от 53 до 77 мм, что после учёта испарения даёт равнодействующую подземного отлива на уровне 180 - 204 мм. Ещё большее пополнение подземных вод происходит периодически посредством отливных водосборов. В этих единицах поверхностный отлив происходит только во время года со значительной влажностью, и по этой причине годовой кумулированный отлив водотоками составляет 25 мм. Оценённый подземный отлив из периодически отливного водосбора составляет 232 мм, что является - значительным источником пополнения для гидрографических объектов, находящихся на более высоких уровнях организации.

2. Проводимость воды

Структура запитывания озёр отвечает за свойства воды в озёрах. Расположенная в поверхностной фазе вращения вода происходит из разных этапов циркуляции: от осадков до питания из подземных слоёв. Количество содержащихся в ней минеральных веществ зависит от времени вращения и типа центра, в котором она появляется. По этой причине величина притока воды из разных источников предопределяет степень её минерализации. Приток низкоминерализованной воды из осадков вызывает разбавление и падение концентрации веществ в поверхностных водах. Во время инфильтрации вода транспортирует вещества из поверхности к подземным водам, обогащая вместе с тем свой состав вследствие растворения минеральной материи. Всплывающие в локальных и в истоковых водосборах подземные воды по этой причине значительно загрязнены, несмотря на частичную фильтрацию через слои осадков, а проводимость этих вод составляет от 320 до 470 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Короткие, часто периодические водотоки в верхнем водосборе Радуни характеризуются водами большей частью низкой проводимостью, примерно 100 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (минимально 85 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ - временный водоток, врывающийся в озеро Шевинко). Вместе с развитием гидрографической сети и большим участием питания из более глубоких водоносных слоёв, растёт также минерализация воды в водотоках верхней Радуни, и проводимость достигает в отрезках их устья примерно 400 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (максимально 430 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ в Лончинской Струге). Проводимость воды озёр верхней Радуни большей частью более низка, чем воды водотоков, что вызвано способностями озёр к трансформации материи. Значения в поверхностных водах озёр колеблются от примерно 70 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Замковиско) до 362 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Бужино Мале) при среднем для всех описываемых озёр на уровне 259 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$. Вода озера Бужино Мале достигает таких высоких ценностей проводимости, ввиду большого участия подземного притока по сравнению с другими формами питания.

