



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Гидрологии суши

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Особенности увлаженности**
бассейнов озерных систем в
условиях гумидного климата

Исполнитель Кичигина Анастасия Петровна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель д.г.н., проф.
(ученая степень, ученое звание)

Мякишева Наталья Вячеславовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

канд. геогр. наук., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сикан Александр Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

« 8 » июня 2018 г.

Санкт-Петербург
2018



Оглавление

	Стр.
Введение.....	2
1 Физико-географическое описание региона исследования.....	4
1.1 Климатические особенности.....	4
1.2 Подстилающая поверхность.....	10
1.3 Хозяйственная деятельность.....	16
2 Увлажненность территории: определение, индексы увлажненности, районирование.....	18
2.1 Определение	18
2.2 Индексы увлажненности.....	20
2.3 Районирование территории.....	27
3 Особенности увлажненности озерных систем региона исследования.....	29
3.1 Постановка задачи.....	29
3.2 Методика расчета индекса увлажненности $H(q;I)$	31
3.3 Процедура построения индекса увлажненности $H(q;I)$	37
3.4 Особенности распределения по территории индекса увлажненности.....	39
3.5 Особенности многолетней изменчивости индекса $H(q;I)$	43
3.6 Выделение трендов фильтром Баттерворта.....	46
3.7 Связь между индексами увлажненности	48
Заключение.....	52
Список использованной литературы.....	55
Приложение А.....	57
Приложение Б.....	66

Введение

Достаточно широкое понятие -это увлажненность территории. Под увлажнением понимают соотношение тепла и влаги на границе раздела атмосферы и поверхности суши, влияющие на климат и определяющие состояние поверхностных и подземных вод в их взаимодействии.

Существует два различных по степени увлажнения территории типа климата - это аридный и гумидный. Аридным считается климат- сухой с недостаточным увлажнением. Встречается в пустынях и полупустынях, где испаряемость значительно превышает испарение. Климат при котором количество солнечного тепла недостаточно для испарения всей влаги, которая поступает в виде осадков - это гумидный климат - это климат с избыточным увлажнением. Избыток влаги удаляется поверхностным стоком.

Внимание к проблеме изменения климата и природной среды возросло в последнее время, а так же и отдельных регионов России в условиях глобального потепления. Результаты многочисленных исследований показали, что за последние 100 лет наблюдается постепенное повышение температуры воздуха в глобальном масштабе.

Изменение режима и других элементов природной среды, в частности, режима увлажнения суши проявляется глобальное потепление. Поэтому актуальной становится оценка увлажненности озерных бассейнов в условиях современного климата. Климат и непосредственно с ним связанная общая увлажненность испытывают непрерывные колебания, значительные и различной продолжительности. Известно, что общая увлажненность вместе с определяющими ее колебаниями климата, стока рек, состояния озер и болот подвержена циклическим колебаниям- многовековым, вековым, внутривековым. Общая увлажненность в процессе таких циклических колебаний проходит через фазы трансгрессивные, короткие и энергично развивающиеся и регрессивные развитие которых проходит замедленно и спокойно иногда маловыраженно. Таким первым фазам свойственны

климатические условия более прохладно и повышенная водность (и влажность). А другим фазам регрессивным свойственны условия большей сухости.

Объектом настоящего исследования являются бассейны озерных систем. Под озерными системами понимается озеро и его водосбор, рассмотренное как единое целое. Исследуемые озерные системы расположены на территории Кольского полуострова, Карелии, северо-запада и нечерноземных областей России, а также стран Балтии и Беларуси т.е. в различных ландшафтно-географических и климатических зонах.

Целью данной работы является оценка увлажненности озерных систем рассматриваемого района. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- 1) Рассчитать различные индексы увлажненности территории
- 2) выявить особенности распределения индексов по территории
- 3) выполнить районирование

Для решения поставленных задач использовались данные по 132 озерным бассейнам расположенным в пределах исследуемого региона. Рассчитывались следующие индексы: коэффициент стока α , индекс Де-Мартони и α^M , индекс увлажненности $H(q;I)$. Использовались средние многолетние значения температуры воздуха (T), осадков (P) модуль стока q , отнесенные к центрам тяжести озерных систем, снятые с карт Мирового водного баланса. Для расчета индекса увлажненности $H(q;I)$ использовался метод рандомизированных сводных показателей.

