

**ЭСТОНСКИЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
И
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ЭМГИ)
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР (НЦ)**

Р. Вedom

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОЗЕРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
РЕЧНОГО СТОКА**

**Научная работа на соискание ученой степени кандидата
географических наук**

Научный руководитель:

**профессор, доктор
сельскохозяйственных
наук, генеральный
директор ЭМГИ**

П.Каринг

ТАЛЛИНН 1995

СО Д Е Р Ж А Н И Е

СО Д Е Р Ж А Н И Е	2
В В Е Д Е Н И Е.....	7
1. Метод районирования коэффициента полезной емкости водоемов.....	10
1.1 Исходная расчетная формула и история вопроса.....	10
1.2 Климатические (фоновые) закономерности изменения коэффициента полезной емкости озера β	13
1.2.1 Зональные характеристики изменения $\beta_{ед} = f(K_{ср})$	16
1.2.2 Закономерности изменения $\beta_{ед} = f(K_{уд})$	20
1.3 Временные изменения единичной емкости водоема $\beta_{ед}=f(K_{уд})$..	27
2. Применение предложенных методов для озер Эстонии.....	35
2.1 История исследований эстонских озер и их изученность	35
2.2 Исходный материал для районирования коэффициента полезной емкости озер Эстонии (содержание таблицы 3 Приложения)	38
2.3 Региональные расчетные зависимости (норма) между многолетним стоком из озера (M_o), амплитудой его колебания (A_o) и показателем площади водоема ($K_{ср}$)	44
2.3.1 Анализ исходного материала	45
2.3.2 Построение расчетных кривых зависимости $\beta=f(K_{ср})$	48
2.3.3 Расчет региональных номограмм $M_o = (A_o, K_{ср})$	50

2.3.4 Норма соотношений $M_o = f(A_o, K_{cp})$ для безозерных рек ($K_{cp} = 0$)	52
2.4 Оценка влияния факторов подстилающей поверхности.....	54
2.4.1 Зональная изменчивость фоновых зависимостей $M_o = f(A_o, K_{cp})$	55
2.4.2 Методическая основа для оценки влияния факторов подстилающей поверхности.....	56
2.4.3 Результаты оценки влияния факторов подстилающей поверхности.....	57
2.4.4 Неоднозначное влияние рыхлых грунтов, карста	59
3. Особенности формирования амплитуды колебаний уровня озер Эстонии	63
3.1 Зависимость амплитуды колебания уровня озер от высоты местности, глубины водоема, типа озера и подстилающих почвогрунтов	64
3.2 Связь амплитуды колебания уровня озер с колебаниями грунтовых вод	68
3.3 Результаты применения разработанных методик для малоизученных и неизученных озер Эстонии.....	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	75
ВЫВОДЫ.....	77
ЛИТЕРАТУРА.....	79
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	83

Таблица 1. Средние многолетние величины M_o , A_o и K по озерам разных регионов СССР.....	85
Таблица 2. Расчет погодиных величин β , $\beta_{ед}$, $K_{ср}$ и $K_{уд}$ для шести озер региона	89
Рисунок 1-6. Зависимость $\beta_{ед}=f(K_{уд})$ для каждого из шести озер региона	91
Рисунок 7-14. Погодные зависимости $\beta_{ед}=f(K_{уд})$ для шести озер региона	97
Рисунок 15. Зависимость $M=f(K, A)$ для оз.Самро, рассчитанная по месячным данным	105
Таблица 3. Основные сведения об озерах Эстонии	106
Таблица 4. Зависимость $M_o=f(A_o, K_{ср})$ для морен и глинистых морен для $K_{ср} > 0.025$	136
Таблица 5. Зависимость $M_o=f(A_o, K_{ср})$ при $K_{ср}=0$	137
Таблица 6. Зависимость $M_o=f(A_o, K_{ср})$ (норма)	138
Таблица 7. Зависимость $M_o=f(A_o, K_{ср})$ (песчано-гравелистые грунты в развитой гидрографической сети)	139
Таблица 8. Зависимость $M_o=f(A_o, K_{ср})$ (для явлений подпора)	140
Рисунок 16. Зависимость $M_o=f(A_o, K_{ср})$ (норма) для озер Эстонии (а), Кольского п-ва (б), Карелии (в) и С-З (г).....	141
Рисунок 17. Зависимость $M_o=f(A_o, K_{ср})$ (песчано-гравелистые грунты в развитой гидрографической сети)	145
Рисунок 18. Зависимость $M_o=f(A_o, K_{ср})$ (для явлений подпора)	146
Таблица 9. Зависимость снижения амплитуды ($\Delta A/A_f$) от	

величины водосбора (IgF) при песчано-гравелистых и известняковых (зона выброса стока) подстилающих грунтах	147
Таблица 10. Зависимость увеличения стока из озера ($\Delta M/M_f$) от величины водосбора (IgF) и показателя площади водоема (K) при песчано-гравелистых и известняковых грунтах (зона выброса стока)	147
Таблица 11. Основные сведения по озерам Эстонии, имеющим данные по амплитуде колебания уровня A_o , систематизированные по типам происхождения	148
Рисунок 19. Зависимость амплитуды колебания уровня озера (A_o) от его средней глубины ($h_{ср}$)	160
Рисунок 20. Зависимость амплитуды колебания уровня озера (A_o) от его средней глубины ($h_{ср}$) для озер разных типов	161
Рисунок 21. Зависимость амплитуды колебания уровня озера (A_o) от его средней глубины ($h_{ср}$) для озер, расположенных выше 100 м над уровнем моря, разных типов и различными грунтами.....	162
Рисунок 22-30. Зависимость амплитуды колебания уровня озера (A_o) от его средней глубины ($h_{ср}$) для озер каждого типа	163
Рисунок 31. Зависимость амплитуды колебания уровня озер ($A_{ср}$) и средней глубины водоема ($h_{ср}$) от высоты местности ($H_{ср}$).....	172
Таблица 12. Средние многолетние величины амплитуды колебания уровня грунтовых вод (A) и глубины их зеркала от поверхности земли (h) на гидрологических постах	173
Рисунок 32. Зависимость амплитуды колебания уровня грунтовых вод ($A_{ср}$) и средней их глубины от земной поверхности ($h_{ср}$) от высоты местности ($H_{ср}$).....	175
Рисунок 33. Зависимость амплитуды колебания уровня	

грунтовых вод (A) от глубины их зеркала под поверхностью земли (h) в песчано-гравелистых отложениях	176
--	-----

Рисунок 34. Зависимость амплитуды колебания уровня грунтовых вод (A) от глубины их зеркала под поверхностью земли (h) в смешанных породах Северо-Эстонского плато	177
---	-----

Рисунок 35. Зависимость амплитуды колебания уровня грунтовых вод (A) от глубины их зеркала под поверхностью земли (h) в смешанных породах Западной Эстонии (бассейн реки Казари и правые притоки р. Пярну), левых притоков р. Пярну и Южной Эстонии (верхняя кривая)	178
--	-----

Рисунок 36. Зависимость амплитуды колебания уровня грунтовых вод (A) от глубины их зеркала под поверхностью земли (h) в известняках	179
---	-----

Таблица 13. Величины рассчитанных значений амплитуд и стока для неизученных озер Эстонии	180
---	-----

Таблица 14. Результаты оценки амплитуды колебания уровня озер по зависимостям для грунтовых вод	203
--	-----

ВВЕДЕНИЕ

В геологическом масштабе времени озера являются временными элементами ландшафта Земли. Они могут существовать от нескольких недель или месяцев между двумя паводками до нескольких миллионов лет. Вероятно, именно эта особенность озера является причиной отсутствия универсального их определения [18], позволяющего объединить под единым термином любые водоемы, независимо от их размеров, происхождения, режима, морфометрических и гидрологических характеристик.

В настоящей работе автор предлагает универсальный гидрологический параметр, позволяющий все естественные и искусственные водоемы с естественным уровенным режимом, независимо от их размеров, разделить на две группы: проточные или сточные озера и бессточные озера. При этом, в такие понятия как озерко и пруд вкладывается только обозначение небольших размеров водоема, никак не принадлежность их к какой бы то ни было иной группе, характеризующейся принципиальным отличием от других водоемов. Объединение всех без исключения водоемов - от самых крупных

тектонического происхождения до самых маленьких прибрежных "блюдца" и "болотных окон", практически, не имеющих площади водосбора [38], или небольших расширений речного русла, - возможно по предложенному еще в 40-60-е [2,3,41] годы коэффициенту полезной емкости β озера и его модификации, предложенной автором, - $\beta_{ед}$, соответствующему 1-метровой призме слива. Для всех бессточных озер этот коэффициент не определяется, т.к. отсутствует поверхностный сток из озера, относительно которого оценивается "полезность" среднего годового изменения объема воды в рассматриваемом водоеме. Для проточных водоемов оба коэффициента β и $\beta_{ед}$ имеют положительные значения.

Регулирующая способность естественных водоемов, количественно характеризуемая коэффициентом полезной емкости β , изучена довольно слабо из-за ограниченности данных наблюдений, отсутствия обобщений этой характеристики для различных территорий и во времени. Подавляющее большинство озер, на которых производятся или производились наблюдения за уровнем и стоком, либо зарегулированы, либо имеют короткие, относящиеся к разным интервалам времени, или неполные для подобных обобщений ряды данных.

Регулирующая способность низового озера, (озера - исток из которого совпадает с расчетным створом) [6], является основой для оценки зональных и азональных составляющих гидрологических характеристик его водосбора в целом, эта особенность, в частности, используется шведскими гидрологами при моделировании речного стока [52].

Зависимость $\beta_{ед}$ от относительных размеров озера, отнесенных к величине стока из него, отражает зональные, обусловленные только климатом соотношения полезного объема озера с величиной стока из него, позволяя построение региональной кривой удельных величин, соответствующей региональной величине удельных потерь стока на

испарение (на 1 м колебания уровня озера и 1 л/с км²), а также позволяя регионализацию самого коэффициента β с учетом наиболее характерных для рассматриваемой территории факторов подстилающей поверхности. Так, для Эстонии таким характерным, фоновым фактором подстилающей поверхности автором приняты глинистые и простые морены. К азональным факторам, искажающее влияние которых рассматривается на фоне характерного, отнесены песчаные и песчано-гравелистые отложения, заболоченность, карст, а также явления переменного подпора, имеющие широкое распространение на водных объектах Эстонии [60].

Районирование коэффициента полезной емкости озер, произведенное в работе, позволяет количественно оценить различия в потерях стока на испарение за разные отрезки времени, а также для водосборов, расположенных в разных климатических зонах.

Недостаток данных сетевых наблюдений на интересующей нас территории потребовал привлечения дополнительной научной литературы о режиме озер разных регионов, особенно Эстонии. Для оценки зональных различий использована информация по изученным озерам бывшего СССР, опубликованная в гидрологических справочниках ОГХ и МДС, а также Ресурсах поверхностных вод СССР. Для территории Эстонии привлечены данные наблюдений за уровнем воды и стоком на речных гидрологических постах, за уровнем грунтовых вод - в хозяйственных колодцах, за уровнем и стоком с болотных водосборов - на специализированной воднобалансовой болотной станции Тоома.

Обобщение информации об озерах, сосредоточенной в научных исследованиях ряда эстонских ученых, явилось важным дополнением к использованным материалам наблюдений. Дополнение зависимостей, построенных по данным наблюдений, данными независимых описаний, не только придает уверенность в их правильности, но и свидетельствует

об определенной надежности составленных другими исследователями описаний.

В работе недостаточно подробно рассматривались временные изменения выявленных закономерностей, поскольку они требуют привлечения большого дополнительного материала гидрометеорологических наблюдений и воднобалансовых расчетов. Такое исследование представляет собой самостоятельную работу и может быть проведено в будущем на предлагаемой автором методической основе.

1. Метод районирования коэффициентов полезной емкости водоемов

Метод районирования коэффициентов полезной емкости озер разработан автором [10,56], но в полном виде опубликован не был и в первой главе дано подробное его обоснование, а во второй - описание применения на материале озер Эстонии.

1.1 *Исходная расчетная формула и история вопроса*

В основу метода положена формула полезной емкости озера как показателя его регулирующей способности, заимствованная из терминов гидрологии водохранилищ [7,9,43], и для озер уже использовавшаяся рядом авторов [2,3,41] в 40-60-тых годах. Уже тогда, при первых же попытках применить эту характеристику в качестве конкретного количественного показателя регулирующей способности водоема, были получены весьма надежные связи между многолетней величиной полезной емкости и степенью снижения максимального расхода воды из озера, степенью повышения минимального стока из озера, и, вообще, степенью влияния озера на региональный сток. Параметры полученных связей были помещены в СН 346-66 для использования в качестве нормативных.

Широкое использование предложенных зависимостей для оценки стока из неизученных водоемов не было успешным из-за большой неопределенности величины самого коэффициента емкости для неизученного водоема, по которому предлагалось оценивать сток. Не было получено распределение коэффициента емкости по площади отдельных озерных районов бывшего СССР, не разработано каких-либо рекомендаций по его определению для неизученных озер. При отсутствии таких рекомендаций использование методики для оценки стока из озера становится весьма проблематичным, поэтому, несмотря на достаточно надежные связи между рассматриваемыми характеристиками, в следующий выпуск СНиПа (1972 г. издания) эта методика не вошла.

Разработанный автором и излагаемый ниже метод районирования коэффициентов полезной емкости водоемов построен на закономерностях пространственного и временного изменений коэффициента полезной емкости озера, выявленных в результате исследований и расчетов, произведенных по данным изученных водоемов Кольского полуострова, Карелии, Северо-Запада бывшего СССР и Эстонии.

Исходной формулой, как уже сказано, является формула коэффициента полезной емкости озера:

$$\beta = \frac{W_{сл} - A_{ср} * F_{оз} * 1000}{W_{ср} - F_{вд} * M_{ср} * T_0} = \frac{A_{ср} * K_{ср} * 1000}{(1 + K_{ср}) * M_{ср} * T_0} \quad (1.1.1)$$

где β - коэффициент полезной емкости озера за расчетный период T_0 (расчетным периодом может быть как многолетний, так и годовой, и месячный периоды);

$W_{сл}$ - объем сливной призмы озера за расчетный период, м³;

$W_{ср}$ - объем стока из озера за расчетный период, м³;

$M_{\text{ср}}$ - средний модуль стока за расчетный период, л/с*км²;

$A_{\text{ср}}$ - амплитуда колебания уровня за расчетный период, м;

T_0 - количество миллионов секунд в расчетном периоде (например, для года

$T_0=31,54$, для месяцев - 2,58 или 2,63 и т.д.);

$K_{\text{ср}}$ - средний показатель площади водоема за расчетный период, равный

$$K_{\text{ср}} = F_{\text{оз}} / (F_{\text{вд}} - F_{\text{оз}}) \quad (1.1.2)$$

$F_{\text{вд}}$ - площадь водосбора озера с учетом площади зеркала расчетного озера,

км²;

$F_{\text{оз}}$ - площадь озера, соответствующая среднему за расчетный период уровню водоема, км².

Формула (1.1.1) отличается от формулы В.Г.Андреянова [2] прежде всего тем, что все параметры, входящие в нее, определены для конкретного расчетного периода. Кроме того, величину K В.Г.Андреянов определял как соотношение площади озера к общей площади его водосбора в створе истока из него:

$$K = F_{\text{оз}} / F_{\text{вд}}. \quad (1.1.3)$$

Используемый в данной работе коэффициент $K_{\text{ср}}$, с моей точки зрения, более приемлем, чем K , т.к. он может превышать 1 (максимальная его величина для рассматриваемых ниже эстонских озер достигает 1.33), и он уже нашел успешное применение в гидрологической практике [6,11,12].

Таким образом, используя для естественных водоемов расчетную характеристику, применяемую в гидрологии водохранилищ, и опираясь на результаты и опыт ряда предыдущих исследователей, делается

попытка выявить закономерности изменения этой характеристики по территории и во времени с целью применения полученных результатов для неизученных водоемов.

1.2 Климатические (фоновые) закономерности изменения коэффициента полезной емкости озера β

Зависимости $\beta = f(K_{ср})$ на первый взгляд не выявляет каких бы то ни было закономерностей. На рис.1.2.1 представлена зависимость, построенная по данным 48 озер Кольского п-ва, Карелии и Северо-Запада Европейской территории бывшего СССР, 6 озерам Среднего Урала, 5 озерам Камчатки и Дальнего Востока и 12 озерам Эстонии (табл.1 Приложения). За исходные многолетние данные после многократных проб и пересчетов окончательно приняты нормы из монографии "Ресурсы поверхностных вод СССР" [35,36], т.к. именно эти данные являются методически однородными как по конкретному региону, так и по всему бывшему СССР. Поэтому сравнение разных регионов производилось именно по этим данным. При рассмотрении конкретных озер и озерных районов Эстонии, а также построении и уточнении рабочих зависимостей, автором используются иные данные, сведения о которых приведены по ходу изложения материала.

Зависимость $\beta=f(K_{ср})$ (рис.1.2.1) позволяет уловить некоторую закономерность, связанную с зональными изменениями, а именно: озера более северных территорий обладают меньшим коэффициентом полезной емкости при аналогичных размерах озера. Возникает естественный вопрос: не является ли сама величина показателя площади водоема $K_{ср}$ обусловленной климатом? Убедительный ответ на этот вопрос дан в работе К.К.Эдельштейна [46], в которой приведенные обобщения по малым и средним озерам Скандинавии и Северного Казахстана подтверждают вывод об отсутствии такой обусловленности. Следовательно, соотношения между площадью озера и его водосбора -

независимый от климата показатель. Это утверждение важно, т.к. в работе параметр $K_{ср}$ постоянно используется в качестве независимой переменной.

Рассмотрим, как зависит коэффициент полезной емкости от входящих в формулу (1.1.1) параметров и каковы возможные зональные зависимости между параметрами.

Анализ зависимости β от показателя площади водоема $K_{ср}$ (рис.1.2.1) показывает, что при изменении $K_{ср}$ от 0 до 0,5 (наиболее распространенные величины $K_{ср}$) коэффициент β монотонно возрастает, а затем, при значениях $K_{ср} > 0.5$ его рост сильно замедляется.

Регулирующая способность озера, при прочих равных условиях, тем меньше, чем больше объем речного стока из него.

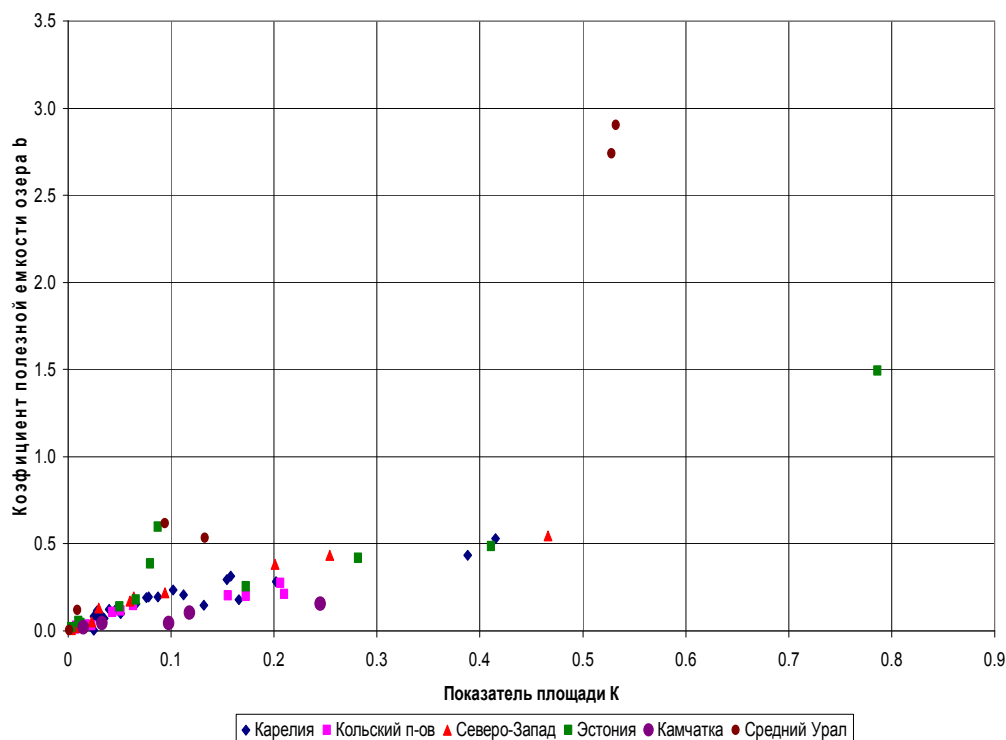


Рис. 1.2.1 Зависимость коэффициента полезной емкости озера от показателя его площади K

Амплитуда колебания уровня воды за любой интервал времени, от которой напрямую зависит величина коэффициента β , в свою очередь

зависит от входящих в формулу параметров, что наглядно продемонстрировано в работе А.В.Фролова [21]. Применяя динамико-статистические модели для описания притока в озеро, стока из него, используя морфометрические параметры озера и его водосбора, автор производит расчеты амплитуды колебания уровня. Кратко формулируя выводы А.В.Фролова, а также дополняя их другими авторами, получаем следующую картину: с увеличением относительных размеров озера амплитуда уменьшается за счет расплывания паводочной волны по площади зеркала; при росте величин стока или испарения она увеличивается [4,20,25,28] в первом случае за счет увеличения среднего и высшего уровня, во втором - за счет снижения низшего уровня воды в озере; увеличение регулирующей способности водосбора - покрытости его рыхлыми породами и грунтами [22,23,37,44], - приводит к снижению амплитуды (например, расположенное в мощных отложениях песков оз. Пильгу имеет при значительном стоке $M_0=15$ л/с*км² едва заметные колебания уровня - 0.1 м); аналогичный эффект наблюдается при увеличении пропускной способности истока из озера при истечении воды по нескольким руслам.