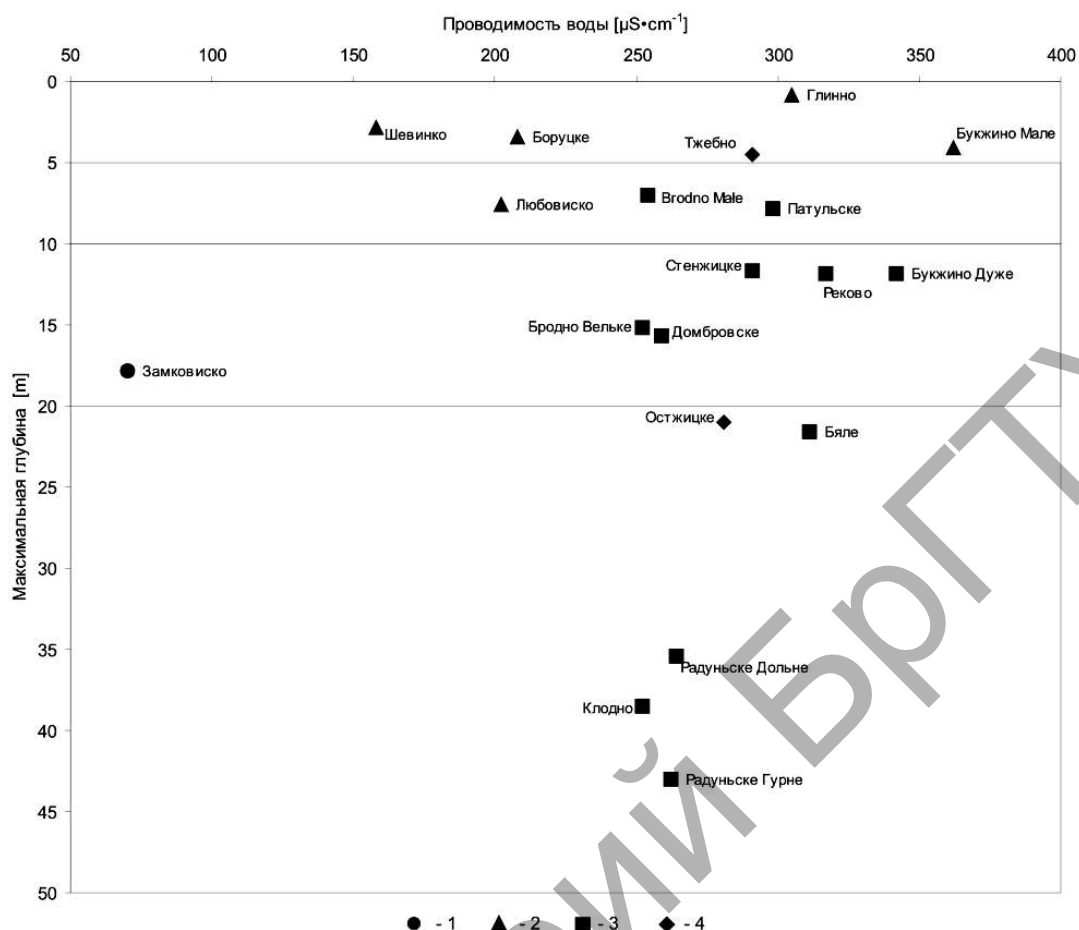


Рисунок 3 –Связь проводимости воды с максимальной глубиной озёр :
 1 - озера в элементарном водосборе, 2 - озера в локальном водосборе,
 3 - озера в истоковом водосборе, 4 - озера в бассейнах рек

Приток подземных вод к озёрам зависит в том числе от склонности миски к дренажу водоносных слоёв, что предопределяет напр. максимальная глубина. Рисунок 3 представляет зависимость между максимальной глубиной озёр на разных уровнях организации системы и проводимостью воды. Из рисунка следует, что связь между этими элементами ничтожна, зато большое значение имеет положение в иерархически организованной гидрографической системе. Заметно также, что мелкие озера (большой частью в локальных водосборах) отличаются самым большим дифференцированием значений проводимости: от $158 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Шевинко) до $362 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Букжино Мале). Озера этого типа характеризуются отчётливым перевесом одного типа питания (напр. поверхностного в оз. Шевинко, речного в Глинне и подземного в Букжине Малом), что детерминирует минерализацию воды.

Проводимость воды среднеглубоких ($H_{\text{макс}} 5 - 10 \text{ м}$) озёр в истоковом водосборе не показывает большой дифференциации, находясь собственно в пределах $250 - 300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Расположенное в локальном водосборе озеро Любовиско отличается более низкой проводимостью ($202 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), так как - большее значение атмосферных осадков в структуре его питания. Аналогично также в случае глубоководных озёр в элементарном водосборе. Озеро Замковиско питается, главным образом, осадками, и проводимость его воды составляет только $70 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Воды глубоководных и очень глубоких озёр в источниковых водосборах и бассейнах рек не показывают большого дифференцирования проводимости, но её ценность зависит также от участия отдельных источников в питании озёр.