Квантильный анализ использовался для характеристики распределения по территории использовался. Считалось, что территория находится в зоне повышенного увлажнения, если значения индексов увлажненности превышали квантиль 0.75, и в зоне пониженного увлажнения, если значения индексов увлажненности были меньше квантили 0.25.

1 Физико -географическое описание региона исследования

1.1 Климатические особенности

Данный район исследования ограничен территориями: Кольского полуострова, Карелии, северо-западной и нечерноземной частями Российской Федерации, стран Балтии и Беларуси, расположен в зоне западно-атлантического переноса, создающего повышенную увлажненность территории. На данной территории колеблется средняя годовая температура воздуха от -1.2°C до 6.7°C . Достигается абсолютный минимум температуры воздуха от -50 до -52°C (Ленинградская, Новгородская, Псковская области). В долинах рек Паша и Оять абсолютный минимум опускается до -55°C , на остальной территории составляет от -40 до -48°C , снижаясь на побережье Балтийского моря. Абсолютный максимум температуры воздуха достигает 31 36°C , на водоемах 28 -31°C . Район характеризуется небольшим приходом тепла и хорошо развитой здесь циклонической деятельностью.

Большое влияние на распределение осадков оказывает подстилающая поверхность и орографические особенности местности, нарушающие плавный характер изменения осадков. Перераспределение осадков обуславливают даже небольшие возвышенности: увеличение их на наветренных склонах и уменьшение на подветренных склонах и в за возвышенностями. Вблизи крупных водоемов заметно уменьшается количество осадков, таких как Белое море, Финский залив, Ладожское, Онежское, Псковское и Чудское озера, а также озеро Ильмень. Все это обуславливает неравномерное распределение осадков по территории. На большей части исследуемого района в среднем в год выпадает 600 -800 мм. На наветренных склонах максимум годовых сумм осадков наблюдается на: Валдайской возвышенности и на побережье Балтийского моря (800 -900 мм). Таким образом в некоторых районах этой возвышенности годовые суммы осадков могут превышать 900 мм. Осадки распределены внутри года. В

теплый и холодный период характер их распределения по территории в имеет много общего с годовым. Влияние возвышенностей на перераспределение осадков более заметно в теплый период года, чем в холодный. Осадки холодного периода составляют 40-45 % годовых. На большей части территории минимум количества осадков приходится на июль-август. Из года в год изменчивость месячных сумм осадков для теплого периода особенно велика. На юго-западе и севере рассматриваемой территории достаточно большие различия температур воздуха (почти 9 °С) и относительно мало изменяющееся количество осадков (200 мм) определяют заметное различие в соотношении тепла и влаги. Расположено несколько географических зон в результате на рассматриваемой территории от умеренной до арктической т.е. зон достаточного и избыточного увлажнения с коэффициентами стока превышающими 0.5 и индексом сухости менее 1.0. Имеет широтное распределение испарение с поверхности суши изменяется от 100 до 500 мм. Рассмотрим распределение тепла и влаги по отдельным районам потому что анализируемая территория обширна и особенности климата в ее пределах существенно изменяются.

Окружающие моря влияют на особенности климата Кольского полуострова они оказывают воздействие особенно, запасов тепла, приносимых теплыми Норвежским и Нордкапским течениями (система Гольфстрим). На побережье Кольского полуострова зима продолжается 6 месяцев (ноябрь -апрель), а в центральной части до 7 (октябрь -апрель). В этот период изменяется средняя месячная температура от —2 до -14 °С. Абсолютный минимум температуры достигается в самые холодные месяцы -январь и февраль, от -28 до —36 °С. Среднемесячная температура наиболее теплого месяца —июля не превышает 13 -14 °С. Возвраты холодов и заморозки при этом довольно часто наблюдаются. Устойчивый переход происходит в третьей декаде сентября среднесуточной температуры через 5°С. Дождливая и с ветреной погодой обычно бывает затяжная осень. К зоне