Таким образом, оперируя фактическими величинами амплитуды колебаний уровня воды озер, неправомерно связывать их либо только с зональными составляющими водного и теплового балансов [5,11,12,34,39], либо с азонными факторами формирования стока [1,4,19,20], т.к. различия колебаний уровня разных озер обусловлены как зональными и региональными изменениями водности их бассейнов, так и различиями в слагающих бассейны породах и в характере истечения воды из озер. К последнему фактору, который с некоторыми оговорками можно отнести к случайным явлениям, принадлежат заторно-зажорные явления, подпруженность истока впадающими ниже озера притоками, или расположенными ниже, мелкими, сильно проточными озерами, на которых паводочный и весенний подъем уровня происходит значительно

быстрее, чем на рассматриваемом водоеме, зарастание или захламленность русла реки, берущей начало из озера [16,60].

Предлагаемая методика сравнения коэффициентов не фактической полезной емкости β , а метровой призмы слива $\beta_{ед}$, позволяет выявить зональные закономерности озерного регулирования. Коэффициент единичной призмы слива $\beta_{ед}$, назовем его коэффициент единичной емкости, уже не зависит от величины амплитуды, а только от относительных размеров озера и водности вытекающей реки:

$$\beta_{ед} = \frac{\beta}{A_{ср}} = \frac{K_{ср} * 1000}{(1 + K_{ср} * M_{ср} * T_o)} \quad (1.2.1)$$

Итак, для возможности сравнения коэффициентов полезной емкости озер разных климатических зон с целью выявления зональных различий, вызванных разницей в величинах потерь стока из озера на испарение с водной поверхности, предлагается производить сравнение коэффициентов единичной, т.е. 1-метровой, призмы слива $\beta_{ед}$.

1.2.1 Зональные характеристики изменения $\beta_{ед} = f(K_{ср})$

Произведем упомянутое в предыдущем параграфе сравнение коэффициентов единичной емкости озер двух разных регионов. Зависимость $\beta_{ед} = f(K_{ср})$ имеет совершенно определенный вид для озер одного региона (рис.1.2.1.1). На графике использованы 11 озер Кольского п-ва и 12 озер Эстонии (табл.1 Приложения). Для наведения представленной абакки точек явно маловато, но она и не строится по точкам, а рассчитывается для всего интервала наблюдаемых модулей стока в расчетном районе через региональную зависимость $\beta_{ед} = f(K_{уд})$, рассмотренную в параграфе 1.2.2. Цифры у точек соответствуют значению модуля стока из водоема по таблице 1 Приложения. Отклонения точек от кривых практически отсутствуют, т.к. с

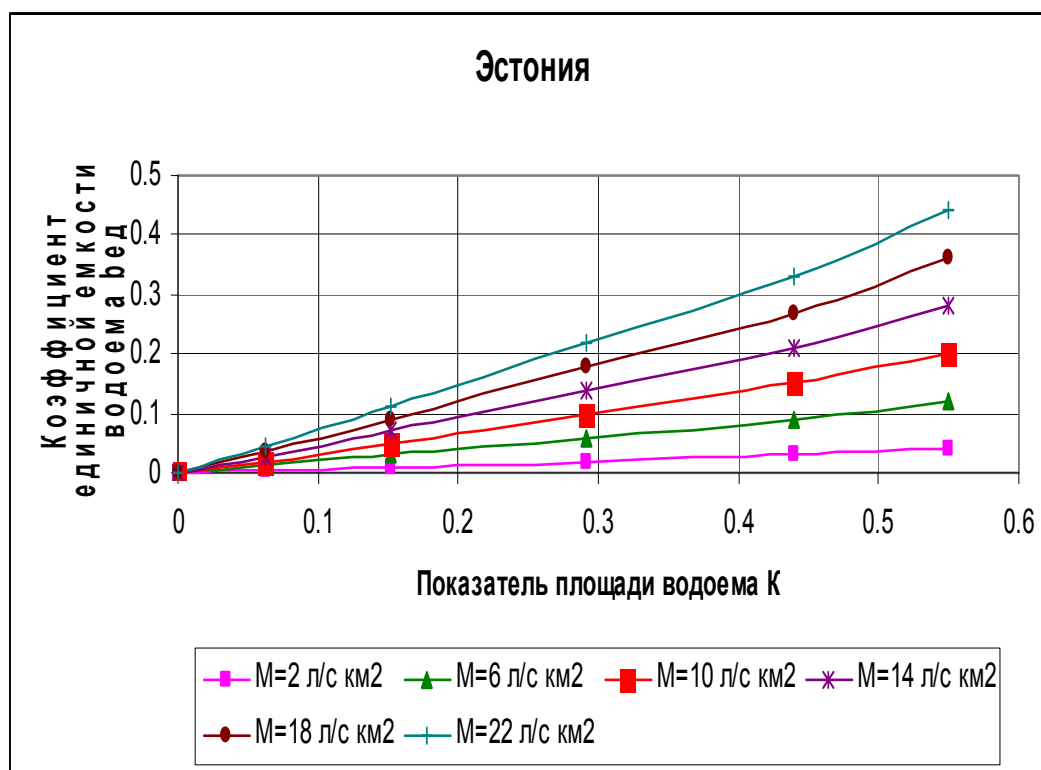
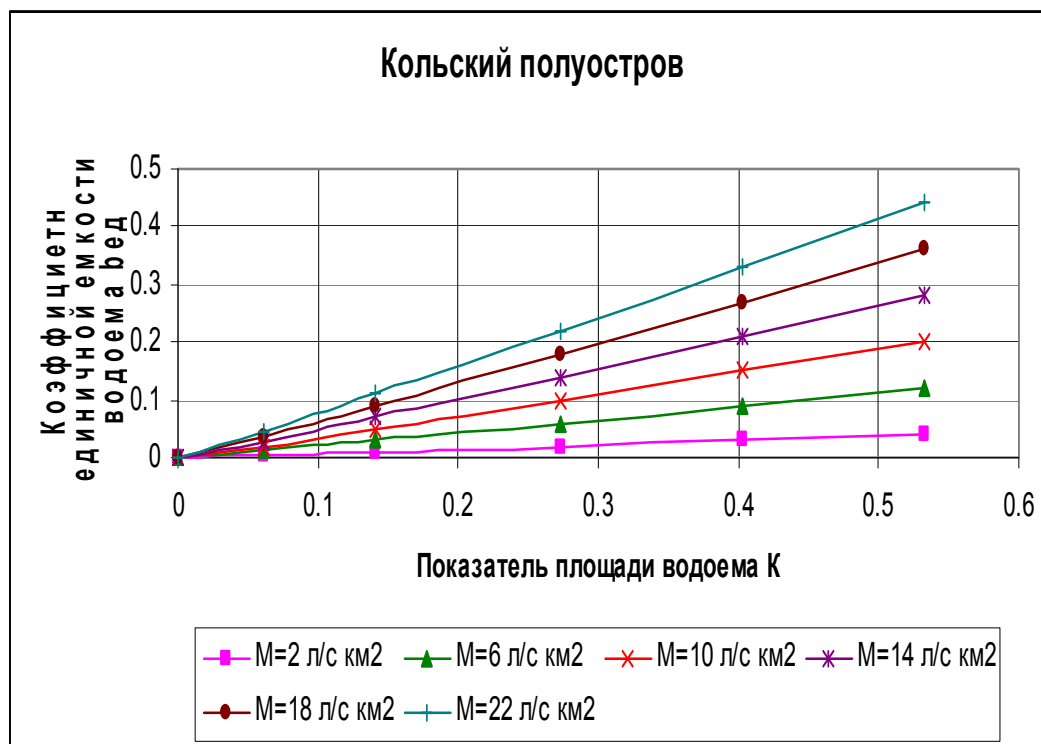
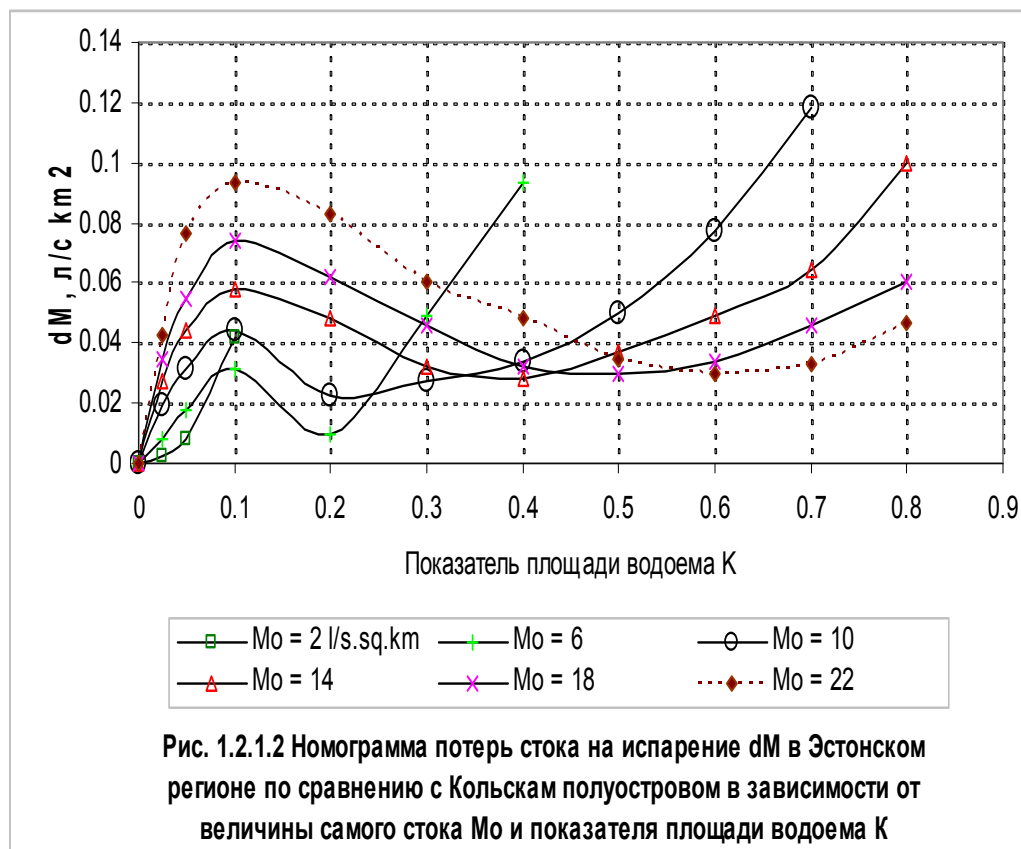


Рис. 1.2.2.1 Зависимость $\beta_{ед} = f(K_{уд})$ для озер Кольского полуострова и Эстонии

устранением четвертой переменной - A_o , - связь становится функциональной, т.к. в построении зависимости $\beta_{ед} = f(K_{ср}, M_o)$ участвуют все параметры, входящие в формулу.

Это заставляет предположить, что существует определенное, обусловленное климатом соотношение между величиной стока, относительными размерами озера и амплитудой колебания его уровня, которое определяется зональной величиной потерь стока на испарение как с водосбора, так и с зеркала озера. Именно величина испарения определяет различия для зависимостей разных зон, а не осадков, так как среднее многолетнее количество осадков по данным Справочника по климату СССР в таких разных регионах, как Кольский п-ов, Эстония и Средний Урал, примерно одинаково (591, 628 и 584 мм соответственно), тогда как средняя годовая температура воздуха (-1.1, 4.7 и 0.8°C) и, следовательно, величины испарения, отличаются существенно. Другими словами, при одних и тех же относительных размерах озера и одинаковом коэффициенте единичной емкости $\beta_{ед}$ сток из озера будет больше в более северном регионе. И разница эта будет соответствовать разнице зональных значений испарения. Интересен в этом плане тот факт, что зависимость $\beta_{ед} = f(K_{ср})$ одинаково справедлива как для естественных, так и для искусственных водоемов региона с неискаженным тепловым режимом, т.е. для тех водохранилищ, которые не используются в качестве водоемов-охладителей. Такое исключение объясняется только определяющей ролью испарения в количественных соотношениях рассматриваемых характеристик, т.к. именно испарение с водоема-охладителя является азональным фактором, следствием влияния которого будет уменьшение стока, отклонение амплитуды колебания уровня воды и т.п.

Зависимость разницы удельных потерь стока на испарение (на каждый метр колебания уровня воды озера) между водоемами Кольского п-ва и Эстонии, полученная расчетным путем из двух предыдущих (рис.1.2.1.2), позволяет изучить характер изменения стока, вызванный



зональными изменениями соотношения испарения с водной поверхности и водосбора. Интересен неодинаковый характер потерь при разных величинах стока из озера. Так, при $M_{ср} = 22$ л/с км² зависимость изменения потерь стока от $K_{ср}$ имеет синусоидальный характер с увеличением относительных размеров озера. При этом, своего максимума она достигает при $K_{ср} = 0,1$. При $M_{ср} = 2$ л/с км² потери стока просто очень резко возрастают с ростом $K_{ср}$, приводя, скорее всего, к пересыханию истока из более южного - эстонского в данном примере, - водоема при значениях $K_{ср}$, превышающих 0,1. Синусоидальный характер зависимости разницы в потерях стока на испарение между двумя регионами при возрастании показателя площади водоема, вероятно, можно объяснить различиями в соотношениях между испарением с воды и с водосбора в различных климатических зонах при разных значениях $K_{ср}$. Возможно, имеют значение соотношения средних сроков установления снежного покрова на водосборе и ледового покрова на озере, соотношения температур воды и воздуха в сочетании с

величиной стока: высокий модуль стока говорит о наличии грунтового или подземного питания, а это в зависимости от размеров озера определяет и температуру воды в нем, и величину испарения, и т.д. Точное объяснение такому характеру зависимости могут дать лишь специальные дополнительные воднобалансовые или специальные исследования.

Расчет зависимости на рисунке 1.2.1.2 производится следующим образом. Разница в величинах $\beta_{ед}$ между двумя рассматриваемыми районами (рис.1.2.1.1), соответствующая одинаковым значениям $K_{ср}$ и M_o , соответствует также амплитуде в 1 м (т.к. разница между $\beta_{ед}$). Следовательно, ΔM может быть найдено из формулы 1.1.1 при известных $\Delta \beta_{ед}$, $K_{ср}$ и $A_o=1$, соответствующее определенной величине модуля.

Таким образом, сравнение расчетных зависимостей $\beta_{ед}=f(K_{ср})$ двух разных регионов позволяет рассчитать разницу в величинах удельных потерь стока на испарение между этими регионами в зависимости от показателя площади водоема $K_{ср}$. Характер же этой зависимости определяется величиной поверхностного стока из озера.

1.2.2 Закономерности изменения $\beta_{ед} = f(K_{уд})$

В предыдущем параграфе показано, что зональные различия коэффициентов единичных емкостей, вызванные разными величинами испарения с водной поверхности, в равной степени определяются и азональными значениями стока. Поэтому следующим шагом для выявления зональных закономерностей стала попытка устранения различий в стоке внутри одной зоны, вызванных азональными факторами (особенностями рельефа, подстилающих почво-грунтов, растительностью и т.д.), т.к. ими тоже можно объяснить существующие различия как внутри зоны, так и внутри района. По аналогии с нормализацией β по амплитуде колебания уровня озер в целях возможности сравнения - приведением ее к 1м, возможна нормализация

коэффициента емкости и по величине стока, а именно: использование в зависимости не $K_{ср}$, а некий условный параметр $K_{уд}$, равный отношению $K_{ср}$ к величине стока:

$$\beta_{ед} = f(K_{уд}), \quad (1.2.2.1)$$

где

$$K_{уд} = 1000 \cdot K_{ср} / M_o \quad (1.2.2.2)$$

Именно эта зависимость коэффициента единичной емкости озера от удельного показателя водоема и будет отражать только зональные соотношения входящих в нее характеристик.

Если $\beta_{ед}$ представляет собой объем во всех случаях одинаково мощной - 1м, - призмы слива озера, отнесенной к объему стока из этого же озера, то $K_{уд}$ представляет нормированное отношение площадей, характеризующих как относительный размер препятствия свободному протеканию реки и тем искажающего ее уровенный режим (распластывание волны), так и относительный размер иначе испаряющей площади, на которой происходит своеобразная задержка и искажение стока. Другими словами, $K_{уд}$ характеризует соотношение площадей притока и трансформации в каждом литре прошедшего эту трансформацию стока, а $\beta_{ед}$ - соотношение объемов притока и стока с учетом потерь на испарение. Положение каждой региональной кривой на графике будет определяться величиной неучтенных в формуле потерь стока на испарение: чем больше потери, на каждый литр стока, тем выше положение кривой.

В таблице 1.2.2.1 приведены координаты региональных кривых $\beta_{ед}=f(K_{уд})$ для озер нескольких районов бывшего СССР, построенных по многолетним данным.

Зависимость $\beta_{ед} = f(K_{уд})$ (рис. 1.2.2.1) является универсальной для всех естественных и искусственных водоемов с ненарушенным температурным режимом. Это означает, что на кривую, построенную для расчетного района по нескольким изученным водоемам, должны лечь точки по всем другим неизученным водоемам, характеристики гидрологического режима которых определяются каким-либо расчетным способом.

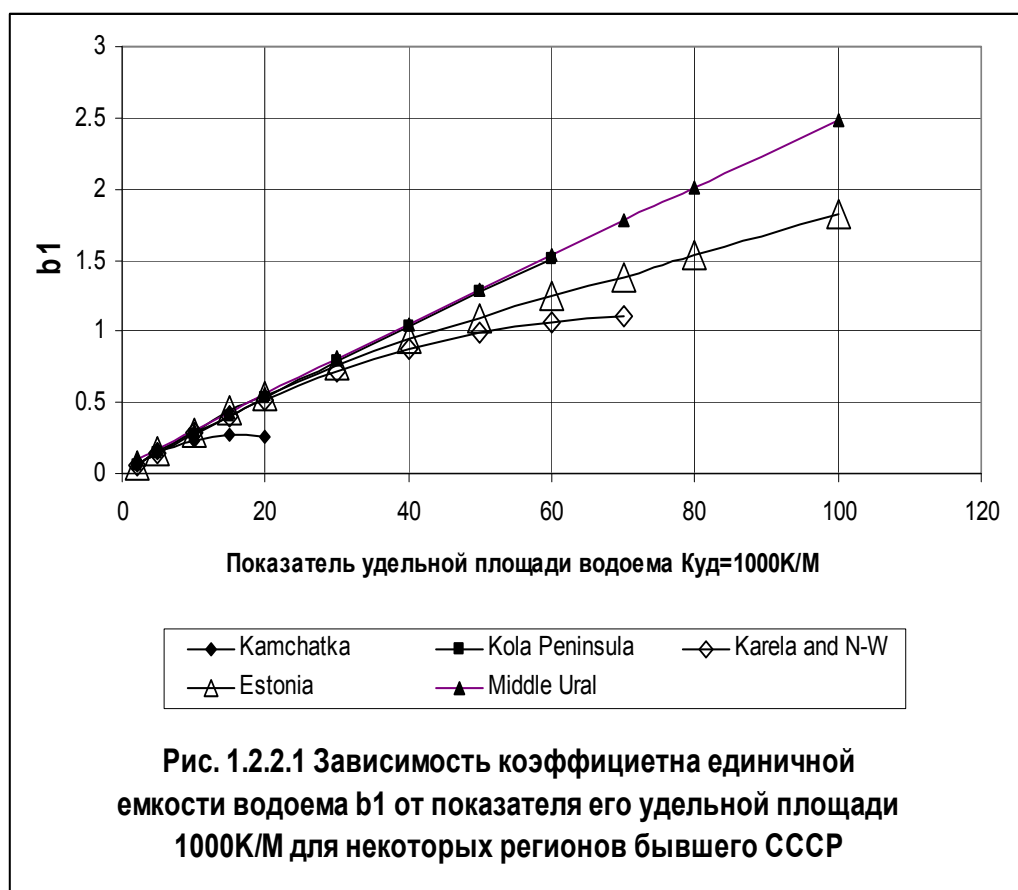
Таблица 1.2.2.1

Региональные зависимости $\beta_{ед} = f(K_{уд})$

Камчатка		Кольский полуостров		Карелия и Северо-Запад		Эстония		Средний Урал	
Куд	бед	Куд	бед	Куд	бед	Куд	бед	Куд	бед
0.062	2	0.062	2	0.063	2	0.063	2	0.103	2
0.144	5	0.141	5	0.148	5	0.152	5	0.178	5
0.236	10	0.273	10	0.281	10	0.291	10	0.304	10
0.273	15	0.403	15	0.405	15	0.44	15	0.429	15
0.255	20	0.532	20	0.518	20	0.55	20	0.554	20
		0.785	30	0.715	30	0.76	30	0.802	30
		1.032	40	0.872	40	0.945	40	1.048	40
		1.273	50	0.989	50	1.09	50	1.292	50
		1.508	60	1.066	60	1.25	60	1.534	60
				1.103	70	1.385	70	1.774	70
						1.54	80	2.012	80
						1.83	100	2.482	100
								4.712	200
								6.742	300
								8.572	400
								10.2	500
								11.63	600

Другими словами, региональная зависимость $\beta_{ед}=f(K_{уд})$ может служить своеобразным критерием истинности произведенных независимых оценок средних многолетних величин стока из озера и амплитуды колебания его уровня. Попробуем это доказать на примере Эстонии - достаточно ли чувствительна зависимость $\beta_{ед}=f(K_{уд})$ для этого.

Не требует особых доказательств утверждение о том, что понятие района как территориальной климатической единицы, в границах которого действует одна кривая, весьма условно, поскольку величина испарения с поверхности водоема и водосбора изменяется плавно с севера на юг, а иногда и с запада на восток [14,49].