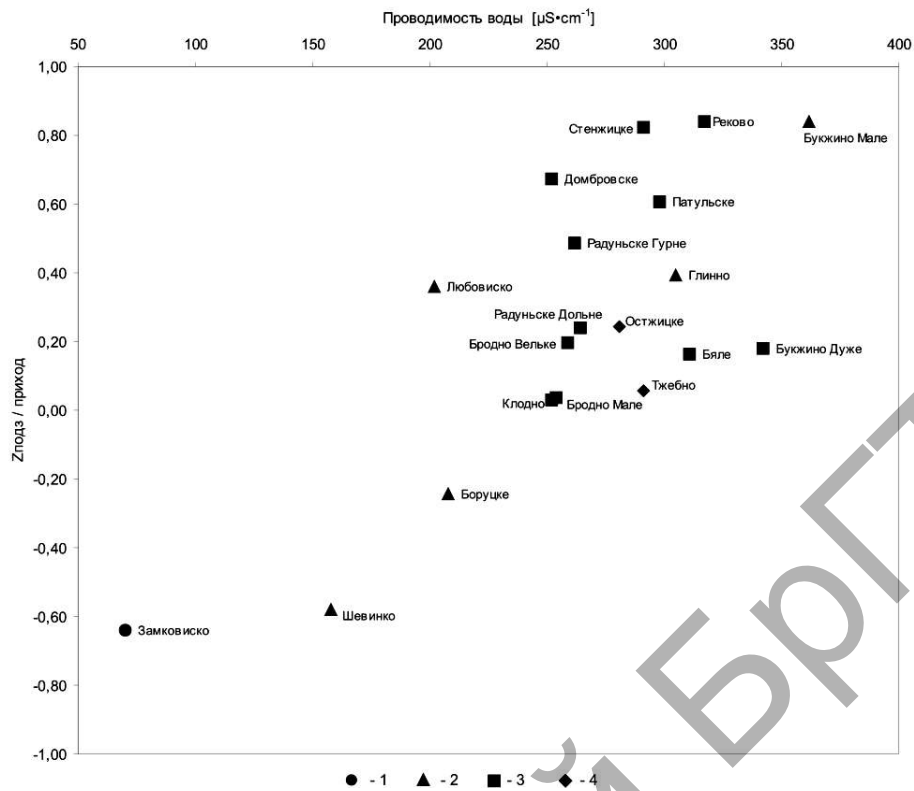


Рисунок 4 –Связь проводимости воды и частного равнодействующей подземного питания к полному притоку воды к озёрам: 1 - озера в элементарном водосборе, 2 - озера в локальном водосборе, 3 - озера в истоковом водосборе, 4 - озера в бассейнах рек