избыточного увлажнения относится Кольский полуостров, годовое количество осадков для значительной части территории превышает 500 -600 мм. Осадки выпадают неравномерно в течение года. Выпадает на теплый период большая их часть, примерно 60 % годовой суммы. Одинаковое количество твердых и жидких осадков за год выпадает примерно твердых и жидких осадков, от 38 до 49 %. Испаряемость изменяется от 300 до 350 мм, а индекс сухости не превышает 0.5 -0.6. Карелия и северо-запад РФ. В северо-восточной части средняя годовая температура воздуха колеблется от 2 °С до 4.5 °С в южной. Январь и февраль самые холодные месяцы. В эти месяца средняя месячная температура воздуха составляет от-10 до —12 °С. Самым теплым месяцем является июль (14 -15 °С). Период с положительной температурой составляет 175 -200 дней. Весна начинается в начале апреля, характеризуется частыми возвратами холодов, а иногда и кратковременным установлением снежного покрова. Зима не отличается значительной суровостью, но длится 125-135 дней с ноября по март. На большей части рассматриваемой территории в среднем выпадает 600 750 мм осадков в год. Неравномерно осадки распределены внутри года. В теплый период выпадает от 300 до 400 мм осадков на севере территории и от 500 до 550 мм на юго-западе. Осадки холодного периода составляют 40 -45 % годовых. На равнинной территории минимальное количество осадков зафиксировано, прилегающей к Белому морю (550 мм), а максимальное (больше 800 мм) -на северо-западных склонах Тихвинской, Андомской, Валдайской возвышенностей. С севера на юг испаряемость изменяется от 400 до 500 мм, а индекс сухости не превышает 0.7.

Климат становится более мягким на территории стран Балтии (Эстония, Латвия, Литва), расположенных вблизи Балтийского моря,. Температура воздуха повышается до 5 -7 °С. С севера на юг при этом наблюдается ее увеличение. Февраль с минимальной температурой от -4 до -6 °С является самым холодным месяцем. Минимальная температура наблюдается в январе при продвижении от побережья вглубь территории и

может быть ниже -7°C . По данным средней температуры наиболее теплый месяц июль, средняя температура которого превышает $16-17^{\circ}\text{C}$. Затяжной характер носят переходные периоды весна и осень. Осенью холодные периоды могут сменяться потеплениями, а весной возможны возвраты холодов. Наблюдается зимой неустойчивый характер погоды. В зоне возможных зимних оттепелей вся рассматриваемая территория находится, а на побережье часто нет устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C . Лето влажное и наиболее устойчивая и теплая его часть продолжается 55-70 дней. Значительным увлажнением отличается территория стран Балтии отличается значительным увлажнением. Годовое количество осадков изменяется от 700 мм на севере до 950 мм на юге. выпадает. Несколько больше при этом, как правило, на побережье осадков, чем во внутренних областях. Осадки распределяются неравномерно в течение года, с апреля по октябрь большая их часть (65-70 %) приходится на теплый период года.

Остается высокой во все сезоны года относительная влажность воздуха, ее максимум наблюдается в декабре (до 90 %), а минимум - в мае (60-80 %). Для формирования больших значений испаряемости относительно высокая температура воздуха создает условия - до 550 мм, а индекс сухости, равный 0.65-0.75, близок к средней величине для всей рассматриваемой территории.

Беларусь. В озерном районе Беларуси южнее Швянтойской возвышенности, расположенной в Литве, климатические условия несколько иные. Немного выше средняя годовая температура воздуха и составляет $4.5-6.5^{\circ}\text{C}$. Наиболее холодный месяц январь, его среднесуточная температура достигает от -6 до -7.5°C . Продолжительность периода с температурой воздуха выше 5°C составляет около 190 дней. Июль является самым теплым месяцем. Однако его средняя температура несколько выше и равна 17.5°C . В районе в течение зимнего периода также часты оттепели. Поэтому погода и, особенно зимой, неустойчива. Годовая сумма осадков составляет 650-750, а местами достигает 800 мм. Осадки в течении года распределены

неравномерно. Около 65 % годовой суммы приходится на теплую часть года. В июле максимум осадков отмечается, минимум в марте. Жидкие осадки составляют 65 -70 %, твердые -10- 15 %. Общий фон соотношения тепла и влаги также позволяет отнести этот район к зоне достаточного увлажнения с индексом сухости, равным 0.8.