Но для Эстонии это понятие вполне конкретно, т.к. данная территория имеет естественные водные границы на юго-западе (пересечение государственной границы с береговой линией Рижского залива), на юго-востоке (пересечение государственной границы с береговой линией

оз.Теплого), южной границей данного региона являются возвышенности Хаанья и естественные водоразделы между водотоками, несущими свои воды на эстонскую и латышскую территории. Разумеется, даже в пределах этой небольшой территории величина испарения с водной поверхности может изменяться довольно существенно в зависимости от размеров, ориентации, закрытости испаряющей поверхности и метеорологических условий на расчетном озере за конкретный интервал времени. Грубую количественную оценку пространственной изменчивости величины испарения по территории Эстонии могут дать сумма существующих оценок пространственной изменчивости температуры и осадков по территории Эстонии. Пространственная изменчивость термического режима, выраженная величиной индекса континентальности по территории Эстонии составляет 7% [14]. А 2/3 всей пространственной изменчивости годовых сумм осадков в Эстонии (составляющей 21%) характеризующейся равнинным характером рельефа, по данным Я.Яагуса [47] обусловлены именно орографией территории, а также удаленностью от моря и затем характером подстилающей поверхности. Это значит, что на долю чисто зональных колебаний величины испарения по территории Эстонии приходится только 1/3 от 21%, т.е. еще 7% к уже имеющимся температурным. Итого 14%.

Таким образом, Эстонию можно принять за территориальную единицу, внутри которой нет заметных (выше 10-15%) зональных изменений величины испарения с поверхности воды, и, следовательно, всякие отклонения гидрологических характеристик от региональных норм и средних, приводящие к подобным отклонениям от кривой - результат влияния тех факторов подстилающей поверхности, которые определяют и изменяют зональное соотношение между испарением с озера и его водосбора.

Для проверки чувствительности предлагаемой зависимости в рамках данного метода были использованы шесть озер Эстонии и

Северо-Запада ЕТС бывшего СССР, расположенных в близких климатических условиях (в радиусе 100 км), т.к. среди только эстонских озер, а необходимы озера, по которым имеются данные наблюдений за уровнем, стоком из них и кривая площади озера от уровня воды в нем, требуемого количества озер нет. Исходным периодом для определения расчетных зависимостей был выбран 1962-69 гг, т.к. в это время, все шесть озер имели полный комплекс наблюдений и естественный гидрологический режим (табл.1.2.2.2).

Таблица 1.2.2.2

Гидрологические характеристики водоемов, относящихся к контрольному району за 1962-69 гг

Название водоема	Площадь водосбора, км ²	К _{ср}	А _о , м	Мо, л/с*км ²
Оз. Выртсъярв	3374	0.0855	1.37	6.21
Оз. Чудско-Псковское	47815	0.0794	1.14	5.81
Оз. Ведлозеро	619	0.103	1.29	12.4
Оз. Сям-озеро	1314	0.257	0.55	10.0
Оз. Самро	127	0.467	0.41	6.31
Оз. Черменецкое	511	0.0295	0.99	6.01

На рисунке 1.2.2.2 изображена зависимость $\beta_{ед} = f(K_{уд})$ для выбранного "контрольного" района, частично перекрывающего Эстонию, построенная по данным наблюдений за указанный период. Самым северным является Ведлозеро. Сям-озеро и Самро расположены недалеко от северо-восточной границы Эстонии, озеро Выртсъярв - практически центр Эстонии, Черменецкое - 50-60 км в юго-восточном направлении от границ Эстонии, а озеро Чудско-Псковское - центр рассматриваемого района, является восточной границей Эстонии. Итак, район в радиусе 100 км от восточной границы озера Чудско-Псковского.

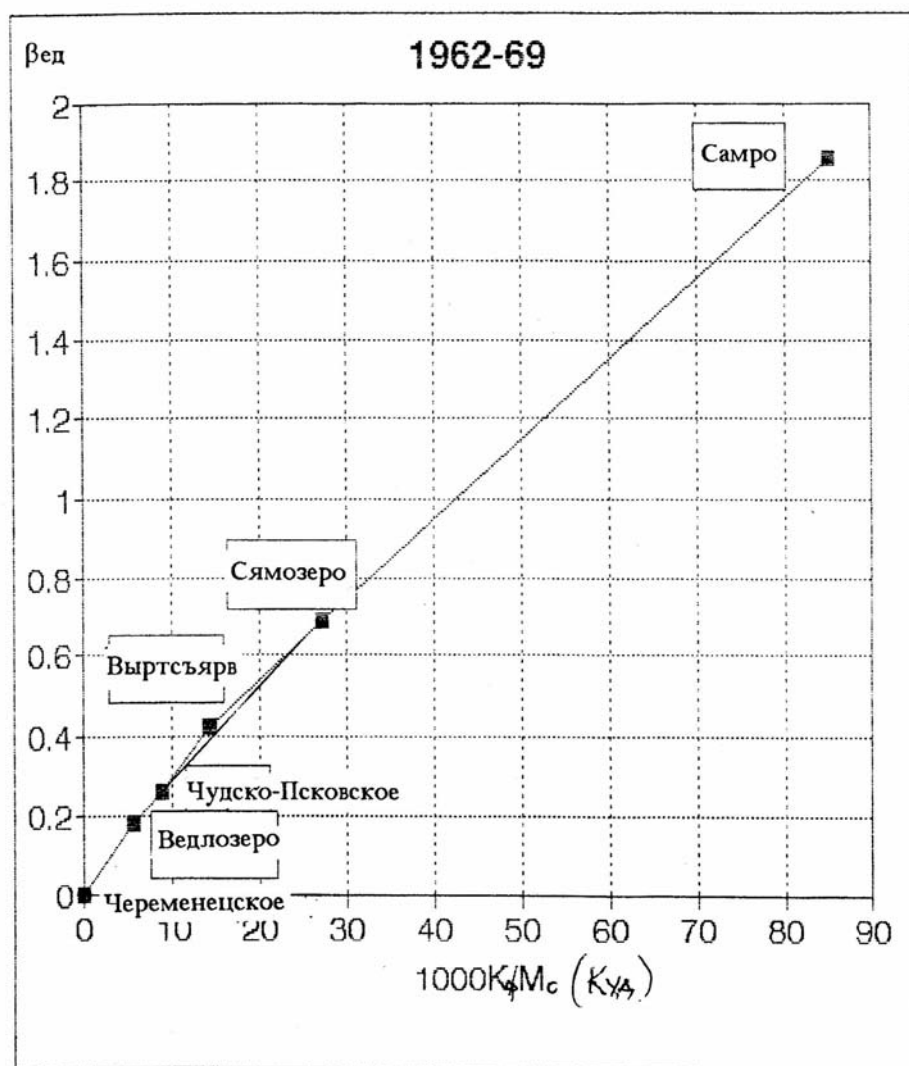


Рис.1.2.2.2 Зависимость $\beta_{ед}=f(K_{уд})$ для "контрольного" района.

Зависимость представляет очень плавно изменяющуюся кривую, которая говорит об очень близких значениях удельных потерь стока на испарение. Чуть заметно выделяется точка, принадлежащая озеру Выртсъярв, единственному, расположенному целиком на территории Эстонии. Это говорит, во-первых, о достаточной чувствительности метода, во-вторых, о возможности проверки однородности данной выборки озер с помощью зависимости $\beta_{ед}=f(K_{уд})$.

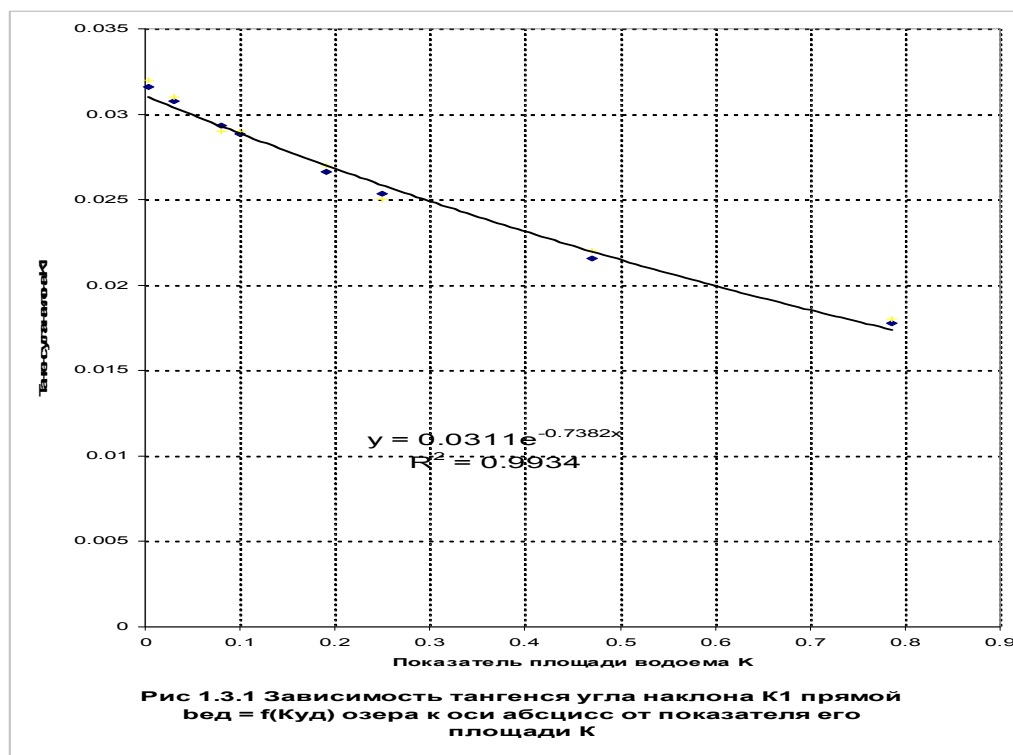
1.3 Временные изменения единичной емкости водоема $\beta_{ед} = f(K_{уд})$

Для выявления временной изменчивости обнаруженных закономерностей были использованы те же шесть озер Эстонии и Северо-Запада Европейской территории бывшего СССР, которые рассматривались в предыдущей главе.

По каждому из этих озер были определены среднегодовые, а по Чудско-Псковскому и Выртсъярв и месячные величины $K_{ср}$ (по среднегодовому и среднемесячному уровню), β , $\beta_{ед}$ и $K_{уд}$ (табл.2 Приложения). Для каждого озера по этим данным были построены зависимости $\beta_{ед} = f(K_{уд})$ (рис.1-6 Приложения), которые имеют вид прямой линии с разным наклоном к оси абсцисс (угол α). Тангенс угла α , обозначим его K_1 , определяется величиной показателя площади водоема $K_{ср}$ (рис.1.3.1) и может быть рассчитан по формулам:

$$\text{для годовых величин} \quad K_1 = 1/((1+K_{ср}) * T_0), \text{ где } T_0=31,54 \quad (1.3.1)$$

$$\text{для месячных величин} \quad K_1 = 1/((1+K_{ср}) * T_0), \text{ где } T_0=2,63 \quad (1.3.2)$$



Размер параметра T_0 в формулах при расчетах за конкретные месяцы и годы соответствует количеству миллионов секунд в расчетный год (високосный - невисокосный) или месяц.

Таким образом, зависимость $\beta_{ед} = f(K_{уд})$ для отдельного озера представляет прямую линию, имеющую наклон к оси абсцисс, определяемый величиной относительных размеров озера ($K_{ср}$).

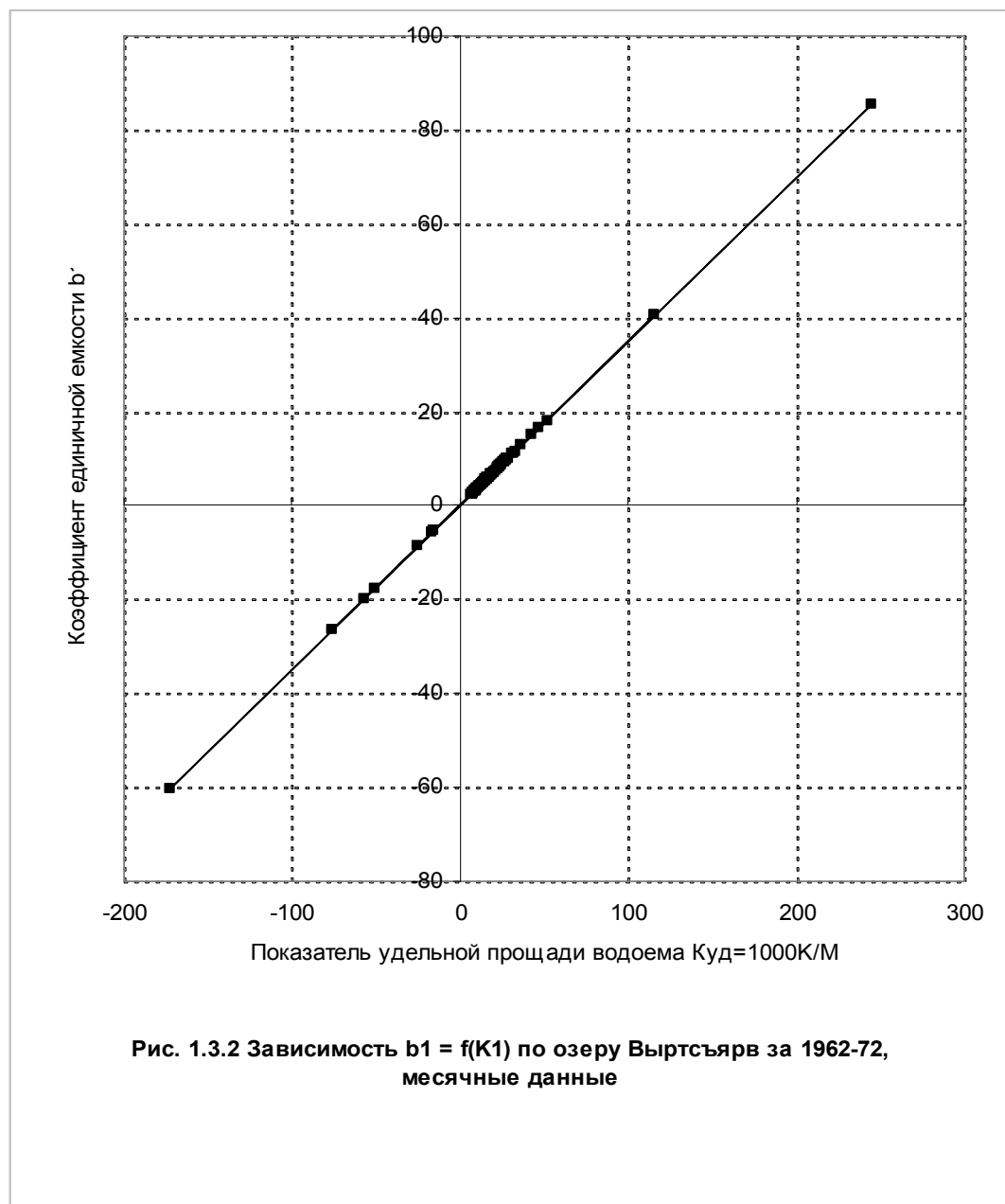
На рисунке 1.3.1, помимо упомянутых шести озер, приведены еще два - оз. Пангоди и оз. Кирувере (Эстония) с большими значениями $K_{ср}$. Столь различный характер зависимостей, вероятно, обусловлен большими потерями стока на испарение из озера с большим показателем площади водоема. Третья переменная - A - появляется у озер с $K_{ср} > 0.1$ и ее влияние нарастает с дальнейшим ростом относительных размеров озера.

Уравнение (1.3.1) дает возможность рассчитать K_1 для всех эстонских озер, по которым имеются сведения о показателе площади водоема $K_{ср}$ (табл.3 Приложения), и тем самым получить по каждому из этих озер прямую, которая будет являться своеобразным контролем правильности соотношений годовых или месячных (в зависимости от выбора) значений стока из озера, амплитуды колебания его уровня и показателя площади водоема.

Форма региональной кривой $\beta_{ед}=f(K_{уд})$ за расчетный интервал времени будет зависеть от того, насколько разнообразны значения стока за этот период из выбранных для построения кривой озер. Чем больше пространственная изменчивость стока, тем более зигзагообразной будет кривая (рис.7-14 Приложения).

В каких пределах могут колебаться, например, месячные величины единичной емкости и $K_{уд}$ иллюстрирует $\beta_{ед} = f(K_{уд})$ для озера Выртсъярв, построенная по месячным данным (рис.1.3.2). Это значит, что при построении районной кривой $\beta_{ед}=f(K_{уд})$ по месячным данным, точки, принадлежащие оз.Выртсъярв, будут отскакивать в соответствии с рис. 1.3.2.

В истоке из озера наблюдаются обратные течения, и месячные величины стока в периоды половодья и осенние подъемы уровня из-за этого бывают отрицательными. На годовые величины стока обратные течения не вскаываются (рис.2 Приложения), т.к. с исчезновением



подпора от впадающего ниже озера притока, со спадом уровня в нем вся вода, накопленная в озере за период подпора, сбрасывается.

Явление обратного течения из реки в озеро не является чем-то исключительным в условиях холмистого равнинного рельефа, т.к.

ситуация впадения притока ниже озера с более крутого и возвышенного холма, чем водосбор самого озера, - явление вполне частое в природе. Из рассмотренных шести озер с подобным явлением два. Похожая ситуация имеет место в озере Черемнецком с той разницей, что более мощный приток впадает в озеро более мелкое, расположенное чуть ниже по течению вытекающей из озера Черемнецкого реки.

И если в зависимости удельных величин переменный подпор лишь резко увеличивает интервалы изменения величин β ед и Куд, не искажая характера прямой, то зависимость $\beta=f(K_{cp})$ для единичного озера теряет четкость. Так, для озера Самро (рис.1.3.3а), для которого переменный подпор - явление редкое, зависимость имеет вполне четкий вид от третьей переменной - A , - амплитуды колебания уровня за расчетный интервал времени, тогда как для озера Выртсьярв (рис. 1.3.3б) она лишь обозначена неким изогнутым полем точек с общей тенденцией зависимости от амплитуды. Но озеро Выртсьярв, с его обратными течениями, явление все же неординарное.

Ход же уровня в истоке из Чудско-Псковского озера, как и любого другого, может быть подвергнут определенной "чистке", т.е. подпорные уровни могут быть срезаны, и тогда зависимость будет иметь такой же вид, как и у озера с отсутствием подпорных явлений. Для таких озер зависимость может быть подвержена дальнейшим манипуляциям, а именно: принимая закрепленные графиком соотношения β , A_0 и K_{cp} , нетрудно рассчитать соответствующие значения M_0 . Таким образом получить расчетные зависимости $M_0=f(K_{cp}, A_0)$ (рис.1.3.4 а,б). Нетрудно догадаться, что эти зависимости представляют собой некоторую модификацию зависимости $Q=f(H)$, применительно к истоку реки из озера.

К сожалению, автор не располагает достаточным количеством материала даже по тем шести отобраным озерам, чтобы попытаться каким-то образом найти зависимость между параметрами кривой и

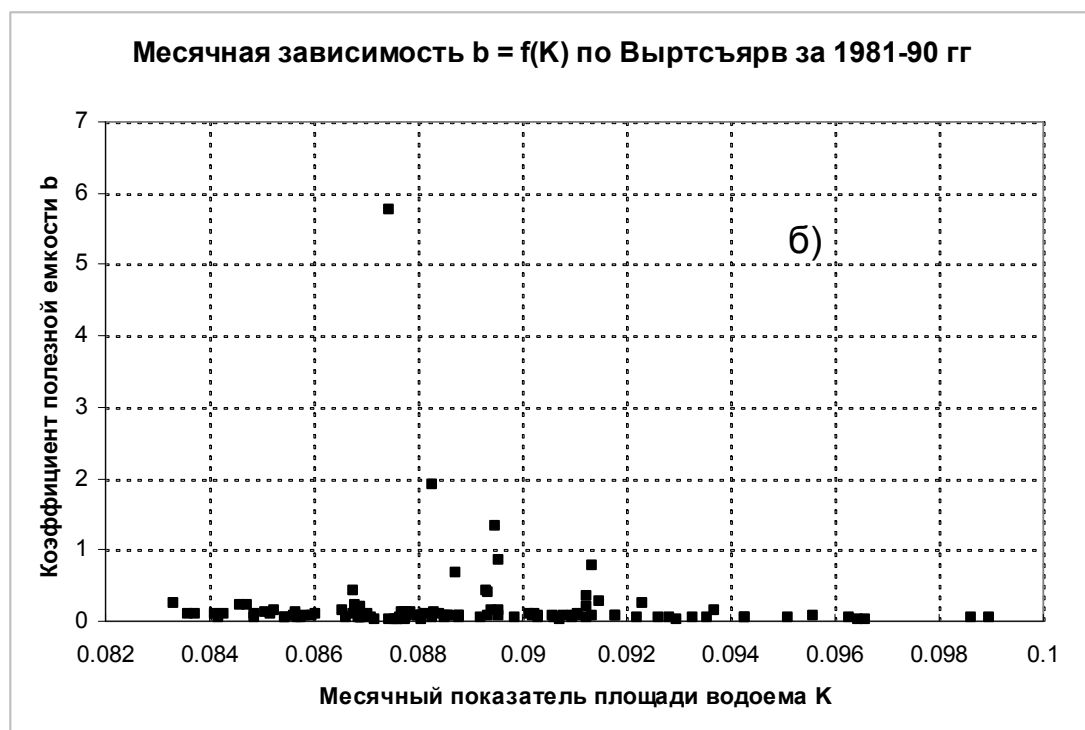
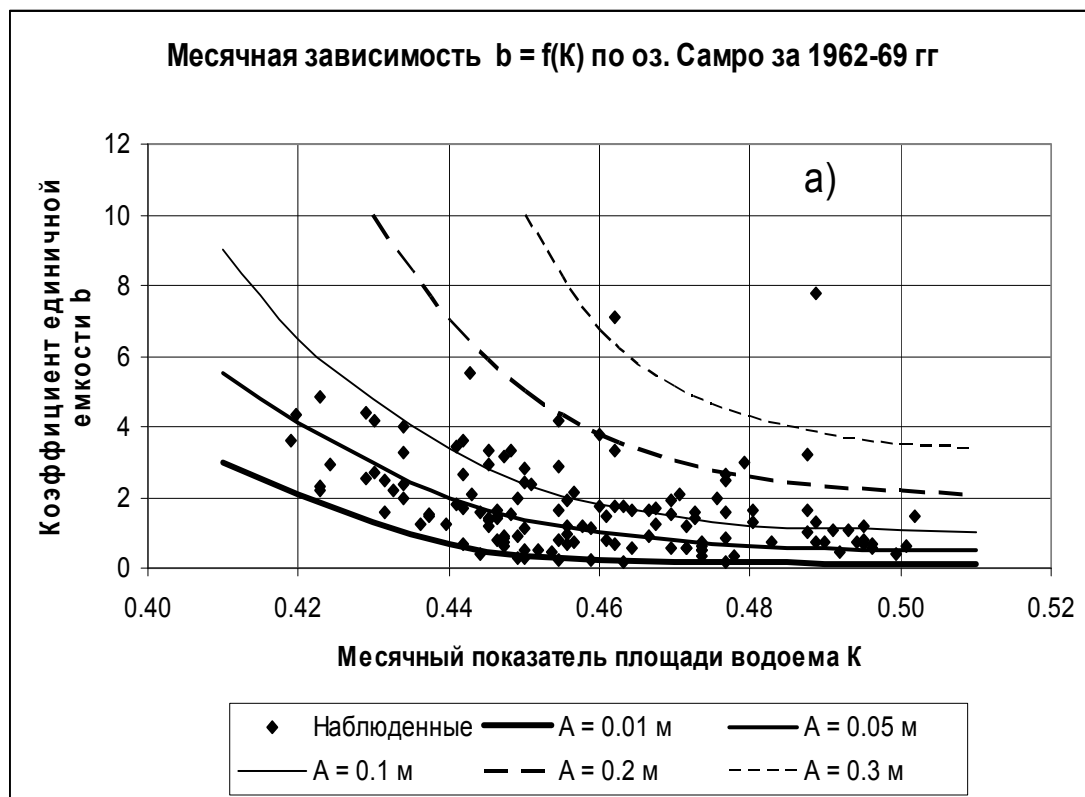