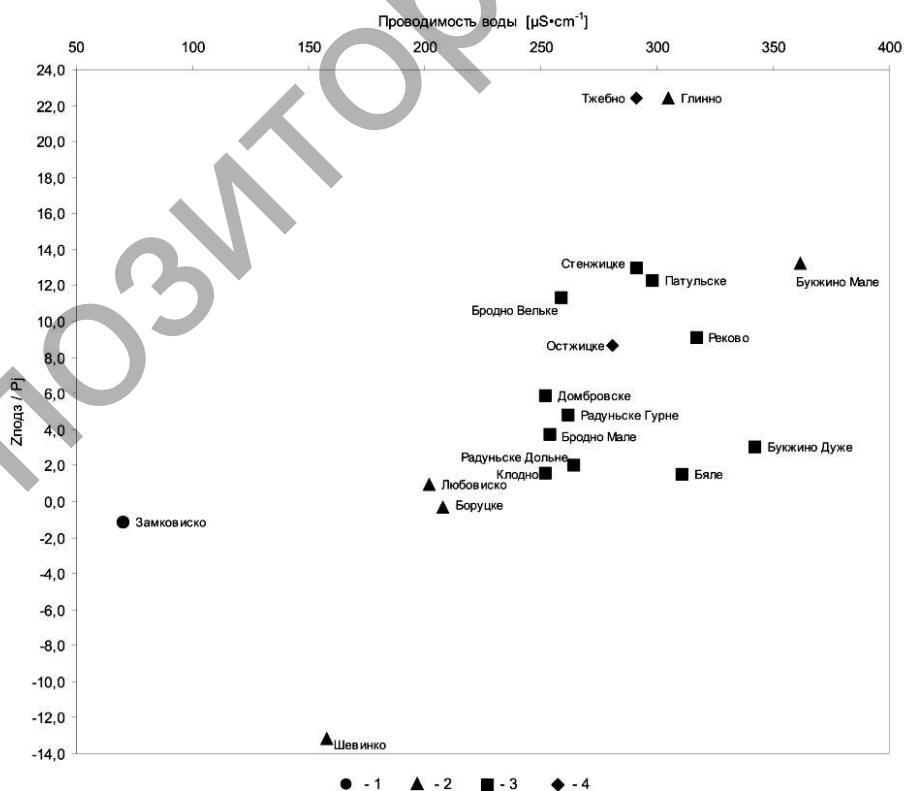


Рисунок 5 –Связь проводимости воды и частного равнодействующей подземного питания к осадочному питанию: 1 - озера в элементарном водосборе, 2 - озера в локальном водосборе, 3 - озера в истоковом водосборе, 4 - озера в бассейнах рек

Пропорции между отдельными составными питания, а именно величиной подземного и поверхностного притока и питания осадками, влияют на химический состав воды, отражением чего является её проводимость. Представленные на рисунке 4 и рисунке 5 связи проводимости воды со знаменателем подземного и общего питания ($Z_{\text{подз}} / \text{Приход}$), а также проводимость с частным подземного и осадочного питания ($Z_{\text{подз}} / P_j$) представляют зависимости минерализации воды от способа пополнения озёр.

Самым большим участием равнодействующей подземного притока в полном притоке воды к озёрам ($Z_{\text{подз}} / \text{Приход} = \text{около } 0,8$) отличаются озера: Стенжицке, Реково и Букжино Мале. Такое большое питание подземными водами с более высокой минерализацией в результате приводит к повышенной проводимости воды этих озёр. В озёрах, в которых констатирован подземный отлив ($Z_{\text{подз}} / \text{Приход} < 0$), заметили самую низкую минерализацию воды. Это большей частью озера в элементарных водосборах (Замковиско) или некоторые мелкие озера в местных водосборах (Шевинко). Исключение - Озеро Боруцке, которое несмотря на перевес осадочного питания и подземного отлива, характеризуется средней проводимостью на уровне $208 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Такое состояние вызвано усиленной антропопрессией на это озеро. В оставшихся озёрах верхней Радуни участие подземного питания составляет от 3 - 4% (Клодно, Бродно Мале) и свыше 60% (Патульске и Домбровске), что при различном воздействии поверхностного и осадочного притока вызывает дифференцирование минерализации воды и соотношение количества воды, происходящей из подземных запасов к питанию осадками, объясняет изменчивость проводимости воды в этой группе озёр (рисунок 5). В большинстве озёр верхней Радуни замечается влияние этих источников питания на минерализацию воды. Наиболее отличающиеся от схемы озера (Букжино Дуже, Бяле, Бродно Вельке, Тжебно и Глинно), проводимость воды которых поставлена в зависимость, главным образом, от поверхностного притока. Озера: Шевинко, Замковиско и Боруцке имеют отрицательное значение показателя и тем меньшее значение, чем больше подземный отлив превышает сумму осадков на поверхность озера.

Заключение

Большое значение в формировании свойств воды, в том числе проводимости, имеет положение озёр в иерархически организованной гидрографической системе и структура пополнения озёр в связи с морфометрическими качествами бассейнов озёр. Эти зависимости позволяют констатировать, что:

Большую роль относительно условий питания и ценности минерализации воды играет положение в иерархически организованной гидрографической системе, чем максимальная глубина озёр.

Общая минерализация вод озёр остаётся в связи с отношением равнодействующей подземного и общего питания ($Z_{\text{подз}}/\text{Приход}$) и равнодействующей подземного и осадочного питания ($Z_{\text{подз}}/P_j$). Изменчивость характеристики ($Z_{\text{подз}}/\text{Приход}$ в озёрах верхней Радуни колеблется от отрицательных ценностей в озёрах с отрицательной равнодействующей подземного питания: Замковиско, Шевинко, Боруцке и ниже 0.1 (Клодно, Бродно Мале, Тжебно) и свыше 0.8 (Букжино Мале, Реково, Стенжицке). Ценности второй зависимости ($Z_{\text{подз}}/P_j$) также принимают отрицательные значения в озёрах, в которых равнодействующая подземного питания показывает на отток воды подземным путём. В остальных озёрах показатели находятся в границах от 1 (Любовиско) и свыше 10 в озёрах: Бродно Дуже, Патульске, Стенжицке, Букжино Мале, Глинно и Тжебно.