Часть Русской равнины Северная и северо-западная, на юге примыкающая к главному моренному поясу, а на западе граничащая с Беларусью, включает северо-западную часть Верхне-Волжского района и восточную часть Северного края. Средняя годовая температура воздуха составляет здесь 1.4-3.2 °С благодаря более континентальному положению Верхне Волжского района. Наиболее холодный месяц январь, его средняя температура за сутки составляет от -10 до -13 °С. В первых числах апреля начало весны отмечается. Достигается максимум температуры в июле температура и поднимается до 17 °С. Продолжительность теплой части лета 50-60 суток. Осенний переход через 0°С происходит в конце октября. Наступают в середине ноября устойчивые морозы. Зимние оттепели возможны и в этом районе. Средняя многолетняя годовая сумма осадков составляет 650-750 мм, в течение года осадки распределены неравномерно 60-70 % годовой суммы осадков приходится на теплую часть года с апреля по октябрь. В июле выпадает наибольшее количество осадков выпадает, наименьшее в феврале апреле. Жидкие осадки составляют 65-75 %, твердые 15-25 %. Индекс сухости также низок и составляет 0.75.

Более континентальный климат восточной части Северного края еще. Средняя годовая температура воздуха составляет около 1°С. Самый холодный месяц -январь, со средней температурой от -14 до —16°С. Наблюдается в июле или августе абсолютный максимум температуры воздуха и достигает 25 -30 °С. Начало весны. характеризуемое переходом температуры воздуха через 0°С, приходится на середину апреля. С севера возможны возвраты холодной погоды при прорывах масс холодного поэтика. Лето наступает в середине мая -начале июня и длится до второй

декады августа. В конце октября начинается зимний сезон. Зимой здесь также возможны оттепели. В зоне избыточного увлажнения находится рассматриваемый район. Годовое количество осадков, составляет 600 -750 мм, испаряемость 500 мм. Неравномерно выпадают осадки в течении. На теплый период года приходит основная их часть (65 -70 %). Годовой минимум в феврале осадки имеют, максимум -в июле- августе. Жидких осадков выпадает за год 50-60%, твердых-25-30%.

1.2 Подстилающая поверхность

На севере Европы расположен исследуемый район в зоне четвертичного оледенения и включает Кольский полуостров, Карелию, относящиеся к восточной и северо-восточной областям Балтийского кристаллического щита, и северо-западную часть Русской равнины, расположенную в пределах Русской платформы. В этой части находятся Ленинградская, Вологодская, Псковская, Новгородская и частично Ярославская, Костромская и Тверская области России, страны Балтии и Беларусь. Граница между щитом и платформой хорошо выражена и представлена полосой депрессий, протянувшихся между Финским заливом и Белым морем. Балтийский щит сложен кристаллическими породами архейского и протерозойского возраста, на которых непосредственно залегают четвертичные отложения небольшой мощности. Мощным чехлом осадочных пород палеозоя и мезозоя русская платформа покрыта. И таким образом, подстилающая поверхность рассматриваемого района, ее геолого-геоморфологическое строение сложно и разнообразно и связано, в первую очередь, с отступлением Валдайского ледника. Сформировались в соответствии с особенностями климата послеледниковья почвенный покров и растительность.

Валдайский ледник сформировался в процессе деградации последнего специфическим мелкохолмистым рельефом с огромным количеством разнообразных депрессий, превратившихся в озера. Боковые и конечные морены одновременно четко прослеживаются. Являясь наименьшим из числа всех четвертичных оледенений как по занимаемой площади так и по мощности льда, контур площади, занятой ледником, в значительной степени определялся характером доледникового рельефа. Сохранились древние впадины на рассматриваемой территории (котловины Ладожского, Онежского и ряда других крупных озер) и возвышенности. Самая южная и

юго-восточная часть территории расположены вне зоны последнего оледенения и сохранили следы более древнего московского оледенения.