Рис. 1.3.3 Зависимость $\beta = f(K)$ по озерам Самро (а) и Чудско-Псковское (б) построенная по месячным данным за 1962-69 гг

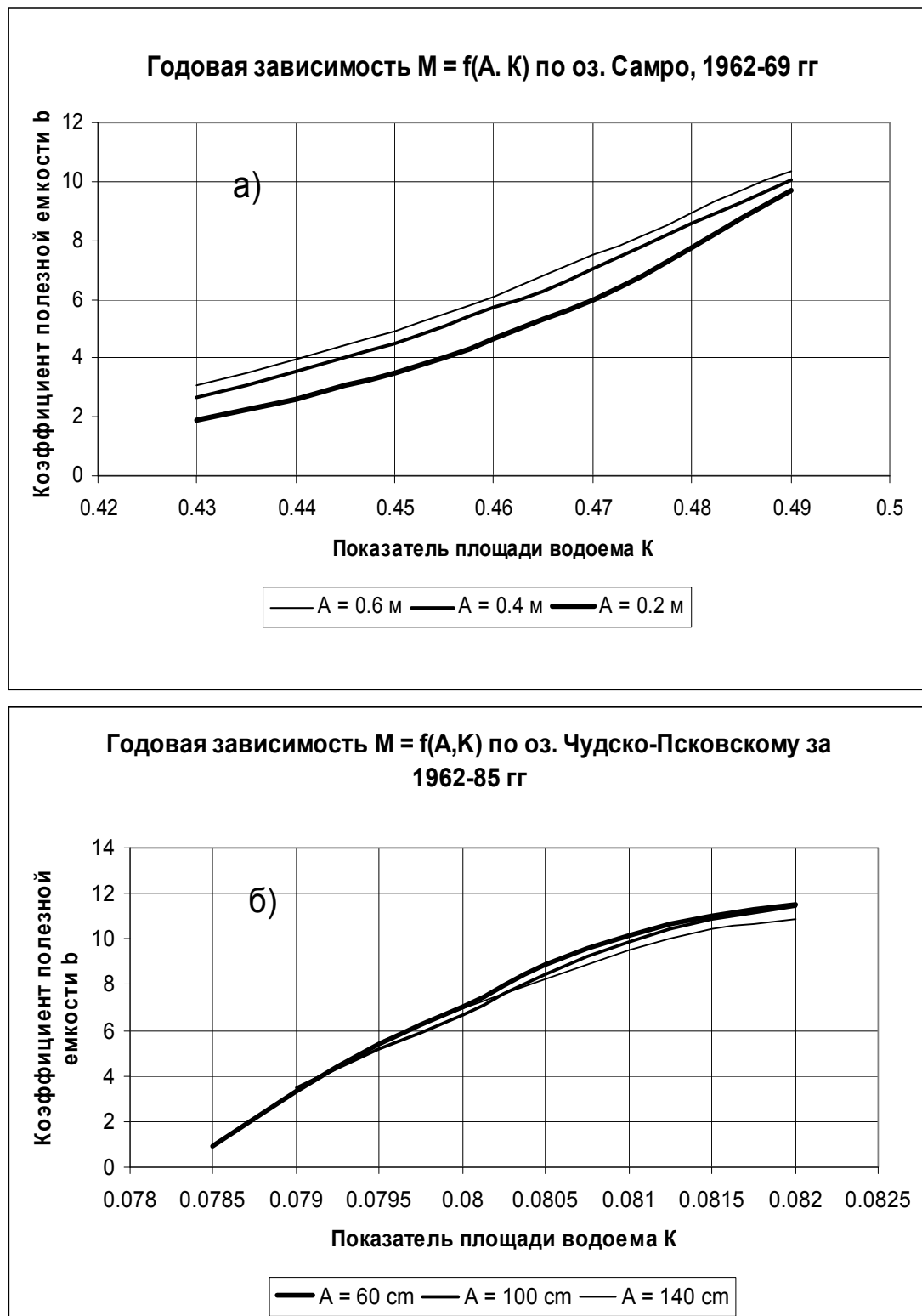
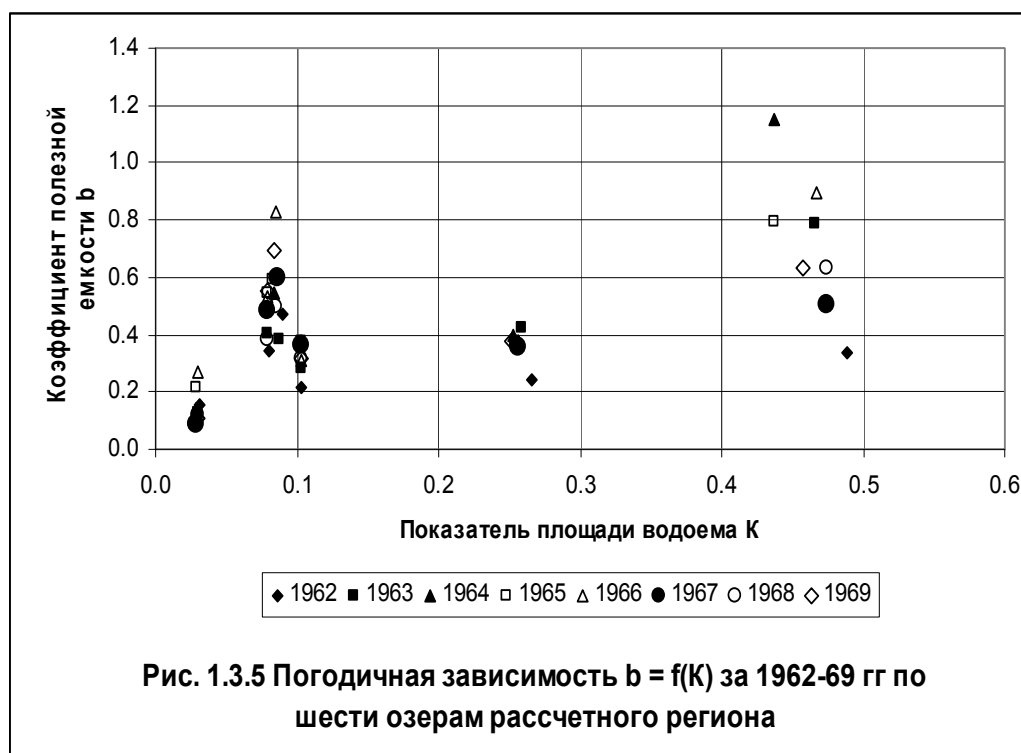


Рис. 1.3.4 Годовые зависимости $M = f(A, K)$ для озера Самро (а) и Чудско-Псковского (б)

относительными размерами озера. Тем не менее на этих двух примерах можно проследить некоторую тенденцию: чем больше величина $K_{ср}$ (имеются ввиду разные озера), тем заметнее влияние амплитуды в зависимости $M_o=f(K_{ср}, A_o)$. Кроме того, для погодичных данных (рис.1.3.4а) амплитуда влияет заметно, на месячных же данных ее влияние спорно (рис.15 Приложение), хотя величина месячного размаха колебаний уровня бывает близкой к годовой.

Подытоживая результаты исследований временных колебаний региональной зависимости $\beta_{ед}=f(K_{уд})$ следует отметить, что с сокращением расчетного периода нарастающую роль приобретает временная изменчивость стока. А этот показатель уже тянет за собой такие характеристики, как изменчивость осадков (в первую очередь), факторы подстилающей поверхности на водосборе: характер почво-грунтов, заболоченность, озерность, карст и т.д. [6,14,16,18,24,26,28,37,40, 46 и 50], а также особенности истечения стока из озера [16].

Но поскольку исходной зависимостью, для анализа и правильности построения которой, велись исследования, изложенные в этой главе, является зависимость $\beta=f(K_{ср})$, то интересна и ее временная изменчивость. На рис.1.3.5 представлена зависимость $\beta=f(K_{ср})$ построенная по тем же шести озерам за период 1962-69г. На графике видно, что наивысшие величины β наблюдались в 1964 и 1966 годах, что в первом случае обусловлено низкой величиной стока, а во втором - большим размахом амплитуды. Причем, наивысшие сумма осадков в восточной части Эстонии в этот период (1962-67) приходится на 1962 и 1966 годы (737 и 755 мм соответственно), а наименьшая - 440 и 477мм - на 1964 и 65 гг. Наивысшая же температура воздуха наблюдалась в 1964 г (4.9°C), а низшая - 3.9° - в 1963 году. Средняя кривая за общий период 1962-69 годы уже не испытывает существенного влияния осадков, а только характера истока из озера (заметно отклоняются точки,



принадлежащие оз.Выртсъярв и Чудско-Псковскому), а также подстилающих почвогрунтов (озера Самро и Сямозеро характеризуются песчаными и гравелистыми грунтами, слагающими ложе и берега а также русла вытекающих из озер рек).

Таким образом, исследования временной изменчивости $\beta_{ед} = f(K_{уд})$ показали, что для конкретного озера эта зависимость представляет прямую линию и может служить критерием правильности определения расчетных характеристик стока и амплитуды за любой интервал времени. Районная же кривая с уменьшением расчетного интервала времени теряет свою плавность, увеличивая разброс точек в зависимости от изменчивости стока в рамках района за конкретный интервал времени. Единый интервал времени в 10 лет является достаточным для построения контрольной кривой, зависящей только от зональной величины испарения.

Зависимость $\beta = f(K_{ср})$ для отдельного конкретного озера со свободным (не подпертым) стоком из него может быть модифицирована в зависимость $M_o = f(K_{ср}, A_o)$. Для параметризации подобного перехода

по озерам с разными значениями $K_{ср}$ необходимы дополнительные исследования.

2. Применение предложенных методов для озер Эстонии

Для построения региональной кривой $\beta=f(K_{ср})$ для территории Эстонии изученных в требуемом для этого объеме озер явно недостаточно. Многолетняя информация имеется только по озерам Выртсъярв и Чудско-Псковское, но значения $K_{ср}$ для них очень близки, а для озера Рыуге, в истоке из которого с 1983 организован гидрологический пост, отсутствует кривая площадей в интервале колебания уровня воды. В связи с этим в работе произведен анализ и систематизация всех имеющейся данных по ранее изучавшимся озерам Эстонии для их использования при выявлении расчетных зависимостей и оценки гидрологического режима малоизученных и неизученных озер. Обобщенная информация по озерам, используемая в следующих главах, приведена в таблице 3 Приложения.

2.1 История исследований эстонских озер и их изученность

Самой первой попыткой систематизации данных по озерам Эстонии была работа Й.Румма "Площади озер и островов Эстонии", вышедшая в 1923-24 гг и содержащая список всех озер, которые были обозначены на верстовой карте республики, и сведения о площадях их зеркал.

Следующим из каталогов озер Эстонии, форма и содержание которого легли в основу большинства последующих, был "Список озер Эстонии", составленный Х.Рийге в 1934 г.. В списке этого каталога значится 1592 озера размером 0.3 га и более. В качестве основы использовались те же карты масштаба 1:42000, составленные в 1895-1913 гг российскими топографами, дополненные в 1920-22 гг Эстонским

военным отделом картографии, а затем уже специально для этой работы скорректированные в 1930 году. Данный список содержит сведения о номере листа карты, используемом в качестве исходного по каждому озеру, название уезда, на территории которого озеро расположено, длине, ширине и размерах площади водоема, его максимальной глубине, высоте над уровнем моря, характере проточности. Последовательность озер в списке определялась по порядку возрастания номера листа верстовой топографической карты, принцип расположения в гидрографической сети не использовался.

Следующим по хронологии справочником (1962 г), являющимся определенным этапом на пути каталогизации водных объектов Эстонии, были Гидрологическая изученность [35], включающая в себя сведения по 249 озерам площадью зеркала более 0.1 кв.км. Наряду со сведениями о площади водосбора каждого озера, суммарном количестве мелких озер, приводятся данные об общей озерности водосборов, принадлежности к бассейну вытекающей реки, их изученности. Достоинством этого справочника является гидрографический принцип размещения объектов в списке рек и озер, оценка величины площадей водосборов. Именно список озер этого справочника лег в основу списка, представленного в настоящей работе.

Почти одновременно с Гидрологической изученностью вышел "Список озер Эстонской ССР" И.Каска (1964 г) [53], в котором на основе уже другого картографического материала (планы сельхозрайонов, угодий), после масштабных мелиоративных работ, произведенных в период с 30-х по 50-е годы, даны уточнения и дополнения к списку Х.Рийге. В обновленном списке озер (нумерация сохранена прежняя) приводятся в дополнение к прежним сведения о длине береговой линии, коэффициенте развития береговой линии, средней глубине и объеме водоема, притоках и вытекающей из озера реки, цвете и прозрачности воды. Интересно, что новый список содержит гораздо меньше озер (1114), несмотря на то, что в нем более 60 новых искусственных

водоемов и более 100 береговых озер лиманного типа, пересыхающих в летнее время, не нашедших отражения в списке Х.Рийге. Большое количество мелких озер исчезли в результате осушительных работ, снижения уровня грунтовых вод, зарастания обмелевших водоемов (характерная черта Балтийского региона [16,32,54]).

"Каталог водосборов рек, ручьев и каналов Эстонии" был составлен в Эстмелиопроекте под руководством и при непосредственном участии К.Арукаеву в 1980 г [48]. В него вошли более 1700 водотоков, составляющих всю гидрографическую сеть естественного и большую часть искусственного происхождения. Список объектов составлялся по гидрографическому принципу, и, хотя он не касается непосредственно озер республики, с его помощью автором были уточнены площади большинства озер, помещенных в Гидрологической изученности, т.к. в Каталоге приводится площадь водосборов не только водотоков в целом, т.е. в их устье, но и в створах впадения в него каждого притока, пересечения русла реки шоссейными и железнодорожными линиями, а также в створах производства гидрологических наблюдений за всю историю существования гидрометеорологической службы в Эстонии.

Следующим источником информации явились две монографии, дающие дополнительные сведения описательного характера. Это монографии "Eesti jarved" 1967 г [48] и "Eesti NSV jarved ja nende kaitse" 1977 г [55], в которых наряду с уже перечисленными данными по гораздо меньшему количеству озер (530 и 150, соответственно) даны описания подстилающих грунтов и растительности на окружающей местности, происхождения, истории развития, особенностей гидрологического режима, влияния человеческой деятельности, гидро-химические характеристики водоемов и т.д. Именно эти монографии дополнили список озер из Гидрологической изученности рядом мелких озер ($F_{вдсб} < 0.1 \text{ км}^2$), размеры водосборов которых были определены при помощи Каталога К.Арукаеву.

2.2 Исходный материал для районирования коэффициента полезной емкости озер Эстонии (содержание таблицы 3 Приложения)

Таким образом, в результате изучения и критического анализа упомянутых выше публикаций, составлен список из 290 озер, по которым получена необходимая и достаточная информация для дальнейших исследований. Таблица содержит разнообразную информацию, являющуюся основой для расчетов и анализа. В таблице 3 Приложения сосредоточена следующая информация.

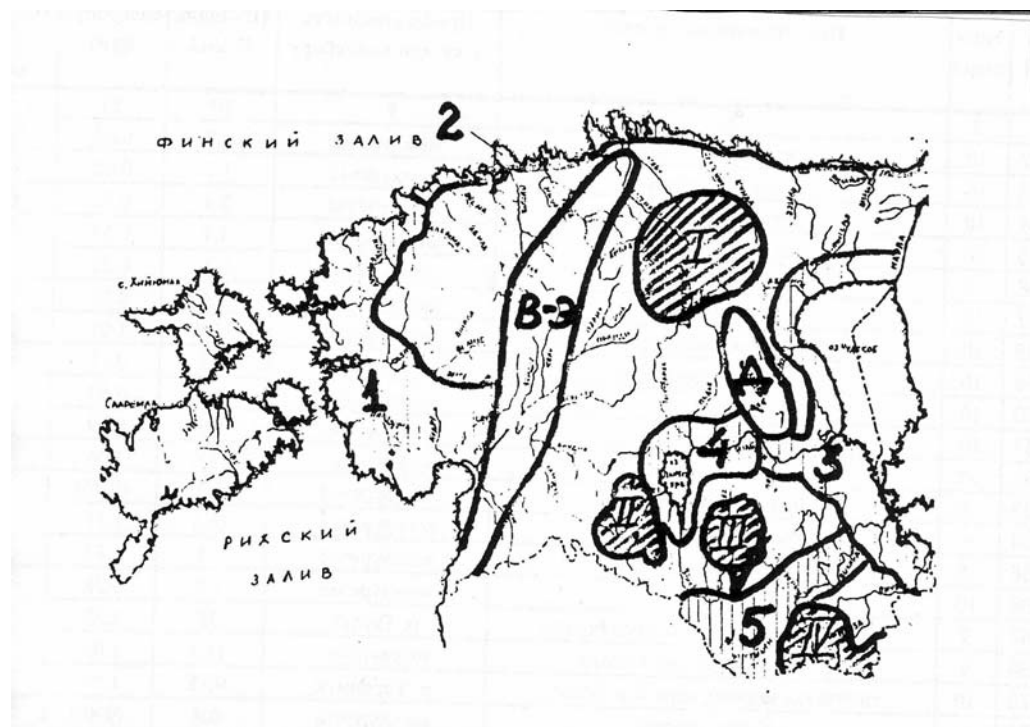
Графа 1. Номер по порядку списка (из списка исключены искусственные водоема, поэтому ряд номеров пропущен).

Графа 2. Название озера.

Графа 3. Номер, соответствующий списку И.Каска. По этому номеру можно очень легко найти данное озеро в списках И.Каска и Х.Рийге, дополнить и сравнить с той информацией, которая содержится в этих списках и отсутствует в настоящей таблице.

Графа 4. Название орографического или ландшафтного района, к которому принадлежит данное озеро, в соответствии с приведенными в Ресурсах вод СССР. К этим районам относятся: Западно-Эстонская равнина (Западн.Эстония), Северо-Эстонское плато (Северо-Эст. плато), Предглинтовая низина (Предглинт. низина), Возвышенность Пандивере (Возв. Пандивере), Низина Выртсъярв (Низина Выртсъярв), Платообразная возвышенность Сакала (Возв. Сакала), возвышенности Хаанья и Отепя (Возв. Хаанья и Возв. Отепя), низины Валга-Харгла-Выру (Валга-Харгла-Выру) и озера Чудско-Псковского (Чудско-Псков. низина), а также Вахе-Ээсти (Вахе-Ээсти) - территория, в переводе именуется Промежуточной Эстонией, вытянутая вдоль границы Низинной и Возвышенной Эстонии, изобилующая болотами, заболоченными лесами и лесами, и Саадъярвское друмлиновое поле

(Друмлиновое плато) - пересеченная древними погребенными долинами местность (рис. 2.2.1).



Условные обозначения: 1 - Западно-Эстонская равнина, 2 - Предглинтовая низина, 3 - низина оз.Чудско-Псковского, 4 - низина Выртсъярв, 5 - низина Валга-Харгла-Выру; I - возвышенность Пандивере, II - возвышенность Сакала, III - возвышенность Отепя, IV - возвышенность Хаанья; В-Э - Вахе-Ээсти, Д - Саадъярвское друмлиновое поле.

Рис.2.2.1. Карта основных орографических и ландшафтных районов Эстонии.

Графа 5. Название озерной системы, к которой принадлежит данное озеро. Пропуск означает, что озеро одиночное и не принадлежит к какой-либо озерной системе.

Графа 6. Высота уровня озера над уровнем моря в м БС..