Мелкие озера ($H_{\max} < 5$ м), расположенные большей частью в локальных водосборах, отличаются самым большим дифференцированием проводимости воды: от $158 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Шевинко) до $362 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Букжино Мале). Озера этого типа характеризуются отчётливым перевесом одного типа питания (напр. поверхностного в оз. Шевинко, речного в Глинне и подземного в Букжине Малом), что детерминирует минерализацию воды. Озеро Букжино Дуже отличается высоким показателем равнодействующей подземного питания, что указывает на очень большое участие подземного притока в полном приходе воды в озёра ($Z_{\text{подз}}/\text{Приход} = \text{примерно } 0.8$), в Шевинке зато обнаружили противоположную ситуацию ($Z_{\text{подз}}/\text{Приход} < 0$).

Проводимость воды среднеглубоких озёр ($H_{\max} 5 - 10$ м), расположенных на уровне локальных водосборов составляет примерно $200 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Любовиско), что выражает большее значение атмосферных осадков в структуре питания (равнодействующая подземного питания к осадочному $Z_{\text{подз}}/P_j = 1$). Среднеглубокие озера на уровне истоковых водостоков показывают проводимость в разбросе от $250 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Бродно Мале) до $300 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Патульске), что свидетельствует о росте значения поверхностного притока в случае оз. Бродно Мале и подземного притока в оз. Патульске ($Z_{\text{подз}}/\text{Приход} = 0.61$).

Проводимость воды глубоководных озёр ($H_{\max} 10 - 20$ м), расположенных на уровне истоковых водосборов, помещается в разбросе от $260 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Бродно Дуже) до $340 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Букжино Дуже). Минерализация этих озёр вытекает, главным образом, из притока выше расположенного озера, зато значение подземного притока видно в случае озёр Стенжицке и Реково, где $Z_{\text{подз}}/\text{Приход} \approx 0.8$. В расположенном на уровне элементарного водосбора и пополняемым, главным образом, осадками озере Замковиско, несмотря на его значительную глубину, равнодействующая подземного питания показывает на незначительное участие алиментации подземным путём ($Z_{\text{подз}}/\text{Приход} < 0$), что действует на проводимость вод этого озера ряда $70 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Очень глубокие озера ($H_{\max} > 20$ м) на уровне истоковых водосборов и бассейнов рек не показывают большого дифференцирования проводимости, и она образуется на уровне от $250 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Клодно) до $310 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Бяле). В озёрах на этом уровне территориальной гидрографической системы растёт значение поверхностного питания за счёт подземного питания ($Z_{\text{подз}}/\text{Приход}$ от 0.03 до 0.16).

Озеро Боруцке, несмотря на перевес осадочного питания и подземный отлив, характеризуется средней проводимостью на уровне $208 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$. Такое состояние вызвано причиной массивированной антропопрессии этого озера.

Список литературы

1. Дрваль, И.: Образование и организация гидрографической сети как основание оценки структуры отлива на молодогляциальных территориях, Научные Тетради. УГ, Розпр. и Мон. 33, Edit. University of Gdańsk, Гданьск, 1982 г. – 130 с.
2. Дрваль, И., Озера в эзореических системах молодогляциальных поозерий, Научные Тетради. / И. Дрваль – Отд. БиНоЗ УГ, География, 14, 7-15 с.
3. Байкевич-Грабовска, Э., 2002, Вращение материи в речно-озёрных системах, Edit. Warsaw University, Варшава, 274 с.
4. Янковска, Г., 1985, Значение озёр в формировании подземного отлива в бассейне верхней Радунь, Научные Тетради. / Г. Янковска – Отд. БиНоЗ УГ, География, 14, 57-68.