Намечаются определенные географические закономерности, в расположении комплексов ледникового и водно-ледникового рельефа связанные не только с последним ледником, но и с особенностями доледникового рельефа. Выделено четыре геоморфологические зоны по данным на территории последнего оледенения: внешняя, основная -главный моренный пояс, внутренняя, расположенная севернее и северо -западнее коренного пояса, зона ледниковой экзерации, включающая Кольский полуостров и Карелию. Внешняя зона зона краевых образований максимальной стадии Валдайского ледника (Бологовская стадия). Эта зона, как было отмечено выше, переходит в зону более древнего Московского оледенения. Преобладанием аккумулятивных озера ледниковых равнин этим характеризуется поверхность территории, отличительной особенностью которых является наличие отдельных гряд и разорванных полос холмистого моренного рельефа. Характерной особенностью является и относительно небольшая плотность впадин, заполненных водой, что связывается с большей древностью рельефа по сравнению с другими зонами и благоприятными условиями стока бассейны Волги, Днепра, Сухоны. Это, в свою очередь, способствовало образованию песчано-галечных равнин флювио-гляциального происхождения. Озерность больше снижается в зоне Московского оледенения. Наиболее распространенными почвами являются различные виды подзолов, торфяно-подзоло-листо-глеевые и болотные почвы. Территория на севере и востоке относится к зоне тайги. Юго-западная часть расположена смешанных лесов. Основные типы растительности представлены еловыми, сосновыми, березовыми лесами. Болотная растительность получила широкое распространение. Речная сеть хорошо развита, ее густота 0.3 -0.5 и несколько повышена на севере территории.

Водоразделы Балтийского, Черного, Каспийского и Белого морей приурочены к главному моренному поясу. В плане эта зона образует широкую дугу, протянувшуюся от южной Балтики до Белого моря, и состоит из ряда возвышенностей: Балтийская гряда, Швянтойская, Латгальская, Валдайская, Вепсовская, Тихвинская, Андомская и др. Средняя высота возвышенностей составляет 150-200 м, а максимальная высота превышает 700 м.

Чрезвычайное обилие озер является особенностью главного моренного пояса разных размеров и форм. Относительно высокими отметками территории объясняется такая повышенная озерность, еще не затронутыми эрозионными врезами. Поэтому многие озера являются замкнутыми, т.е. не имеют поверхностного стока. На территории этой зоны берут начало такие крупные реки как Даугава, Великая, Ловать, относящиеся к бассейну Балтийского моря, Северная Двина, впадающая в Белое море, Днепр, впадающий в Черное море и Волга, несущая воды в Каспийское море. В западной части основной зоны в пределах Литвы и Псковской области сосредоточены дерново-подзолистые и подзолистые почвы, залегающие на различных по механическому составу коренных породах. Встречаются также дерново-карбонатные, дерново-подзолисто-глеевые, подзолисто-болотные почвы. в меньшей степени распространены алювиальные почвы. Территория расположена в зоне хвойно-лиственных лесов. Помимо ели и сосны встречаются дуб, береза, ольха. При этом леса сильно вырублены и, например, на территории Литвы занимают всего 24 % площади. Северо-восточная часть главного моренного пояса расположена в зоне тайги, где преобладают еловые и сосновые леса с примесью березы. Почвы представлены средне-слабоподзолистыми, болотными и торфяно-подзолистыми супесчаными комплексами.

Совпадает с границей между Русской платформой и Балтийским кристаллическим щитом северная граница внутренней зоны. Огромные пространства являются главной особенностью зоны, занятые

аккумулятивными и абразионными озерно-ледниковыми равнинами (Псковская, Приильменская и др.). Абсолютные отметки поверхности 30 -50 М. Однако здесь же встречаются хорошо выраженные моренные гряды, высота которых может превышать 100 м (Бежаницкая, Лужская). С действием ледниковой эрозии связано развитие плоских озерно-ледниковых равнин связано. При отступлении ледника понижения заполнялись водами озерно-ледниковых бассейнов (древние моря), ограниченных на юго-востоке и, частично, на западе возвышенностями, а на севере осциллирующим краем ледника. Размеры этих бассейнов увеличивались по мере освобождения территории из подо льда. В пределах внутренней зоны от Эстонии до Ладожского озера протянулся Балтийско-Ладожский уступ-глинт, в районе которого находятся несколько небольших возвышенностей, высота которых достигает 80 м (Сойкинская, Семейская, Лемболовская, Токсовская и др) Реки, прорезающие глинт, отличаются порожистыми участкам. Наиболее значительные из них Пиирита, Луга, Нарва, впадающие в Финский залив Левые притоки Невы Ижора, Мга и др. наоборот имеют плавное, медленное течение. Отметки повышаются к востоку территории внутренней воны. Например, Олонецкая возвышенность, расположенная между Ладожским ,Онежским озерами, имеет высоту до 313 м. От Онежского озера на северо-восток по Беломоро-Онежскому перешейку простирается низина, продолжением которой служит депрессия, занятая Белым морем. Западная часть -дно ледниковых бассейнов с относительно небольшим количеством озер (озерность 2 -3%). Однако здесь расположены мелкие крупные остаточные озера: Лубана, Чудское, Выртсьярв, Ильмень. Невысокая озерность объясняется наличием уклона местности к северу из-за чего многие озера оказались спущенными. Восточная часть имеет более высокую озерность, превышающую 5 %. В западной части распространены подзолистые, подзолисто-глеевые, дернистно-карбонатные, болотные и аллювиальные почвы мощностью до 80 -100 м. В основном на них произрастают смешанные широколиственно-хвойные леса.