Графа 7. Номер типа озера по условиям образования, дан в соответствии со следующим списком [8, 57] (само название типа приведено в графе 16 таблицы) :

1 - озера термокарстовые, образовавшиеся на месте глыб мертвого и погребенного льда. Расположены в ложбинах между моренными холмами и камами; часто соседствуют с озерами краевых ледниковых образований (см. тип 7); в списке их 19 (6.5%); к ним относятся некоторые озера системы Куртна-Консу на Северном плато, озерные системы Пяйдла и Отепя на возвышенности Отепя, озерные системы Карула, Нохипалу, Антсла и Паганамаа также принадлежат к озерам этого типа;

2 - озера, связанные с глубокими погребенными долинами в моренных породах. В списке их 33 (11.4%), все они расположены в южной части республики. Отличаются расчлененной береговой линией, средние глубины как и у термокарстовых озер колеблются в пределах 0.9-7 м, рельеф дна разнообразный, площадь зеркала - от 0.5 до 84.1 км² (оз.Мурати). Представителями этой группы являются озера системы Хаанья (возв.Хаанья), система Мяэкюла-Мути, озера Икепера и Нуудсаку (возв.Сакала), системы Коорасте и Пангоди (возв.Отепя), Тсолго и Ваймела (низм. Валга-Харгла-Выру), Партси и Тилси (юго-восточная Эстония) и др.;

3 - долинные озера, возникшие на месте ложбин подледниковых потоков. 38 озер (13.1%) из списка принадлежат к этой группе. Находятся в краевых участках возвышенностей, которые изрезаны глубокими древними долинами. К этим длинным, узким и глубоким, с высокими берегами озерам относятся озера системы Казаритса и Рыуге на возв.Хаанья, системы Канепи и Урвасте на возвышенности Отепя, оз.Пиккъярв на возвышенности Карула, система Кооркюла и три одиночных озера (включая оз.Вильянди) на возвышенности Сакала, системы Вийтна и Аэгвийду (Северное плато), оз.Поркуни на возвышенности Пандивере и др. 12 из самых глубоких озер (глубины > 15 м) принадлежат к этой группе.

4 - эрозионно-ледниковые озера. Из представленных в таблице 25 (8.6%) имеют такое происхождение. Среди них: системы озер Отепя и

Елга (возв.Отепя), озера Вагула и Тамула, система Йыемыйза-Кайю и оз. Сааръярв в восточной Эстонии, озера Вейсъярв и Ыйсу (возв.Сакала), оз.Кахала на Северном плато и Ярвепяя (Чудско-Псковская низм.) и др; они имеют небольшую глубину 2-4 м (максимальная до 15 м) и площадь зеркала до 5.18 км² (оз.Вагула).

5 - друмлиновые озера. Распространены в классическом друмлиновом ландшафте севернее г.Тарту (Саадъярвское друмлиновое поле). Это продолговатые озера, ориентированные в СЗ-ЮВ направлении, 9 из них представлены в таблице, средние глубины от 1.5 до 8 м, с наибольшей глубиной до 25 м (оз.Саадъярв) и ровным дном.

6 - ледниково-тектонические. К ним относятся озера Чудско-Псковское и Выртсъярв, котловины которых тектонического происхождения, окончательно сформировались в период оледенения; оба озера являются самыми крупными среди эстонских озер.

7 - озера краевых ледниковых образований распространены в Северной и Западной Эстонии вместе с конечно-моренными грядами. В большинстве своем это небольшие, но относительно глубокие озера. Они часто образуют озерные группы и системы (озера Куртна-Консу на востоке Северо-Эстонского плато, система озер Паункюла в бассейне реки Пирита; озера Ярлепа и Лиму, система Поркуни-Лемкюла на Пандиверской возвышенности).

8 - болотные озера, распространенные главным образом в равнинных местностях Северной и Западной Эстонии: Лавасааре, Лоосалу, Охепалу, Парика, Эндла и др. Поскольку чисто болотными по происхождению могут быть только очень маленькие озера ($F < 0.001$ км²) верховых болот, часто не имеющие собственной площади водосбора [38], а отмеченные в таблице озера являются по существу заболоченными, то в таблице указано и первичное происхождение озер: заболоченное эрозионно-ледниковое или заболоченное прибрежное, или заболоченное остаточное и т.д.

9 - остаточные озера, которые во время бывших стадий развития Балтийского моря или озер Чудско-Псковского и Выртсъярв отделились от них береговыми образованиями, например, озера Юлемисте и Маарду (морские остаточные), Аруярв (реликт оз.Чудско-Псковского) или Пориярв (Выртсъярвский реликт).

10 - на островах, в Западной и Северной Эстонии много береговых или прибрежных озер, которые отделились от моря как реликты в результате неотектонического поднятия земной коры. От реликтовых они отличаются более поздним образованием и расположением исключительно в прибрежной зоне. В большинстве они мелкие и небольшие, относительно быстро зарастают; многие из них во время нагонов связаны с морем и поэтому солоноватые. Самыми большими береговыми озерами являются оз.Суурлахт на о.Сааремаа и оз.Сутлепамери в Западной Эстонии; последнее отделилось от моря только в последнем столетии.

11 - много в Эстонии пойменных озер, возникших на месте стариц на поймах крупных рек. Они небольшие, интенсивно зарастают. На устьевом участке р.Эмайыги имеется несколько значительных по площади зеркала дельтовых озер (в таблице представлены четыре озера этого типа).

Не представлены в данной таблице озера искусственного происхождения (тип 12).

13 - лимно-гляциальные озера [55], имеющие общий для одной озерной системы водоупорный горизонт периода ледникового озера, покрытый мощными отложениями конечных и других морен.

Графа 8. Грунты и породы, составляющие ложе озера, берега и ложе вытекающей реки. Представлены в порядке наибольшего распространения. В графе отмечены: песок, торф, гравий (гравелистые породы); ил - грязевые отложения; моренообразные, разнородные отложения; гл. морена, г/м - глинистая морена; песч. морена, п/м - песчаная морена; гр. морена, гр/м - гравелистая морена; глина;

сапропель; фл. пески - флювиогляциальные пески; валуны, камни; карст - выходы известковых пород на дневную поверхность.

Графа 9. Принадлежность к речному бассейну. Обозначение "междуречье" - означает расположение озера между бассейнами, т.е. с отсутствием выраженного стока из него.

Графы 10,11. Площадь водосбора, км² и ее десятичный логарифм. Величина площади приведена с исправлениями по К.Арукаеву (озера с исправленными площадями не помечены).

Графа 12. Площадь зеркала озера.

Графы 13 и 14. Максимальная и средняя глубины.

Графа 15. Показатель площади водоема Кср.

Графа 16. Название типа озера в соответствии с условиями образования (см. описание графы 7)

Графа 17. Средняя многолетняя годовая амплитуда колебания уровня воды в озере. Дана по литературным источникам, значения приближенные (десять озер имеют фактически наблюдаемые значения).

Графа 18. Характер стока из озера. Приведенные характеристики означают: ледовые заторы - подпоры от ледовых явлений; подпор - явления подпора любого происхождения; сезонный сток - сток в сезоны высокой водности; сезонное озеро - озеро образуется в сезоны высокой водности.

В подавляющем большинстве случаев озера являются проточными или сточными, хотя иногда связь их с другими водоемами или водотоками осуществляется периодически - во время половодья или дождевых паводков. Бессточных озер сравнительно мало - вместе с периодически пересыхающими их около 30 (представлены в таблице 3 Приложения); распространены они главным образом на моренных возвышенностях (озера краевых морен, термокарстовые), многие из прибрежных и остаточных озер не имеют постоянного поверхностного стока. Заболоченные озера этих типов, как правило, не имеют видимого поверхностного стока в теплый период года.

2.3 Региональные расчетные зависимости (норма) между многолетним стоком из озера (M_o), амплитудой колебания его уровня (A_o) и показателем площади водоема ($K_{ср}$)

Возвращаясь к исходному для метода предположению о существовании "климатом обусловленной нормы" соотношений между относительными размерами озера, стоком из него и амплитудой колебания его уровня, обратимся к рис.1.2.1, для выделения региональных факторов, под влиянием которых точки, принадлежащие отдельным водоемам, отклоняются от "нормы". Более детально рассмотрим те озера Эстонии, по которым имеются точные данные о средней многолетней годовой амплитуде колебания уровня воды, а сток довольно точно определяется по данным наблюдений по близлежащим стоковым постам, а также оз.Самро, Ленинградской области, расположенное недалеко от Эстонской границы и имеющее $K_{ср} > 0.4$ (табл.2.3.1).

Таблица 2.3.1

Исходная информация к построению региональной кривой $\beta=f(K_{ср})$ для Эстонии

N п/п	Название водоема	Площадь зеркала, км2	Вытекающая река	Площадь водосбор а, км2	Многолетние	
					M_o , л/с км2	A_o , м
1	Кирувере	0.22	Канал	0.5	5.9	1.00
2	Самро	44.1	Р. Самра	127	7.0	0.38
3	Тянавъярв	1.37	Канал	4.7	2.5	0.30
4	Саадъярв	7.08	Р. Муда	31.9	7.8	0.49
5	Пангоди	0.95	Руч. Лухасоо	9.33	8.3	0.47
6	Выртсъярв	270	Р. Эмайыги	3374	6.21	1.37
7	Чудско-Псковское	3550	Р. Нарва	47815	5.81	1.14
8	Пюхаярв	2.86	Р. В-Эмайыги	44	6.5	0.65
9	Муллутуярв	14.4	Р. Насва	303	7.0	0.81
10	Вагула	5.19	Р. Выханду	495	7.0	1.00
11	Ыйсу	1.94	Р. Кыпу	199	8.5	1.50
12	Йыемыйза	0.64	Р. Кяэпа	216	5.4	1.24

2.3.1 Анализ исходного материала

Рассмотрим более подробно каждое из выбранных озер.

оз.КИРУВЕРЕ расположено на Северо-Эстонском плато, где толщина чехла четвертичных отложений невелика, в составе грунтов его ложа в основном содержатся пески, гравелистые грунты, имеют место обнажения известняка. Кроме того, озеро расположено в непосредственной близости от реки Пирита (Паункюласское водохранилище) и испытывает переменный подпор от нее и от водохранилища - амплитуда колебания уровня воды в нем зависит от амплитудой колебания уровня этих водных объектов.

оз.САМРО также находится на восточном продолжении Северо-Эстонского плато за р.Нарвой в Ленинградской области. Сток из озера естественный, явлений подпора не наблюдается, грунты песчаные и песчано-гравелистые; наблюдения за стоком и уровнем велись с 1962 по 1972 гг.

оз.ТЯНАВЪЯРВ относится к заболоченным остаточным озерам, оно расположено на северном побережье Эстонии, на Предглинтовой низменности; его ложе и берега сложены песком и торфом; летом сток из озера прекращается. Данные об уровне и стоке приняты по оценкам местных жителей и [36].

оз.СААДЪЯРВ - крупнейшее озеро района, называемого Друмлиновое поле; ложе озера неоднородно, содержит много ила, в основном, - отложения глинистой и песчаной морены с жилами флювиогляциальных песков, валуны, гравий. Наблюдения за уровнем велись с 1942 по 1957 гг.

оз.ПАНГОДИ - принадлежит к одноименному озерному комплексу возвышенности Отепя; яркий представитель озер гляциального происхождения, связанных с глубокими погребенными долинами; ложе озера и вытекающей реки окружено глинистыми моренами, сложено флювиогляциальными песками и гравием. Наблюдения за уровнем велись с 1942 по 1955 гг.

оз.ВЫРТСЪЯРВ - одно из двух крупнейших озер Эстонии доледникового происхождения, сток из которого до оледенения и в период отступления ледника осуществлялся в Рижский залив. Ложе озера и русло вытекающей в настоящее время реки пробиты в толщах глинистых морен. Переменный подпор от реки Педья в периоды половодья и дождевых паводков - постоянное явление в истоке р.Эмайыги, определяющее величину годовой амплитуды колебания уровня.

ЧУДСКО-ПСКОВСКОЕ озеро является практически восточной границей Эстонии, оно протянулось с юго-востока до северо-востока республики; первое по величине и второе из двух доледникового происхождения в Эстонии. Сток из него первоначально осуществлялся в Рижский залив по р.Эмайыги, оз.Выртсъярв, р.Тянясилма, р.Раудна и р.Пярну. Известняковое ложе озера и вытекающей реки Нарвы сложены мощными отложениями аллювиальных песков. На реке наблюдаются сильные зажорные явления, которые значительно искажают годовую амплитуду колебания уровня воды, т.к. весенне-летние высшие уровни редко достигают зимних.

оз.ПЮХАЯРВ - расположено в толще песчаных морен возвышенности Отепя; эрозионно-гляциального происхождения; подстилающая материнская порода - девонские песчаники; ложе озера изобилует песками, гравием; подпорных явлений в истоке р.Вяйке

Эмайыги не наблюдается. Наблюдения за уровнем велись с перерывом с 1942 по 1987 гг.

оз.МУЛЛУТУЯРВ расположено на острове Сааремаа, является бывшим морским заливом, испытывает переменный подпор от нагонных явлений и высоких уровней моря, но воздействие морского подпора не оказывает влияния на максимальный и минимальный уровни озера; грунты самые разнообразные - от глинистых морен и ила до гравия и валунов. Наблюдения за уровнем велись с 1943 по 1955 гг.

Озеро ВАГУЛА - как и озеро Пюхаярв является эрозионно-гляциальным по происхождению, подстилающая порода - песчаники, но основная толща грунта на водосборе - глинистая морена. Наблюдения за уровнем велись с 1956 по 1964 гг.

Озеро ЫЙСУ является крупнейшим на возвышенности Сакала эрозионно-гляциального происхождения; основные грунты - глинистая морена, торф, встречается песок. Исходные данные приняты с учетом данных наблюдения по гидрологическому посту на вытекающей из озера реке Кыпу (п.Римму).

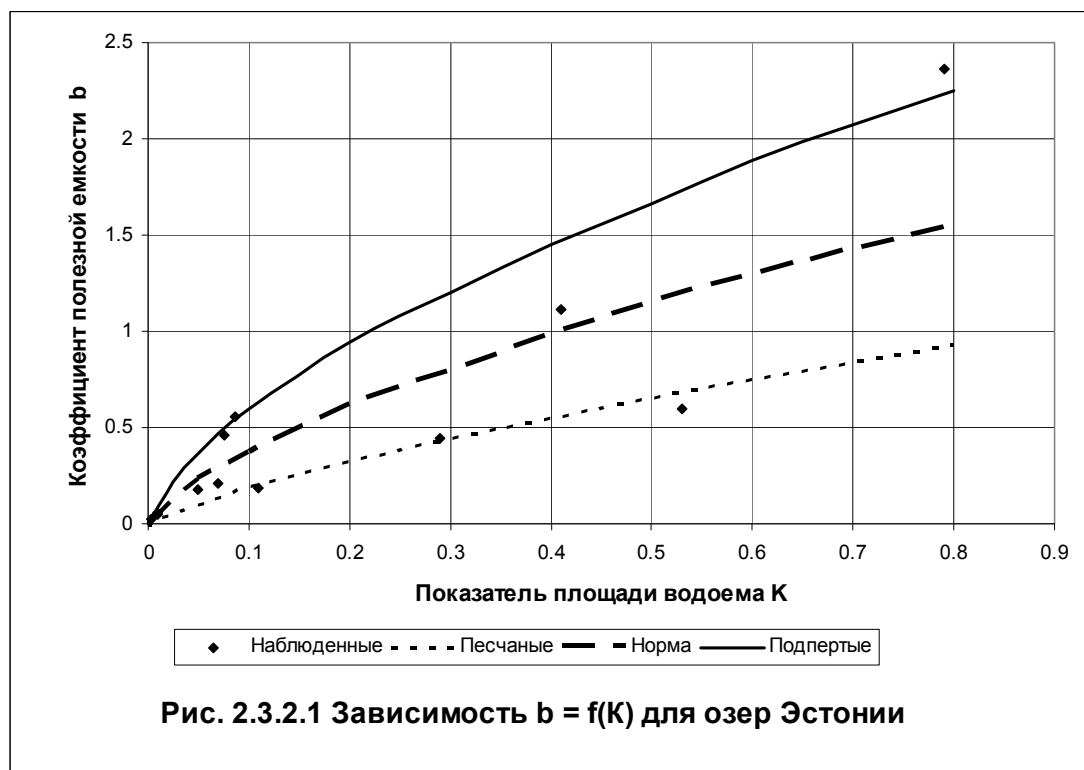
оз.ЙЫЭМЫЙЗА - гляциально-эрозионного происхождения, расположено на водосборе реки Кяэпа между Причудской низменностью и Друмлинным полем; основные грунты - глинистая морена, песок, водосбор и берега озера сильно заболочены. Исходные данные приняты с учетом данных наблюдений по гидрологическому посту Кяэпа.

Рассмотрев подробные описания этих 12 озер, а также всех других, представленных в таблице 3 Приложения, можно заключить, что для территории Эстонии наиболее характерным, "фоновым", фактором подстилающей поверхности является глинистая морена или просто

морена, покрывающая территорию республики почти сплошным чехлом. Более рыхлые грунты для озер, расположенных в речных системах с развитой гидрографической сетью (имеются ввиду озера гляциального происхождения 2-6 и 8 типов) являются фактором завышения стока при прочих равных условиях; а явления подпора стока из озера - фактором завышения амплитуды относительно региональной нормы. Как уже отмечалось, рыхлые грунты для озер неледникового происхождения, а также озер 1 и 7 типов (термокарстовые и конечных морен) имеют гораздо более низкие показатели поверхностного стока, т.к. среди этих озер наиболее часто встречаются сезонно-сточные и бессточные озера. Аналогичные результаты исследований влияния озерности в песчаных почво-грунтах получены литовскими учеными [23,24]. Это необходимо иметь ввиду при построении региональной кривой.

2.3.2 Построение расчетных кривых зависимости $\beta = f(K_{ср})$

На рисунке 2.3.2.1 показаны точки зависимости $\beta = f(K_{ср})$, построенной по 12 озерам таблицы 2.3.1. Поскольку в данном случае представлены два типа факторов (крайние кривые), оказывающих противоположное влияние (см. предыдущий параграф) на соотношения между β и $K_{ср}$: песчаные или гравелистые грунты в ложе озера и вытекающей реки, а также значительный переменный подпор в истоке из озер, - то можно предположить, что нормальные соотношения будут находиться где-то между этими двумя кривыми. Например, по середине, проходя чуть ниже точки, принадлежащей оз.Тянавъярв, которое характеризуется двумя разнонаправленными факторами.



Зависимость подтверждает неоднозначное влияние песчаных грунтов, выявленное также и в литовских условиях т.к. точки озер Тянавъярв и Кирувере, несмотря на песчаные и гравелистые грунты, ложатся даже выше кривых, соответствующих нормальным соотношениям и соотношениям в условиях подпертого стока из озера, т.е. имеют заниженную против нормальной величину стока при данной амплитуде. Правда, эти озера имеют и другие факторы, влияющие на нормальные соотношения противоположным образом, а именно: оз.Кирувере имеет выходы известковых пород и располагается в зоне развития карстовых явлений, причем в зоне поглощения стока; водосбор же оз. Тянавъярв практически полностью заболочен. Оба эти явления - поглощение стока карстом и повышенное испарение с поверхности болот оказывают одинаковое: занижают сток и увеличивают амплитуду, т.к. в карстовые полости талая или дождевая вода просачивается не так быстро, как в песок или гравий, поднимая максимальный уровень воды [13]; в болотном же массиве или системе повышенное испарение в

теплый период года приводит к затратам поверхностного стока и некоторому снижению минимального уровня воды относительно незаболоченного водосбора. Хотя завышение амплитуды за счет испарения покрывается ее снижением за счет распластывания паводочной волны на болотном массиве. Так, по материалам болотной станции Тоома [56] при средней многолетней амплитуде колебания уровня болотных вод в 38 см (средний высший уровень 17 см от поверхности болота, средний низший - 55 см) сток с болотного водосбора Линнусааре прекращается при уровне болотных вод 50 см от поверхности болота.

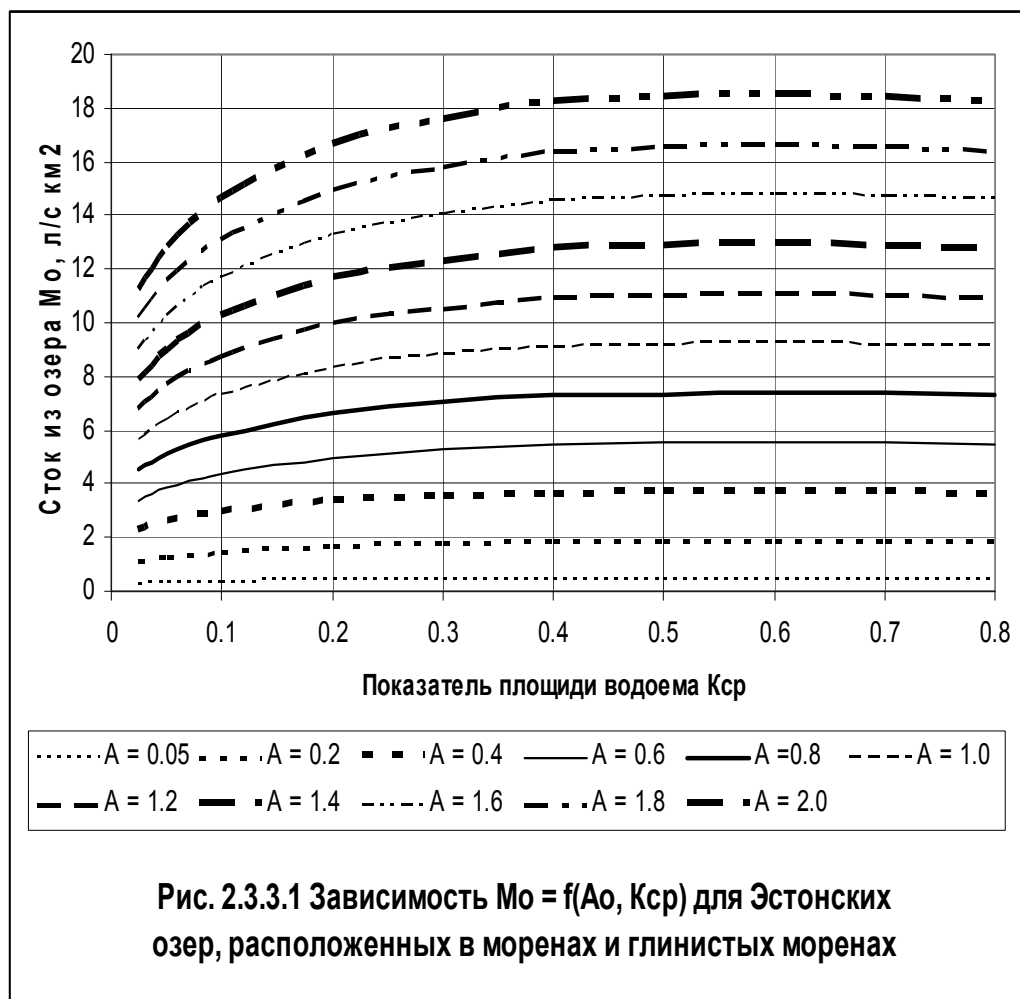
Таким образом, при построении региональной кривой $\beta=f(K_{ср})$ для условий Эстонии следует учитывать две основных группы факторов ее искажения:

- факторы завышения амплитуды колебания уровня воды в озере (точки располагаются выше кривой): карстовые явления зоны поглощения стока, наличие переменного подпора в истоке из озера;
- факторы завышения стока (точки располагаются ниже кривой): песчано-гравелистые грунты в ложе и берегах озера и вытекающей реки, карстовые явления зоны разгрузки стока с учетом типа происхождения озера (озера термокарстовые, конечных морен и неледниковое происхождения исключаются из сферы влияния данной группы факторов).