Ель, сосна, береза, осина являются преобладающими породами. Занята лугами значительная часть территории. Местность сильно заболочена. В восточной части преобладают супесчаные и суглинистые почвы, мощность которых не превышает 30-40 см. В основном хвойными лесами представлена растительность.

Территорию Карелии и Кольского полуострова занимает зона ледниковой экзерации. Свой отпечаток наложил на рельеф этой территории не только движущийся ледник, но и тектонические движения, свойственные Балтийскому кристаллическому щиту. Сам процесс экзерации стал причиной формирования борозд и так называемых бараньих лбов - скалистых холмов с отполированной ледником поверхностью, образовавшихся в местах выхода на поверхность коренных пород. Представляет собой холмисто-моренный рельеф и имеет уклон на юго-восток в сторону поверхность рассматриваемой зоны границы между Балтийским щитом и платформой. Гряды, сложенные кристаллическими породами, имеют широкое распространение и ориентированы по направлению движения ледника. Территория Карелии и Кольского полуострова отличается обилием озер, также простирающихся в сторону движения ледника. В районе встречаются краевые образования и конечные морены, подпруживающие некоторые озера.

Характерным является наличие для рельефа Кольского полуострова средневысоких Хибинских гор, достигающих 1000-1200 м над уровнем моря. Повышенные участки характерны и для западной части Карелии возвышенность Манселькя и ее южная южная оконечность -Западно-Карельская возвышенность, имеют высоту до 600 м. От этих возвышенностей местность постепенно понижается к Белому морю, Онежскому и Ладожскому озерам. Избыточное увлажнение территории и сильная расчлененность рельефа и определяют существование хорошо развитой речной сети.

Порожистые и многоводные реки в этом районе короткие. Озерно-речные системы получили большое развитие. Наиболее крупные озера на Кольском полуострове-Имандра, Ловозеро, Умбозеро; на возвышенной части Карелии -Нюк, Лексозеро, озера Куйто, а на равнине -Выгозеро, Сегозеро, Топозеро, Пяозеро и уже неоднократно упоминавшиеся Ладожское и Онежское озера. На Кольском полуострове получили развитие почвы четырех типов: тундровые, подзолистые, болотные, в небольшой степени дерновые и производные от них подзолисто-болотные. Мощность наиболее распространенных подзолистых почв достигает 15- 20 см. В отличие от Кольского полуострова наиболее распространенными почвами Карелии являются торфяно-подзолисто-глеевые. Болотные почвы широко распространены также.

Прослеживаются хорошо две геоботанические зоны на Кольском полуострове: тундровая и таежная, а также небольшие пространства территории занимает лесотундра. Растительность представлена лесами с лесотундровым редколесьем, тундрами и горными арктическими пустынями. Болотная растительность получила большое распространение. Леса состоят из ели, сосны и березы, а общая залесенность всего 23 %. В отличие от Кольского полуострова Карелия располагается преимущественно в зоне тайги, где распространены еловые, сосновые и березовые леса. Луговая растительность занимает незначительную площадь, а болотная распространена на 30 % территории.

1.3 Хозяйственная деятельность

Использование озер в качестве энергетических водохранилищ в настоящее время широко распространено, прежде всего, в Карелии. Построенные плотины на вытекающих реках изменяют уровенный режим в зависимости от характера регулирования (сезонное, годовое, многолетнее). Из крупных озер зарегулированы: Онежское, Белое, Топозеро, Пяозеро, Выгозеро, Сегозеро; из средних озер Палье, Гимольское. Изменение многолетних колебаний уровней на этих и им подобным озерах связано с повышением уровней равновесия. Так, уровень воды Онежского озера с 1958 года (введение в строй Верхне-Свирской ГЭС) повысилось на 27 см. Средний многолетний уровень Сегозера был поднят на 6,3 м после строительства плотины в истоке р. Сегежи, а абсолютная амплитуда уровня возросла в 5 раз. Аналогичные изменения произошли и на других озерах водохранилищах Карелии / 121/, Балтии: Чириш /13/, Беларуси: Дривяты, Освейское /14/. В перечисленных примерах естественные озера перестали существовать, превратившись в водохранилища за исключением водохранилищ без ГЭС или менее чем с годовым регулированием.

На ряде озер созданы низконапорные (1-2м) кратковременного действия для регулирования стока в целях улучшения лесосплава наряду с энергетическими озерными водохранилищами. Такие плотины есть на средних и крупных озерах Карелии: Куйто, Тулмозеро, Ведлозеро, Кубенское в Вологодской области и др. Многолетний режим таких озер близок к естественному.

Для понижения или увеличения уровня водообмена озер в практике хозяйственного использования озер производятся дноуглубительные работы, расчистка истоков вытекающих рек. На малых и средних озерах такие мероприятия чаще производятся. Большое количество прispущенных озер отмечено в Карелии и Балтии. Подобные мероприятия известны и на крупных озерах. Так, на Ладожском озере в истоке р. Невы в

1908 году была произведена расчистка фарватера (Кошкин фарватер), что повлияло только на самые минимальные уровни. В 1932 и 1924 годах проводились дноуглубительные работы в истоках вытекающих рек из озер Чудско-Псковского и Вырстьярв, соответственно, что отразилось на их уровненом режиме.

2. Увлажненность территории: определение, индексы, районирование

2.1 Определение

Одна из важнейших характеристик -это увлажненность территории климата, поскольку вместе с температурными условиями она определяет тип растительности и всего географического ландшафта, решающим образом влияет на характер многих сторон быта и хозяйственной деятельности человека, в первую очередь на сельскохозяйственное производство. Местные водные ресурсы так же определяет -увлажненность территории возмещающие потенциально происходящее испарение.

Зависит от жидких осадков и формирование многолетнего водного режима озер, способствующих хорошему напитыванию бассейнов в более влажные фазы внутривековой изменчивости. Наполняют озера твердые осадки в результате весеннего стока, но не способны удерживать уровень в высоком состоянии в течении всего года или многих лет т.к.не способствуют напитыванию бассейнов. Отклонение температуры воздуха естественно, что от нормы соответствующим образом влияют на уровень озер, причем, если те иные отклонения сохраняют свой знак в течении ряда лет, то тем самым уровень озера приобретает дополнительную тенденцию к повышению или понижению. Колебание уровня озер всегда находятся в отличном соответствии с колебаниями определяющих их элементов климата в общей увлажненности своих бассейнов, представляя собой их сложную функцию.

В природе и естественных процессов происходящих на его территории естественное увлажнение территорий- результат круговорота воды. Определяется объективными закономерностями причина естественного увлажнения. Среднемноголетняя величина поступления влаги на территорию может использоваться для его характеристики. Основным источником увлажнения территорий являются выпадающие атмосферные осадки, остальные виды влаги, такие, как на пример, роса и влага образующиеся за счет конденсации водяного пара, содержащегося в атмосфере, в зоне

аэрации, незначительны по величине и не играют существенной роли в увлажнении территорий. Кроме того большая часть этой влаги вскоре после образования расходуется на испарение(14).

2.2 Индексы увлажненности

Коэффициент увлажненности или увлажнения является важным показателем увлажненности территории. Существует несколько определений данного показателя:

- коэффициент увлажненности- отношение годовой суммы осадков к возможной годовой испаряемости с открытой поверхности пресных вод, показывающее, в какой мере выпадающие в данной местности осадки возмещают потенциально происходящее испарение;
- коэффициент увлажненности- отношение количества атмосферных осадков к потенциальной величине испарения с поверхности почвы в данной экосистеме. Определяется с помощью специальных приборов - испарителей. Вычисляется путем деления годовой суммы осадков на годовую испаряемость;
- коэффициент увлажнения- отношение годового количества осадков к годовой величине испаряемости для данного ландшафта. Коэффициент увлажнения-Показатель соотношения тепла и влаги. При коэффициенте увлажнения > 1 и достаточном количестве тепла преобладают лесные ландшафты, при коэффициенте увлажнения < 1 лесостепные, степные и пустынные ландшафты.