2.3.3 Расчет региональных номограмм $M_o = f(A_o, K_{ср})$

Принимая среднюю кривую в качестве "климатически обусловленной нормы" и зафиксировав ее координаты (конкретное значение β для конкретного значения $K_{ср}$), рассчитываем фоновое региональное соотношение между показателем площади водоема $K_{ср}$, стоком M_o и амплитудой колебания уровня A_o (рис.2.3.3.1) для озер Эстонии (табл.4 Приложения). Таким же образом получаем

соответствующие соотношения для озер с песчаными грунтами или систематическими явлениями подпора.



Полученные зависимости могут быть использованы для определения стока из озер по известной средней многолетней годовой амплитуде колебания их уровня. В таблице 3 Приложения таких озер 105. Для удобства данные по этим озерам сведены в отдельную таблицу 11 Приложения и систематизированы по типу происхождения озер.

При оценке стока из конкретных озер возникает необходимость решить следующие задачи:

1. Расчет стока для озер с $K_{ср} < 0.025$, т.к. полученные номограммы посчитаны для $K_{ср} \geq 0.025$;
2. Учет неоднозначного влияния песчаных грунтов и карста в зонах поглощения и разгрузки стока;

3. Учет влияния других аazonальных факторов подстилающей поверхности, например, заболоченности, озерности и т.д.

2.3.4 Норма соотношений $M_o=f(A_o, K_{cp})$ для безозерных рек ($K_{cp}=0$)

Номoграмма $M_o=f(A_o, K_{cp})$ на рис.2.3.3.1 рассчитана, начиная от значений $K_{cp}=0.025$, т.к. совершенно очевидно, что при $K_{cp}=0$, т.е. в случае безозерной реки, должны сохраниться определенные соотношения между M_o и A_o . Для участка реки, в предположении отсутствия озера, формула 1.1.1 несколько видоизменяется и нулевой коэффициент полезной емкости β_o при $K_{cp}=0$ будет равен емкости речного русла на расчетном участке, равном длине существующего озера

$$\beta_o = \frac{A_p * F_p * 1000}{M_p * F_{вд} * T_o}, \quad (2.3.4.1)$$

где

- β_o - коэффициент емкости речного русла на участке, равном длине существующего озера;
- A_p, M_p - соответственно амплитуда (м) и сток (л/с*км²) в расчетном створе реки;
- $F_{вд}$ - площадь водосбора в расчетном створе, км²;
- F_p - площадь поверхности реки на участке, равном длине существующего озера, км².

Наиболее неопределенной в данной формуле является площадь поверхности реки на участке, занятом существующим озером, которая может быть рассчитана по формуле:

$$F_p = L_{оз} * W_p \quad (2.3.4.2)$$

где $L_{оз}$ - длина озера из списка И.Каска [53], км;

W_p - средняя ширина реки на участке, занятом существующим озером, км (автором принята равной ширине реки в истоке из озера, т.е. несколько завышена относительно данного определения).

Принимая $\beta_0=0,000004$ (средняя из нескольких озер с нормальными условиями), рассчитываем по формуле 2.3.4.1 величины искомых речных амплитуд (табл. 5 Приложения) во всем интервале изменения M_0 по территории республики. Верхний предел амплитуды (6.6 м) также принят по фактическим данным наблюдений на реках, хотя он и недостижим, т.к. это историческая разность между наивысшим и низшим уровнями за весь период наблюдений по посту Пярну. Такую же процедуру производим для озер с песчаными ($\beta_0=0.000001$) и подпертыми ($\beta_0=0.00001$) условиями. Введя полученные значения амплитуд из таблицы 5 в таблицу 4 Приложения при $\beta=0$ для соответствующих значений M_0 , получаем полную номограмму $M_0=f(A_0, K_{ср})$ во всем интервале изменения $K_{ср}$: от 0 до 0.8. Такую же процедуру производим с номограммами для песчано-гравелистых грунтов и явлений подпора (табл.6-8, рис.16а,17,18 Приложения). Полученные полные номограммы в интервале колебания $K_{ср}$ от 0 до 0,8 принимаются в качестве рабочих для оценки стока из озера по известной амплитуде и $K_{ср}$, или оценки амплитуды колебания уровня по известной величине стока.

Таким образом, районирование коэффициента полезной емкости озер по территории Эстонии заключается в следующем:

1. определении фонового фактора подстилающей поверхности: глинистой или простой морены;
2. построение нормальной (фоновой) кривой $\beta=f(K_{ср})$ (учет факторов завышения стока и амплитуды колебания уровня воды) и фиксация ее параметров;

3. расчет нормы соотношений между стоком, амплитудой колебания уровня и показателем площади водоема, исходя из фиксированных значений параметров кривой $\beta=f(K_{ср})$;
4. определение значения β_0 при $K_{ср}=0$ как коэффициента полезной емкости участка речного русла, занятом существующим озером.

В результате произведенных расчетов и построений для территории Эстонии получены не только нормальные фоновые номограммы $M_0=f(K_{ср}, A_0)$, соответствующие глинистым моренам (рис.16а Приложения), но и номограммы для групп факторов, имеющих также достаточно широкое распространение в Эстонии: песчано-гравелистых грунтов и явлений подпора (рис.17 и 18 Приложения).

Основываясь на данной методике, были получены аналогичные номограммы по изученным озерам Кольского п-ва, Карелии и С-3 ЕТС бывшего СССР (рис.16 б, в, г Приложения).

2.4 Оценка влияния факторов подстилающей поверхности на условную норму

Частично такая оценка уже произведена в результате получения расчетных номограмм трех видов: нормальной (фоновой) - для наиболее распространенных глинистых и простых морен; для озер с рыхлыми (без различий крупности) грунтами (от песчаных грунтов до гальки); для озер, испытывающих подпорные явления в истоке из них, влияющие на величину колебаний его уровня. Кроме того, дана оценка влияния самих озер, их относительных размеров, на режимные характеристики с построением номограмм от нулевого значения $K_{ср}$. Тем не менее этого еще недостаточно для надежной оценки гидрологических характеристик малоизученных и совсем неизученных озер Эстонии.

Поскольку водоемов с полным набором наблюдаемых данных - уровнем, стоком и зависимостью площади зеркала от уровня - среди эстонских озер крайне мало, можно снова воспользоваться данными

соседних регионов, а именно: Карелии, Северо-Запада ЕТС и Кольского полуострова. Автор исходит из предположения, что искажающее влияние того или иного фактора на "нормальное" соотношение будет примерно одинаковым, тогда как сами "нормы" по этим регионам могут отличаться значительно. Надо отметить также, что в качестве фонового фактора подстилающей поверхности Кольского п-ва и Карелии были приняты скальные (неизвестняковые) породы и глинистые грунты, а для Северо-Запада - те же глинистые и простые морены, что и для Эстонии.

2.4.1. Зональная изменчивость фоновых зависимостей $M_o=f(A_o, K_{ср})$

Остановимся подробнее на полученных фоновых номограммах зависимости $M_o=f(A_o, K_{ср})$, т.к. они являются основой для оценки влияния факторов подстилающей поверхности.

Наложение номограмм друг на друга дает возможность оценить зональную изменчивость соотношений стока и амплитуды при одних и тех же размерах озер. Для стока из озера в 10 л/с с квадратного километра и показателю площади водоема 0.1 на Кольском п-ве соответствует амплитуда колебания уровня, равная 65 см, в Карелии - 75, Северо-Западе - 85, а в Эстонии - почти 140 см. Если проводить сравнения относительно средней региональной величине стока, то результаты получатся очень близкими. Средне-региональному стоку для водотоков Кольского п-ва в 14 л/с*км² при $K_{ср}=0.1$ соответствует фоновая амплитуда 0.9 м, среднему по Карелии - 12 л/с*км² - тоже 0.9 м, среднему по С-З - 10 л/с*км² - 0.85 м, и по Эстонии среднему стоку в 7.8 л/с*км² соответствует амплитуда в 1.1 м.

Интересны и различия во влиянии озерности на сток из озера и амплитуду колебания его уровня. Если на Кольском п-ве и в Карелии уменьшение амплитуды с ростом относительных размеров озера ($K_{ср}$) продолжается практически во всем интервале изменений $K_{ср}$, то на С-З

при $K_{ср} > 0.3$, а в Эстонии при $K_{ср} > 0.2$ уменьшения амплитуды практически не наблюдается.

2.4.2 Методическая основа для оценки влияния факторов подстилающей поверхности

Для выявления влияния факторов подстилающей поверхности на данном этапе можно привлечь и данные по рекам Эстонии, т.к. норма соотношения между стоком и амплитудой для безозерных водотоков по этому району уже определена.

Таким образом, для оценки влияния факторов подстилающей поверхности были использованы данные не только по 48 озерам Кольского п-ва (11), Карелии (27) и С-3 ЕТС (11), но и по всем действующим гидрологическим постам Эстонии.

Для обеспечения однородности исходной информации был выбран единый период для осреднения используемых данных: 1971-1975 гг. и именно по этим данным были построены и региональные нормы, и произведены оценки влияния факторов подстилающей поверхности. По рассчитанным за этот период стоку и амплитудам определялись соответствующие "фоновые" значения амплитуды и стока по региональным номограммам. Затем рассчитывались значения относительных отклонений расчетных величин от фактических $\Delta A/A_{ф}$ и $\Delta M/M_{ф}$. Посты (как озерные, так и речные), водосборы которых характеризуются широким распространением карста, рыхлых почвогрунтов, заболоченностью, составили в сумме 23 единицы. По данным этих постов были построены зависимости $\Delta A/A_{ф} = f(\log F_{вд})$ и $\Delta M/M_{ф} = f(\log F_{вд})$ (рис.2.4.2.1.а,б) (табл.9 и 10 Приложения).

2.4.3 Результаты оценки влияния факторов подстилающей поверхности

Полученные зависимости характеризуют увеличение отклонения от условной нормы при уменьшении площади и сводит его на нет для водосборов с площадями >10000 кв.км. Верхняя кривая на рисунке 2.4.2.1 а) соответствует водосборам, расположенным в карстовых районах (зоны разгрузки стока) в сочетании с сильной заболоченностью (рр.Оострику, Варангу). Характерной чертой этих водотоков является отсутствие ледовых явлений зимой и зарастания летом. Нижняя кривая этого же рисунка соответствует водотокам, на которых ледовые явления могут быть самыми разными: от устойчивого сплошного ледостава до неустойчивого и несплошного. Водотоки характеризуются наличием песчаных отложений в русле, а водоемы по происхождению принадлежат к озерам погребенных долин, флювиогляциальных потоков и заболоченных водоемов этих типов. Интересен и тот момент, что зависимость для речных и озерных водосборов совпала. Вероятно, для выравнивания уровня режима несоизмеримо большую роль играют водосбор, слагающие его грунты [23,28] и соответствующая растительность, чем та небольшая площадь озера, которой занята часть водосбора. Тем не менее, для оценки искажающего влияния факторов подстилающей поверхности на величину стока, величины $K_{ср}$ имеют значение в интервале их изменения от 0 до 0.05 (см. рис.2.4.2.1б).

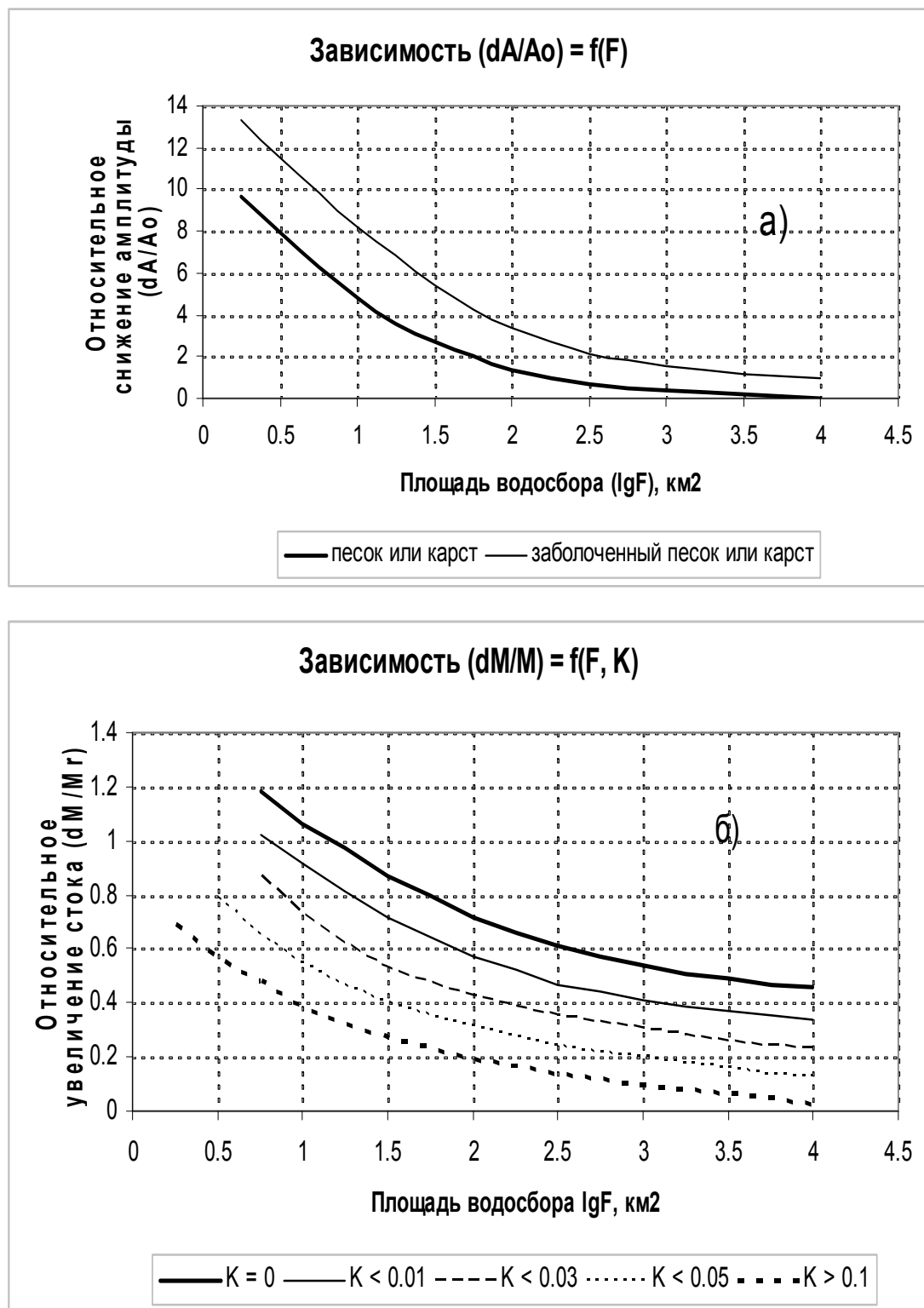


Рис. 2.4.2.1 Относительное снижение амплитуды (A/A_0) и увеличение стока (M/M_0) из озера в зависимости от величины водосбора при песчано-гравелистых и карстовых грунтах

2.4.4 Неоднозначное влияние рыхлых грунтов, карста.

Как уже отмечалось выше и неоднократно отмечалось разными учеными [6,13,15,45,51], и рыхлые грунты, и карстовые явления оказывают неоднозначное влияние на условную норму, причем это довольно просто обнаружить при анализе таблицы 11 Приложения, но совсем непросто оценить количественно по данным измерений, т.к. измерений для этого совсем недостаточно.

Зависимости на рисунке 2.4.2.1. соответствуют завышению стока против условной нормы и занижению амплитуды, т.е. величина фактического стока по известной амплитуде в конечном счете будет определяться по формуле:

$$M_{\phi} = M_o \cdot (1 + \Delta M / M_{\phi}), \quad (2.4.4.1)$$

где M_{ϕ} - фактическое значение многолетнего стока, л/с*км²;

M_o - условная норма, снятая с номограммы по величине A_o , л/с*км²;

$\Delta M / M_{\phi}$ - относительная величина отклонения от условной нормы, найденная по таблице 8 Приложения по величине $\log F_{вд}$ и $K_{ср}$.

Средняя ошибка метода в целом, с учетом влияния факторов подстилающей поверхности, посчитанная по озерам Кольского п-ва, Карелии и Северо-Запада (т.е. только по многолетним данным наблюдения) составила 9.9% при оценке стока, и 8.1% при оценке амплитуды. Конкретно по регионам: Кольский п-ов - 12.5% и 9.3%; Карелия - 9.6% и 7.2%; и Северо-Запад - 8.0% и 9.4% соответственно (подробные данные приведены в табл.1 Приложения).

Таким образом, после всех описанных выше расчетов и построений мы имеем две возможности учесть влияние факторов подстилающей поверхности для Эстонии:

1. увеличить фоновую норму стока добавкой, полученной по графику на рис.2.4.2.1б, или уменьшить фоновую норму амплитуды по графику на рис.2.4.2.1а; или
2. использовать номограммы для песчано-гравелистых грунтов или подпорных условий стока из озера, независимо от фактических размеров озера и его водосбора.

Таблица 11 Приложения, в которой приведены озера с известной величиной колебания уровня, послужила своеобразным критерием истинности обеих возможностей, поскольку других независимых данных по данной территории больше нет. Сравнение результатов расчета стока по известной амплитуде с величинами стока по ближайшим изученным водным объектам (данные справочников ОГХ и МДС), дало следующую картину.

По озерам прибрежным и остаточным, а также озерам конечных морен лучше соответствует фоновая региональная номограмма. При этом прибрежные озера должны быть вне зоны влияния уровня моря (высота над уровнем моря более 1.5 м). Для прибрежных озер, расположенных ниже этой отметки, а также для прибрежных озер Чудско-Псковского озера, расположенных в зоне влияния его уровня, а также пойменных озер р.Эмайыги, подходит номограмма для условий подпора.

Для озер с рыхлыми песчано-гравелистыми грунтами любого происхождения, имеющих глубину более 4 м, а также для озер, расположенных в зонах разгрузки карстовых вод, полученную по соответствующей номограмме величину стока, нужно увеличить в соответствии с рисунком 2.4.2.1 или таблицей 10 Приложения.

К заболоченным озерам (тип 8) следует также подходить неоднозначно. В соответствии с их первичным происхождением и подстилающими грунтами прежде всего определить тип используемой номограммы: для песчано-гравелистых грунтов или фоновую норму, а затем, чтобы учесть влияние самой заболоченности, использовать номограмму с более низкими значениями стока при равных амплитудах,

а именно: в случае, если по подстилающим грунтам и первичному происхождению следует воспользоваться номограммой для песчано-гравелистых грунтов, то использовать номограмму фоновой нормы, а если первичный выбор падает на фоновую норму - то применить номограмму для условий подпора. В случае, если заболочены озера прибрежные, остаточные или пойменные, т.е. для которых по первому выбору должна применяться номограмма условий подпора, то она же используется и для заболоченных озер этих типов. Это, вероятно, объясняется тем, что болота не столько увеличивают амплитуду, сколько уменьшают сток за счет очень высокой эвапотранспирации, т.к. они как губка удерживают в себе воды весенних паводков, а затем расходуют ее на эвапотранспирацию, особенно в период интенсивной вегетации (май-июль) [31,38,56].

Для прибрежных, остаточных и заболоченных озерных водосборов, независимо от происхождения, если их размеры не превышают 5 кв.км, дополнительно определяется снижение полученного стока по зависимости на рис.2.4.4.1, построенной по результатам оценки стока и данным описаний (для бессточных и частично сточных озер). Снятая с графика величина занижения просто вычитается из полученного первоначального значения стока.

Таким образом, не принимая во внимание озера, площади водосборов которых не превышают 5 кв.км, можно сделать конкретные количественные выводы по оценке влияния песчаных грунтов и карста:

1. песчаные грунты для озер с неразвитой речной сетью и карстовые явления зоны поглощения стока занижают его региональную норму на 25-30 % (как минимум);
2. песчаные грунты для озер с развитой речной сетью увеличивают сток относительно регионального фона на 60-65%;
3. степень завышения региональной нормы стока в зоне разгрузки карстовых вод осталась неоцененной, но ее нижней границей может служить величина "песчаного" завышения.

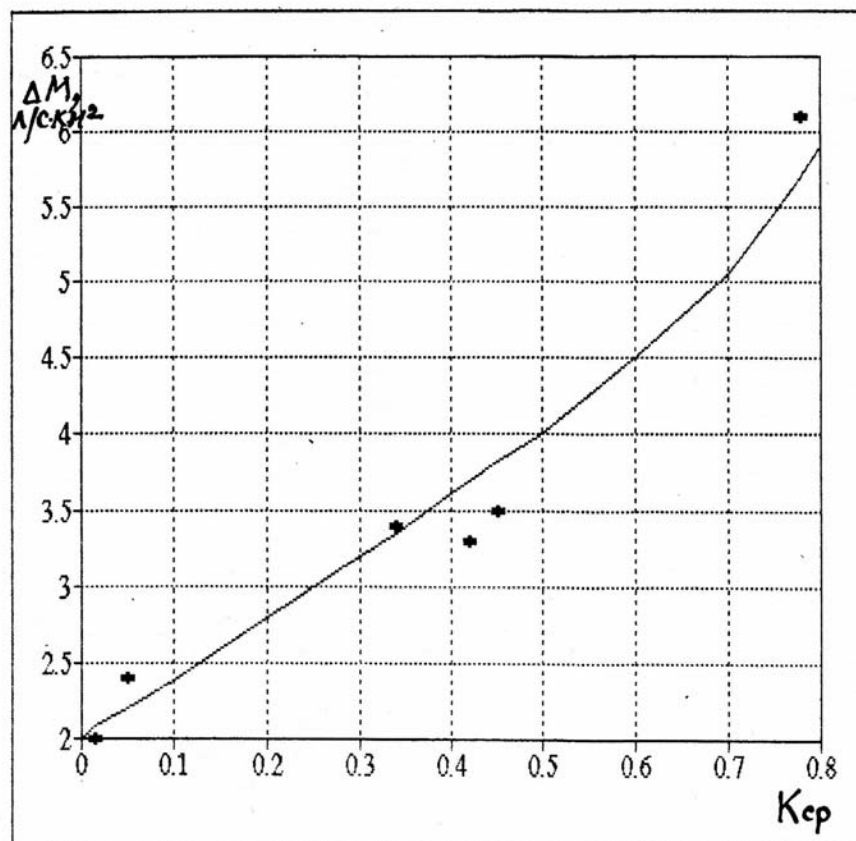


Рис.2.4.4.1. Зависимость величины занижения стока ΔM от показателя площади озера K_{cp} для прибрежных, остаточных и заболоченных озер с площадью водосбора $< 5 \text{ км}^2$.

Относительно влияния болот и заболоченности следует отметить, что распространение заболоченности по территории Эстонии имеет очень высокую степень, близкую к глинистым моренам, т.к. они покрывают 21% территории. Поэтому, возможно, что их влияние как отдельного самостоятельного фактора для Эстонии не совсем корректно: какая-то часть фоновых региональных соотношений между стоком из озера, амплитудой его колебания и показателем площади водоема, изначально обусловлена влиянием заболоченности территории. Об этом свидетельствуют и межзональные изменения фоновых соотношений от

Кольского п-ва до южных границ Эстонии. Тем не менее, в рамках предложенной методики влияние болот оценивается заметным занижением стока (от 20 до 100%) в зависимости от происхождения заболоченного озера и размеров его водосбора.

3. Особенности формирования амплитуды колебаний уровня озер Эстонии

В предыдущей главе была определена фоновая норма соотношения между многолетним стоком из озера (M_o), амплитудой колебания его уровня (A_o) и относительными размерами ($K_{ср}$), соответствующие глинистым и простым моренам. Предложены пути и произведены оценки искажающего эту норму влияния наиболее распространенных на территории Эстонии факторов подстилающей поверхности: песчано-гравелистых отложений, карста, заболоченности. Таким образом, зная даже приближенное значение амплитуды колебания уровня воды озера, характеристику подстилающих почво-грунтов и происхождение озера, довольно легко, даже при наличии разнонаправленных факторов, оценить сток из озера. В действительности же не сток зависит от уровня, а, наоборот, уровень воды в водном объекте (водоеме или водотоке) есть результат определенной водности и пропускной способности гидрографической системы. Возможно ли, имея по любому озеру с неизученным гидрологическим режимом, информацию такого характера, которая заключена в таблице 3 Приложения количественно оценить амплитуду колебания уровня? Чтобы ответить на данный вопрос, обратимся к таблице 11 Приложения, в которой сосредоточена информация лишь по тем озерам, по которым имеются сведения по амплитуде колебания уровня воды.

3.1 Зависимость амплитуды колебания уровня озер от высоты местности, глубины водоема, типа озера и подстилающих почвогрунтов

Замечено [42], что средняя глубина озера зависит от высоты местности: чем выше местность, тем пересеченнее рельеф, тем, в среднем, глубже озеро, тем, в среднем, выше амплитуда колебания его уровня. Такая же зависимость глубины озера прослеживается и от площади водоема: чем больше площадь озера, тем, в среднем, больше и его глубина. Тенденция эта наблюдается на больших территориях, таких как бывший СССР, при осреднении большого количества водоемов (тысячи и десятки тысяч).

Далее. Исследования озер Новосибирской и Карагандинской областей [25] выявили обратную зависимость амплитуды колебания уровня от показателя площади водоема.

Каковы эти тенденции для Эстонии?

Прежде всего, существует ли зависимость между амплитудой колебания уровня (A_0) и средней глубиной водоема ($h_{ср}$) для эстонских озер? График на рисунке 19 Приложения показывает, что общей зависимости величины амплитуды от средней глубины для озер любого типа, с любым характером грунтов и на любой высоте на территории Эстонии не существует.

Представим эту же зависимость, отметив различные типы происхождения озер (рис.20 Приложения). На этом рисунке уже можно заметить, что озера прибрежные и остаточные (типы 9+10) имеют меньшее разнообразие амплитуд при увеличении глубин озер. Озера погребенных долин (тип 2) имеют такую же тенденцию, но выраженную очень четко, причем одинаковым с первой группой глубинам соответствуют большие амплитуды. Озера же подледниковых флювиогляциальных долин (тип 3) вообще не имеют особенно высоких величин амплитуд (>1.2 м) и т.д.

При отдельном рассмотрении озер, расположенных выше 100 м над уровнем моря (рис.21 Приложения), можно обнаружить более четкое проявление замеченной тенденции, но усложненной влиянием грунтов. Цифры у точек обозначают тип озера. Зависимость более наглядна потому, что на возвышенностях отложения морен более однородны, в них преобладают песчаные и гравелистые фракции. Это особенно четко проявляется в аналогичной зависимости для озер погребенных долин, 2-го типа (рис.23 Приложения), на которой представлены озера только возвышенностей и, в основном, песчаных морен и песков.

На рисунках 22-30 представлена зависимость амплитуды колебания уровня озера (A_o) от средней глубины водоема (h_{cp}) в каждом из большинства рассмотренных типов озер. Исключение составляют пойменные озера (тип 11), среди которых не оказалось даже 2 точек с известной амплитудой) и гляциально-тектонического (тип 6) происхождения, которые сами по себе являются исключениями (озера Чудско-Псковское и Выртсъярв) среди эстонских озер. Озера конечных морен (тип 7) объединены с озерами термокарстовыми, которые и в природе соседствуют друг с другом. Кроме того, озер 7-го типа всего два, рассмотрение их на отдельном графике не позволит сделать никаких выводов.

Что касается озер пойменного типа, то по этим озерам имеется довольно много как отдельной литературы, так и упоминаний в ряде гидрологической литературы [17,27-29.32,40,48,55], а также материалы наблюдений на гидрологических створах, пересекающих пойменные участки. В уровненом режиме пойменных озер нет никаких загадок: он полностью зависит от режима того водотока, на пойме которого расположено расчетное озеро, независимо от своих собственных абсолютных и относительных размеров. При определении амплитуды колебания их уровня следует учитывать высоту превышения поймы над средним уровнем водотока, которую следует вычесть из амплитуды самого водотока.

На рисунках 24-30 Приложения представлена довольно насыщенная информация. В рамках обозначен орографический район, к которому принадлежит озеро (графа 4 табл.3 и 11 Приложения), цифрой показана высота местности (графа 6 тех же таблиц), текстом без рамки дана информация о подстилающих почво-грунтах (наиболее характерных: первая одна, или две характеристики грунтов из графы 8 таблицы 3 или 11 Приложения). На рисунках 26, 29 и 30 Приложения дана не вся эта информация, поскольку друмлиновые озера (рис.26) все расположены в одном ландшафтном районе, прибрежные озера (рис.29) в подавляющем большинстве своем имеют сходные подстилающие грунты (ил, песок, гравий) и высоты близкие высоте уровня водоема, на берегу которого они находятся (Финский или Рижский заливы, Чудско-Псковское или озеро Выртсъярв).

При внимательном рассмотрении упомянутых графиков создается впечатление, что зависимости амплитуды все-таки существуют и от высоты местности в каком-то интервале, и от подстилающих почво-грунтов в разных районах, и от типа происхождения озера в разных районах на разных высотах. Но как выделить хотя бы характер каждой связи в отдельности?

Чтобы найти связь с высотой местности, все озера таблицы 11 Приложения были ранжированы по высоте местности и в каждом 20-метровом интервале определены их средние величины амплитуды колебания уровня (A_{cp}) и средние глубины (h_{cp}) (табл. 3.1.1). График этой зависимости представлен на рис.31 Приложения. Интересным представляется тот факт, что зависимость средней глубины озера от высоты местности существует лишь до высоты 100-110 м, а затем нарушается. Зависимости же амплитуды колебания уровня от высоты местности и глубины водоема вообще не наблюдается. Количество озер с увеличением высоты местности резко уменьшается. Так, высоте >200 м БС соответствует всего одно озеро. Если теперь вспомнить четкую зависимость уменьшения амплитуды с ростом глубин для озер

погребенных долин, то станет понятным отсутствие какой-либо зависимости для амплитуды колебания уровня воды с высотой: зависимость есть, но она нивелируется влиянием других факторов.

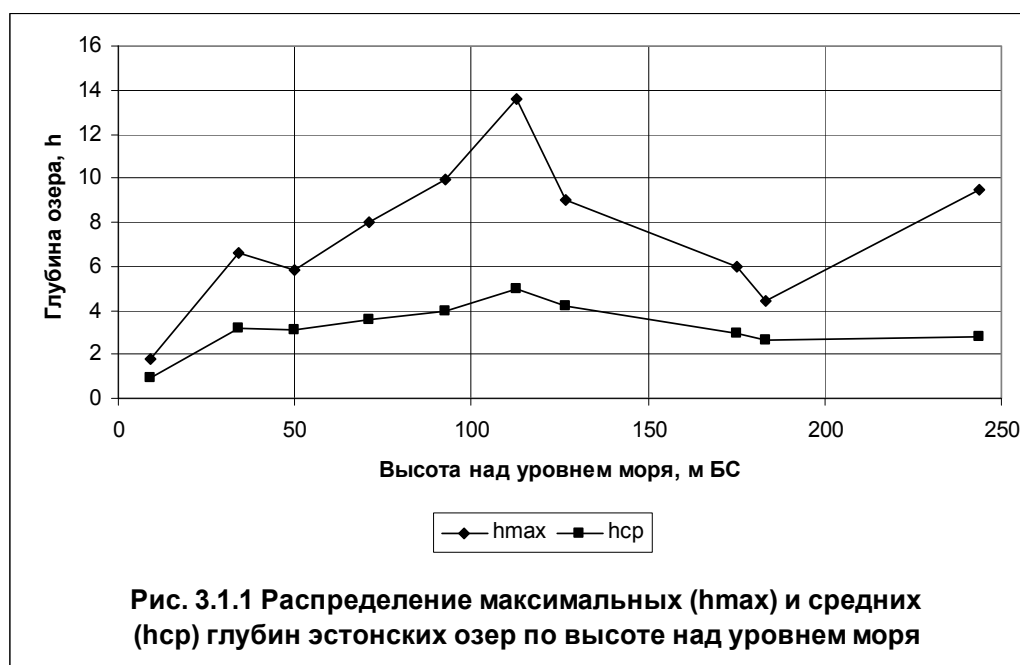
Таблица 3.1.1

Распределение средних амплитуд озер ($A_{ср}$) и их средних глубин ($h_{ср}$) по высоте местности ($H_{ср}$)

Интервал высот, м БС	Средняя высота по рассматриваемым озерам, м БС	Средняя глубина, $h_{ср}$	Средняя амплитуда, $A_{ср}$
0-20	9.3	0.96	0.71
21-40	34.3	3.21	1.01
41-60	50.0	3.11	0.78
61-80	71.00	3.54	0.66
81-100	92.60	3.93	0.72
101-120	113.81	5.05	0.63
121-140	126.58	4.22	0.79
161-180	174.98	2.93	0.75
181-200	183.30	2.63	0.63
>200	244.00	2.80	1.00

Кроме того, если увеличить количество исходных данных для выявления зависимости между высотой озера над уровнем моря и глубиной, т.е. использовать все имеющиеся данные по 290 озерам, возможно, зависимость будет более ярко выражена. Распределение средней и максимальной глубин озер по высоте над уровнем моря представлено на рис.3.1.1. Увеличение средней и максимальной глубины озер происходит с ростом высоты местности примерно до 110-120 м над уровнем моря, затем глубины уменьшаются, уменьшается и количество озер. Интересно, что именно этих отметок (110-130 м) достигают и обнажения известняковых пород [15,45], и именно на этой высоте на возвышенности Пандивере расположена зона поглощения поверхностных вод карстовыми образованиями (зона питания):

территория в 1500 кв.км с отсутствием водоемов и водотоков.



В южной части Эстонии такая высота характерна для склонов возвышенностей, сложенных рыхлыми осадочными породами гляциального происхождения. Другими словами, этими высотами характеризуются склоновые участки, на которых озера просто не образуются. Выше, на вершинах возвышенностей, которые в Эстонии имеют платообразные формы, условия для образования озер более благоприятные, и их количество несколько возрастает.

Связь распределения характеристик озер с подстилающими породами навела на мысль сравнить характер колебания грунтовых вод с озерными.

3.2 Связь амплитуды колебания уровня озер с грунтовыми водами

В качестве исходных были использованы материалы наблюдений за уровнем грунтовых вод в 51 хозяйственном колодце, производимых ЭМГИ с 1967 по 1991г. Средние данные за указанный период представлены в таблице 12 Приложения. В графе 2 дано название пункта наблюдения (в подавляющем большинстве наблюдения за уровнем

грунтовых вод приурочены к гидрологическим постам); в графе 3 - высота поверхности земли (Н); в графе 4 - средняя глубина до уровня грунтовых вод от поверхности (h); в графе 5 - средняя амплитуда колебания уровня грунтовых вод; в 6 графе отмечен характер подстилающих почво-грунтов.

По данным наблюдений было построено распределение по высотам глубины залегания грунтовых вод и амплитуда их колебания (рис.32 Приложения). Сравнение его с двумя распределениями, построенными для озер (рис.31 Приложения и рис.3.1.1), показывает их значительное сходство. Колодцев, на которых ведутся наблюдения за уровнем грунтовых вод мало, и расположенных на высоте более 140 м над уровнем моря нет. Распределение амплитуды колебания уровня воды в колодцах говорит об общей тенденции ее снижения с высотой местности, тогда как глубина залегания уровня возрастает и достигает на высоте 80-90 м 3-3.5 м, а затем резко падает до 2 метров.

Сгруппировав колодцы по характеру грунтов и построив зависимости амплитуды колебания уровня грунтовых вод от глубины их залегания в разных грунтах (рис.33-36 Приложения), получим ответ на вопрос, как зависит амплитуда от характера грунтов. Две, наиболее четкие зависимости, получились в наиболее чистых, не смешанных грунтах и породах: в песчано-гравелистых (рис.33 Приложения) и в известняке (рис.36 Приложения). Причем зависимости эти имеют противоположные знаки - если в известняковых породах амплитуда тем больше, чем больше глубина залегания вод, то в песчано-гравелистых отложениях - наоборот, - чем глубже залегают воды от поверхности земли, тем меньше амплитуда колебания уровня. Объясняется такая разница просто. Известняк - порода скальная, цельная, и его целостность тем меньше, чем ближе он к поверхности. Поэтому, чем глубже залегают воды, тем меньше там трещиноватость породы, тем большую амплитуду колебания грунтовых вод вызывают изменения водности в этих слоях. В песчано-гравелистых грунтах именно верхние слои реагируют на

колебания водности резче, т.к. в верхних 0.5-2 м находится и корневая система растений.

В случае с песчано-гравелистыми отложениями, зависимость амплитуды колебания уровня грунтовых вод от глубины залегания, полученная по данным 11 колодцев, описывается уравнением (3.2.1):

$$A = 1.88 - 0.3h, \quad (3.2.1)$$

где A - средняя многолетняя годовая амплитуда колебания уровня грунтовых вод, м;

h - средний многолетний уровень грунтовых вод (от поверхности земли), м.

Коэффициент корреляции составляет 0.93.

Вторая из полученных зависимостей относится к известняку. Для определения зависимости амплитуды колебания уровня грунтовых вод от глубины их залегания в известняке были использованы 9 колодцев (рис.36 Приложения), по материалам наблюдений в которых получена следующая зависимость:

$$A_{гр} = 0.505h + 0.29, \text{ (м)}. \quad (3.2.2)$$

Коэффициент корреляции 0.82.

Две другие зависимости, полученные для смешанных грунтов разных частей Эстонии (рис.34, 35 Приложения), имеют слишком большой разброс точек, который обусловлен широким интервалом колебания гранулометрического состава этих грунтов, и поэтому аналитическое выражение этих зависимостей не приводится.

Теперь, после получения зависимостей по грунтовым водам, вернемся к зависимостям амплитуды колебания уровня озер от их глубины. Наиболее ярко сходство между зависимостями амплитуды колебания уровня озер и грунтовых вод от глубины озера и глубины

залегания уровня грунтовых вод проявляется там, где подстилающие грунты и породы более однородны. Так, прибрежные озера (рис.29 Приложения) очень четко демонстрируют наложение этих двух зависимостей (рис.3.2.1а), а именно: зависимости для известняков и песчано-гравелистых грунтов. На островах Саарема и Хийумаа выходы известковых пород на дневную поверхность почти повсеместны [15,51], поэтому и зависимость амплитуды колебания уровня прибрежных озер от их глубины практически совпадает с зависимостью амплитуды колебания грунтовых вод от глубины их залегания в известняках. Тогда как в песчано-илистых отложениях Западной Эстонии и мощных толщах песка Предглинтовой или Чудско-Псковской низины зависимость более сходна с представленной на рис.33 Приложения. Если же посмотреть озера погребенных долин (рис.23 Приложения), почти полностью находящихся в рыхлых песчано-гравелистых, слабо оглеенных отложениях, то зависимость их амплитуд от средней глубины водоема совпадает полностью с аналогичной для грунтовых вод в песчано-гравелистых грунтах. На рис.3.2.1 а и б продемонстрировано наложение упомянутых озерных и грунтовых зависимостей. Наложение позволило уточнить зависимость для озер со средней глубиной более 4 м в песчано-гравелистых отложениях:

$$A_{оз} = 1.1 - 0.11h \quad (3.2.3)$$

Таким образом, вполне возможно предположить, что многолетняя амплитуда колебания уровня озер в значительной степени совпадает по величине с амплитудой колебания уровня грунтовых вод в однотипных подстилающих грунтах.

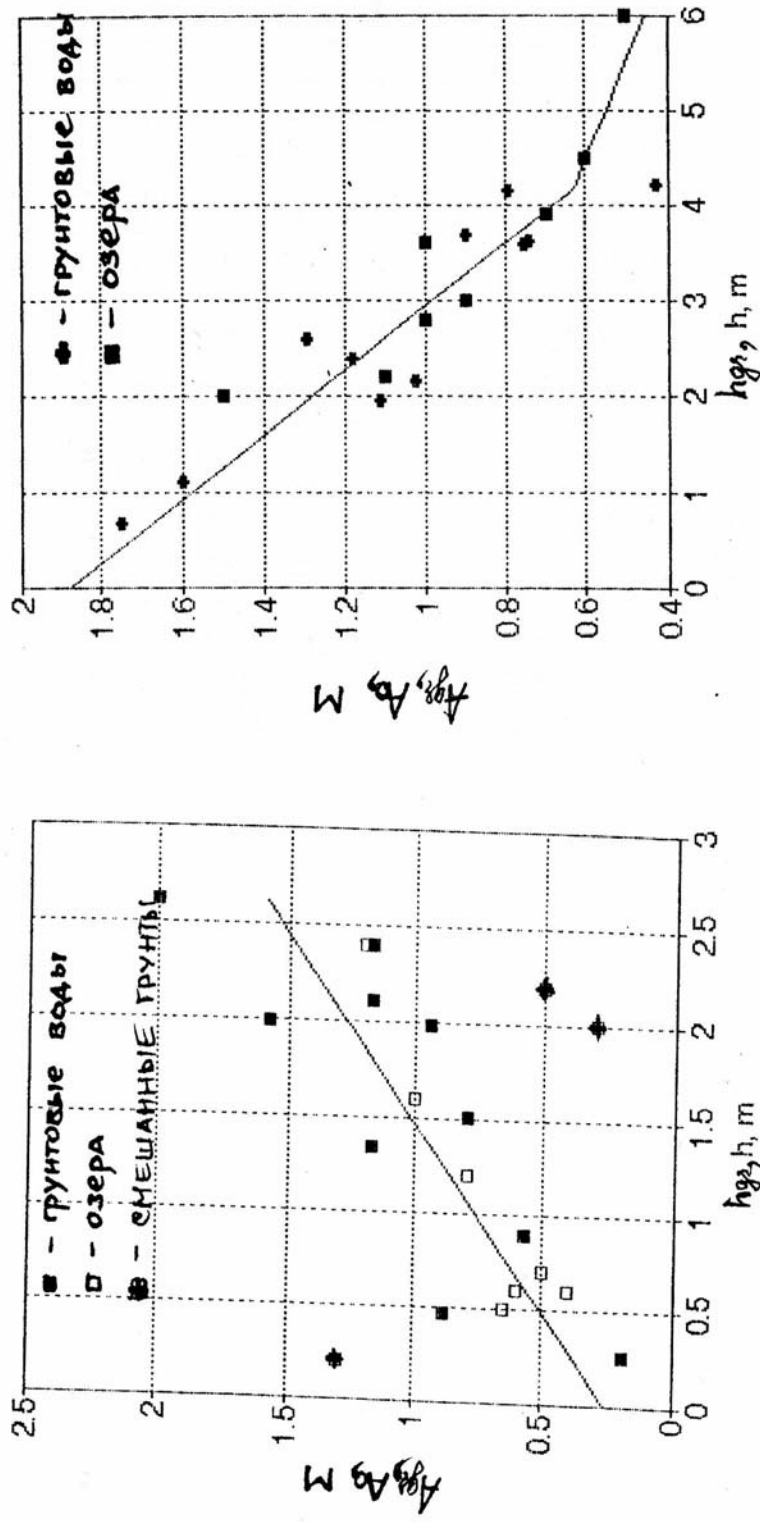
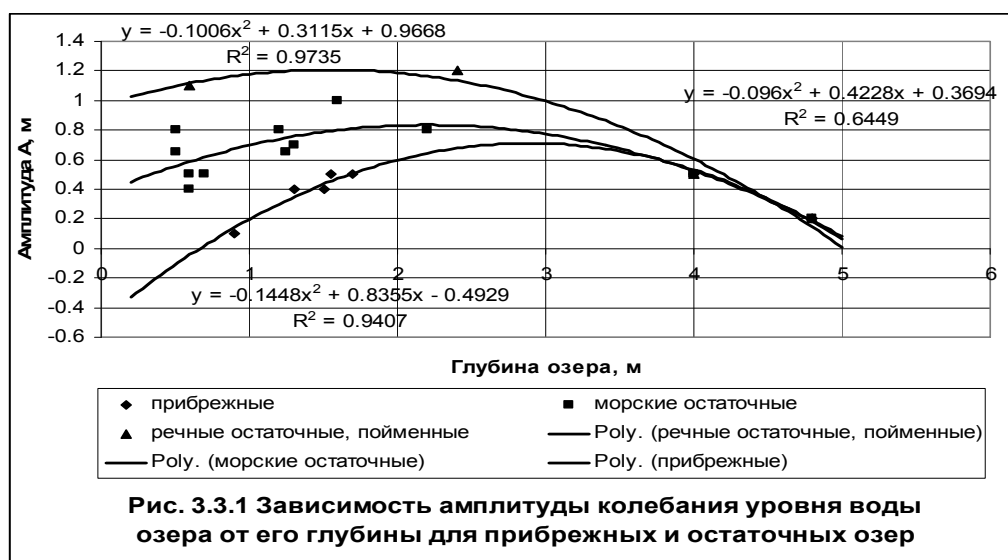


Рис. 3.2.1. Зависимость колебания уровня озер и грунтовых вод от средних глубины озера и залегания зеркала грунтовых вод в известняках (а) и песчано-гравелистых отложениях (б)

3.3 Результаты применения зависимостей по грунтовым водам для малоизученных и неизученных озер Эстонии

Исходя из высказанного предположения, что совпадение зависимостей $A=f(h)$ по озерам и грунтовым водам в известняках и песчано-гравелистых грунтах можно перенести и на смешанные грунты, была произведена оценка амплитуды колебания уровня для озер, по которым имеются данные об амплитуде. Суммарные результаты оценки для озер лимно-гляциальных, заболоченных, друмлиновых, эрозионно-гляциальных, флювиогляциальных потоков, погребенных долин, а также конечных морен и термокарстовых приведены в таблице 3.3.1. Результаты по каждому из 105 озер помещены в таблице 14 Приложения. Результаты оценки амплитуды колебания уровня, произведенной по зависимостям для грунтовых вод, полученной для прибрежных и остаточных озер, в таблицу не помещены, поскольку они совершенно очевидно говорят о невозможности такой связи. В обеих таблицах по этим озерам приведены отклонения, характеризующие разброс точек в зависимости, построенной по 15 озерам этих типов и оцененной по другим десяти (рис.3.3.1). Бессточные и сезонные этих типов из расчетов



исключены.

При анализе таблицы 14 Приложения, где помещены результаты по каждому озеру в отдельности, следует отметить, что для озер погребенных долин и эрозионно-гляциального происхождения зависимости работают вполне удовлетворительно, при этом для обеих групп озер не обнаруживается зависимости амплитуды от площади водосбора и показателя площади озера $K_{ср}$.

Для озер флювиогляциальных подледниковых потоков грунтовые зависимости не работают в интервале малых глубин ($h=0-3.5$ м), особенно при глубинах < 2 м. При этих глубинах амплитуда колебания озера значительно меньше той, которая получается по грунтовым зависимостям, особенно для озер с водосборами < 2 км².

Таблица 3.3.1

Результаты оценки амплитуды колебания уровня озер по зависимостям для грунтовых вод

Тип группы озер	кол- во озер	Аф, м	Ср.кв.откл. м	dA/Аф
Лимно-гляциальные	7	0.87	0.48	0.71
Заболоченные	19	0.72	0.39	0.9
Друмлиновые	6	0.83	0.42	0.83
Эрозионно-гляциальные	15	0.87	0.29	0.31
Фл.виогляциальных потоков	17	0.58	0.20	0.28
Погребенных долин	8	0.91	0.35	0.20
Конечных морен и термокарстовые	9	0.81	0.55	0.74
Прибрежные	10	0.73	0.16	0.25
Остаточные	15	0.62	0.28	0.29

Лимно-гляциальные озера демонстрируют уменьшение расчетной по грунтовым зависимостям амплитуды с ростом $K_{ср}$ от 0.025 и выше, и ее увеличение для $K_{ср} < 0.01$.

Для озера друмлиновых, термокарстовых и конечных морен довольно трудно выявить систему в отклонениях в силу их малого количества. Кроме того, не исключены ошибки и неточности в

приводимых описаниях, при определении приоритетов того или иного грунта в ложе озера, достоверности данных по средним и максимальным глубинам.

Что касается заболоченных озер и точности оценки амплитуды колебания их уровня, то по этому поводу следует отметить необходимость учета не только подстилающих грунтов, но и первичного происхождения, и тех особенностей, которые отмечены по каждой группе выше.

Для всех групп озер при оценке их уровенного режима необходимо учитывать такую информацию о его особенностях, как влияние переменного подпора от близлежащего другого водного объекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге проведенной работы получены следующие результаты.

1) Разработан метод районирования коэффициента полезной емкости озера, позволяющий произвести отдельную оценку зональных и азональных соотношений стока из озера и амплитуды колебания его уровня в зависимости от показателя его площади;

2) собран, систематизирован и проанализирован материал по 290 малоизученным и неизученным в гидрологическом отношении озерам Эстонии разного происхождения, представляющий основу как для настоящего исследования, так и для дальнейших научных и практических разработок;

3) разработанный метод районирования коэффициента полезной емкости озера является основой для определения фоновых, обусловленных климатом и наиболее характерными для рассматриваемого района почво-грунтами, соотношений между стоком из озера, амплитудой колебания его уровня и показателем площади водоема;

4) критерием выделения климатически однородного района является зависимость единичного коэффициента полезной емкости озера (1-метровой призмы слива) от удельного показателя площади водоема, сглаженность которой зависит от близости величин потерь стока на испарение с водной поверхности (10-15%);

5) "фоновой" подстилающей поверхностью для Эстонии принята глинистая морена или просто морена (не песчаная);

6) на основе разработанного метода были получены номограммы фоновых соотношений многолетних величин стока из озера, амплитуды колебания его уровня и относительными размерами озера, соответствующие наиболее характерным для территории Эстонии, Кольского п-ва, Карелии и С-3 ЕТС бывшего СССР почво-грунтам и породам (средняя ошибка 9-10%), а также аналогичные номограммы для озер Эстонии, расположенных в песчано-гравелистых отложениях и тех, сток из которых подвержен систематическому воздействию переменного подпора;

7) количественная оценка влияния на величину стока таких факторов подстилающей поверхности водосбора как заболоченность, озерность, переменный подпор в истоке из озера, а также неоднозначного влияния карста и песчано-гравелистых отложений, как отклонение от фоновых соотношений;

8) неоднозначное влияние рыхлых грунтов и явлений карста на сток оценено принципиально, а именно: для озер конечных морен и термокарстовых, а также прибрежных и остаточных, т.е. озер, не имеющих развитой гидрографической сети, сток соотносится с амплитудой колебания их уровня в соответствии с фоновым, а в случае наличия подпорных явлений в истоке - с номограммой для подпорных явлений; для озер, расположенных в зоне питания карстовых образований, соотношения между стоком из него и амплитудой колебания его уровня также будут определяться в соответствии с номограммой для подпорных явлений; озера, расположенные в рыхлых

грунтах с хорошо развитой гидрографической сетью, а также озера зоны разгрузки карстовых вод, имеют соотношения между стоком из них и амплитудой колебания их уровня в соответствии с номограммой для озер в песчано-гравелистых отложениях;

9) найденная количественная связь величины амплитуды колебания уровня озер с колебаниями уровня грунтовых вод в разных типах грунтов, для озер разного происхождения в разных районах Эстонии, позволила определить величины амплитуды колебания уровня для большинства неизученных озер Эстонии;

10) при количественной оценке уровня режима разных типов озер по происхождению были учтены следующие моменты: прибрежные и пойменные озера имеют амплитуду колебания уровня, обусловленную колебаниями уровня того водного объекта, который формирует данное побережье или пойму, в зависимости от высоты положения расчетного озера над данным объектом (морем, рекой или другим озером);

11) полученные для озер Эстонии фоновые номограммы, а также номограммы для озер с песчано-гравелистыми грунтами и условиями подпора истока из озера, были использованы в качестве рабочих при оценке стока из 290 озер Эстонии, амплитуда колебания уровня которых предварительно была определена в соответствии с пунктами 9 и 10;

12) определены условия существования бессточных озер на территории Эстонии.

ВЫВОДЫ

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Территориальная и временная изменчивость коэффициента полезной емкости озер β позволяет производить раздельную оценку зональных и азональных ее составляющих для озер любых размеров, происхождения и географического положения.

2. Зависимость нормированного коэффициента единичной емкости $\beta_{ед}$, соответствующего 1-метровой призме слива, от нормированного по величине стока показателя площади водоема ($K_{ср}/M_o$) является критерием однородности по зональной величине потерь стока на испарение с водной поверхности как по территории (для расчетного района), так и во времени (для конкретного расчетного озера). Для выявления пространственной однородности расчетной территории необходимы обобщенные данные наблюдений за стоком из озер и их уровнем за единый период продолжительностью не менее 10 лет.

Конкретные количественные выводы по временной изменчивости $\beta_{ед}=f(K_{уд})$ требуют дополнительных исследований.

Зависимость $\beta_{ед}=f(K_{уд})$, построенная по двум или нескольким расчетным районам позволяет определить разницу между нормированными потерями стока на испарение с водной поверхности в этих районах.

Возможность раздельной оценки влияния зональных и азональных факторов на регулируемую способность озер была реализована в методе районирования коэффициента полезной емкости озер, разработанном автором. Метод заключается в определении характерного (фонового) для исследуемого района фактора подстилающей поверхности и построения для этого фона зависимости $\beta=f(K_{ср})$. Координаты полученной кривой являются исходной точкой для расчета районной нормы соотношений между стоком из озера M_o , амплитудой колебания его уровня A_o и показателем площади водоема.

В результате применения разработанного метода были получены фоновые расчетные номограммы $M_o=f(A_o, K_{ср})$ для озер Кольского п-ва, Карелии, Северо-Запада и Эстонии как основы для последующей оценки влияния азональных факторов подстилающей поверхности на сток из озера и его амплитуду.

3. Коэффициент полезной емкости озер β является универсальным гидрологическим параметром, который может быть положен в основу

определения понятия сточного озера, независимо от его размеров, географического положения и происхождения. Для бессточных озер этот параметр не определяется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азаркович Е.Ш. Режим колебаний уровня воды в озерах центра и севера ЕТС// Сборник работ по гидрологии. - 1968.- N8. - с.152-165.
2. Андреянов В.Г. Внутригодовое распределение стока. - Л.: Гидрометеиздат, 1960.
3. Баранов В.А., Попов Л.Н. Карты минимального стока рек Европейской территории СССР// Труды ГГИ - 1966. - Вып.133.
4. Богословский Б.Б., Гордиенко В.Я. О влиянии относительных размеров озер на колебания уровня воды//Вестник МГУ, серия география.- 1967.-N2.-с.128-132.
5. Богословский Б.Б., Догановский А.М. Некоторые проблемы водного баланса и уровня режима озер//Межвуз.сб. Ленинград.гидромет.ин-т. - 1981.-N74.- с.29-38.
6. Богословский Б.Б., Самохин А.А., Иванов К.Е., Соколов Д.П. Общая гидрология. - Л.: Гидрометеиздат, 1984.
7. Бурнейкис П.П. Определение эффективного полезного объема водохранилища по гидрологическим условиям.//Liet.TSR mosklu Akad.dorbai, Тр. АН Лит.ССР. Сер.Б. - 1974. - n2. - с. 99-105.
8. Вареп Э.Ф. Физико-географическое (ландшафтное) районирование Эстонской ССР// Учен.зап. Латвийского гос.ун-та. IV, Геогр.науки. - т.37, N32, с.349-359.
9. Ведом Р.М. О резервах водных ресурсов в водохранилищах энергетического назначения.// Сб.тезисов: Третья уральская конференция молодых ученых и специалистов "Проблемы охраны и рационального использования водных ресурсов". - Свердловск, 1977.
10. Ведом Р.М. Озеро как стокомер.//Сб.тезисов: "Проблемы и пути рационального использования природных ресурсов и охрана природы". - Вильнюс, 1986.
11. Веселова М.Ф. О влиянии удельного водосбора на водный баланс озер//Вестник ЛГУ, геология-география.- 1969.-N18, вып.3.
12. Викулина З.А. Водный баланс озер и водохранилищ СССР.- Л.: Гидрометеиздат, 1979.-189.с.
13. Волошин И.И. Исследования по гидрологии карста в УкрНИГМИ.// Тр. Укр. н-и.гидромет.ин-та. - 1978. - n166. - с.109-115.

14. Волошин И.И., Каноненко Н.И. О влиянии высотной зональности и карста на внутригодовое распределение стока рек Карпат.// Тр. Укр. н-и.гидромет.ин-та. - 1978. - n162. - с.50-60.
15. Гидрогеология СССР. т.XXX, Эстонская ССР.- М.,1966.
16. Глазачева Л.И. Послемелиоративные изменения в режиме озера Буртниеку и реки Салацы.// Вод. ресурсы. - 1984. -N2. - с.87-93.
17. Гнучих В.Г. Пойменные озера и их гидрологический режим.// Вопр. мелиор. Томск.Приобъя/ Вып.1, Томск. - 1974. - с.80-98.
18. Грани гидрологии/ Под ред. Дж.К.Родда. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. - 535 с.
19. Гронская Т.П., Знаменский В.А., Москвина Н.Н. Некоторые закономерности зонального распределения составляющих водного баланса озер и водохранилищ земного шара (анализ и практические рекомендации).//Тр.ГГИ.- Вып.274.-с.3-9.
20. Елшин Ю.А. Зависимость режимных характеристик озер от их показателя площади//Метеорология и гидрология.- 1971.- N3.
21. Фролов А.В. Динамико-стохастические модели многолетних колебаний уровня проточных озер. - М.: Наука, 1985.
22. Каринг П.Х. Агроклиматическая оценка и методы использования ресурсов мезо- и микроклимата в сельском хозяйстве: Автореферат.- Л., 1991.- 64 с.
23. Килкус К.И. Влияние озерности на речной сток в Литве//Тр. АН Лит.ССР, сер.Б.- 1976.- Т.6(97).
24. Килкус К.И. Некоторые аспекты гидрологии малых озерных водосборов.// Метеорол.,климатол. и гидрол. - 1990.- N26. - с.52-56.
25. Коровин В.И., Самоукова Г.Н., Быкова В.В., Коровин А.В. Исследование связей уровней воды озер с гидрометеорологическими факторами.// Геогр.науки. - Алма-Ата. - 1974. - Вып.4. - с.12-16.
26. Марков К.К. Географические типы развития озер.//Baltica. Вильн.с. - 1974. - Т.5.- с.41-45.
27. Маркус Я.А. Некоторые аспекты применения ландшафтных карт в гидрологии.//Вестн. Моск. Ун-та. География. - 1975. - N1. - с.77-83.
28. Мордовин А.М. Регулирующая роль озер Удиль-Кизинской низменности в режиме Амура.// Изв.АН СССР, сер.геогр. - 1975.- n6. - с.75-81.
29. Муравлев Г.Г. Ландшафтная классификация малых озер Казахстана.// Геогр. науки. - Алма-Ата. - 1974. - Вып.4. - с.50-61.
30. Никитин А.Н. О современном состоянии бессточных озер восточного Памира.// Тр. Среднеаз. региональн.н-и. гидромет.ин-та. 1975. - вып.25(106). - с.79-90.
31. Новиков С.М. О развитии болотных массивов в лесной зоне// Метеорол. и гидрол. - 1991. - N3. - с. 95-100.

32. Панов Б.П. О влиянии озер на гидрологические условия прилегающей местности и речной сток// Тр. ЛГМИ, - 1975. - вып.55.
33. Поленов И.К., Устинов Г.Н. Оценка подземного питания рек Карелии методом расчленения их гидрографов.//Метеор.и гидрол. - 1981. - N5, - с.24-31.
34. Пронин А.Г. Изменчивость элементов водного баланса крупных озер Северо-Запада ЕТС//Режим озер: Тр. Всесо.знного симп., Вильн.с, 1970.- Т.1.- с.303-312.
35. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. т.4. Прибалт. р-н., Вып.1. Эстония.- Л.: Гидрометеиздат, 1963.- 162с.
36. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.4. Прибалт.р-н. вып.1. Эстония.- Л.: Гидрометеиздат, 1972. - 551с.
37. Родионов В.З. Влияние прудов и малых водохранилищ на сток рек лесостепной и степной зон бассейна Волги.//Тр.ГГИ. - 1975. - Вып.229. - с.106-122.
38. Савельева Т.С. Структура речных водосборов в болотных ландшафтах. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 144с.
39. Соколов А.А. Связь водного баланса озер с размерами озера и его бассейна в различных географических условиях. // Вопросы гидрологии. М., 1957.- с.195-204.
40. Солнцев Н.А., Маркус Я.А., Мамай И.И. Ландшафтные исследования речных бассейнов для гидрологических целей.//Вопросы географии. - 1976. Сб.102. - с.75-92.
41. Сумароков В.С. Средняя многолетняя амплитуда уровней воды в озерах северной части СССР.// Метеорол. и гидрол./ - 1947.- N6.
42. Тамразян Г.П. Ресурсы озерных вод территории СССР и некоторые особенности в их распределении.// Докл.АН СССР. - 1976. - 226. - N4. - с. 899-902.
43. Шахов И.С., Вedom Р.М., Богатырев В.Д. Зарегулированность стока рек Урала и перспективы повышения водообеспеченности населения//Сб. "Вопросы гидрологии и использования водных ресурсов". Уфа, 1979.
44. Шахматова Р.А., Леонтьева М.Н., Кравченко А.А., и др. Комплексные исследования озер Горьковской области.//Гидробиол. ж.- 1980. - Т.16.- N3.
45. Эйпре Т.Ф. Водные ресурсы закарстованной Пандивереской возвышенности Эстонии.- Л.: Гидрометеиздат, 1981.- 159с.
46. Эдельштейн К.К. Структура водного баланса озер и водохранилищ.// Вестн. МГУ. География. - 1978. - N6. - с.3-12.
47. Яагус Я. Пространственно-временная изменчивость метеорологических полей и ее влияние на формирование урожайности ярового ячменя на территории Эстонской ССР: Диссертация на соискание ученой степени канд.геогр.наук.- Л, 1989.
48. Eesti jarved. - Tallinn, 1968.- 548lk.
49. Eesti jogede valgate kataloog: 1-3 kd./Eesti Maaparandusprojekt.- Tallinn, 1980.

50. Entekhabi Dara, Eagleson Peter S. Climate and the equilibrium state of land surface hydrology parametrizations.// Surv.Geophys. - 1990 - 12, N1-3. - p.205-220.
51. Heinsalu,U. Eesti NSV koopad.- Tallinn.: Valgus, - 1987.- 159lk.
52. IHMS Integrated Hydrological Model System // Manual/ Swed.Meteor. and Hydrol.Inst. - Norrkoping. - 1994.
53. Kask,I. Eesti NSV jarvede nimestik.- Tallinn, 1964.- 222lk.
54. Loopmann, A. Eesti NSV jarvede valglad ja veevahetus.//Eesti NSV jarvede nuudisseisund., Tartu, 1982.- lk.9-19.
55. Maemets, A. Eesti NSV jarved ja nende kaitse. Tallinn, 1977. - 263 lk.
56. Vedom R. The hydrological and hydrochemical features of the water regimes of swamped and drained small watersheds// BIOGEOMON and WORKSHOP on Integrated Monitoring/Czech Geological Survey. - Prague, 1993.
57. Vedom R. Global regularity of lake adjustment//Annales Geophysicae. Suppl.vol. - Hamburg, 1995.
58. Vedom R. Estonian lakes: origin and water regime //Estonian Marine Academy. - Tallinn, 1995.
59. Vedom R. Estonian lakes: water level altitude dependence on the ground water table fluctuations.//SOLUTIONS'95 - Intern.Congr.XXVI/ Intern.Assoc.Hydrogeol. -Alberta, 1995.
60. Vedom R. Eesti jogede vooluhulga mootmisarvu luhendamise voimalustest.// Meteor. ja hudrol. uurimises toos Eestis. - Tallinn, 1995. (эст.)