Известен ряд методов оценки степени увлажненности водосбора в гидрологической литературе:

- прямые измерения почвенной увлажненности в различных пунктах водосбора и обобщение их для территории водосбора;
- метод водного баланса с учетом данных измеренных осадков, испарения стока и инфильтрации в глубокие горизонты почвы (1).

Оценка запасов влаги в почве может быть произведена теоретическая на основе водного баланса . Уравнение водного баланса может быть записано в следующем виде (10).

$$P=E+R+V, \quad (1.1)$$

где P - количество выпавших осадков;

E - испарение;

R -поверхностный сток;

V - влагообмен поверхности суши с нижележащими слоями.

Различают два противоположных типа климата по степени увлажнения территорий — аридный и гумидный. Аридный климат — это климат сухой с недостаточным увлажнением. Встречается в пустынях, полупустынях, где испаряемость значительно превышает испарение. Гумидный климат — это климат с избыточным увлажнением, при котором количество солнечного тепла недостаточно для испарения всей влаги, поступающей в виде осадков. Избыток влаги удаляется поверхностным стоком (11).

Общая увлажненность той или иной территории представляет собой состояние всех ее вод, как поверхностных, так и подземных в их общем взаимодействии полагал А.В.Шнитников. Общей увлажненности показателями (индикаторами) в тот или иной заданный промежуток времени или некоторый момент, могут являться с особенностями в зонах недостаточного увлажнения — озера и подземные воды. Чем больше общее количество вод содержащихся в бассейне, т.е. чем выше общая увлажненность, тем энергичнее происходит процесс повышения уровня озера и длительнее период сохранения его высокого уровня, наоборот, чем общая увлажненность меньше, тем быстрее происходит спад уровней озера и тем продолжительней период стояния низкого уровня. Многолетняя изменчивость общей увлажненности отдельных озерных бассейнов этим определяется многолетняя изменчивость уровня озера т.е., основным агентом колебания общей увлажненности озерных бассейнов считаются атмосферные осадки, хотя в некоторых случаях учитывается температура воздуха, как индикатор интенсивности, испарения (14).

Используются разнообразные показатели (индексы, коэффициенты) сухости для количественной характеристики степени увлажнения или влажности климата, отражающие прямо или косвенно соотношение между

осадками и испаряемостью, средними за многолетний период. Большинство этих показателей было связано с задачами классификации климатов, ландшафтно-климатического, почвенно-климатического, ботанического, сельскохозяйственного, гидрологического районирования и др. простые и физически ясные показатели увлажнения территории отношения осадков P за год (сезон, месяц) к испаряемому E_0 за этот же отрезок времени, например индекс Г.Н. Высоцкого(8).

$$K=P/E_0 \dots \dots \dots (1.2)$$

где P - осадки;

E_0 - испаряемость.

Для характеристики сухости климата используется обратное соотношение индекс аридности Стенца (2):

$$S=E_0/P \quad (1.3)$$

где P - осадки;

E_0 - испаряемость;

Индекс увлажнения ввел Н.Н. Иванов. Этот индекс представляет отношение количества выпадающих в данном месте осадков к количеству возможного при данных климатических условиях испарения открытой пресной водной поверхности - испаряемости. Индекс K показывает, в какой мере выпадающие в данном месте осадки возмещают возможное с открытой водной поверхности испарение при данных климатических условиях. Довольно часто в записи этих соотношений испаряемость представлена эмпирической формулой по температуре или дефициту влажности так в коэффициенте Н.Н.Иванова(8)

$$E_0=0,0018(25+T)^2(100-a), \quad (1.4)$$

Где T -средняя температура месяца;

a -средняя относительная влажность в %.

Коэффициент увлажнения Д.И.Шашко определяющий степень засушливости года(10):

$$E_0 = 0,45 \sum (E-e). \quad (1.5)$$

Где $2 (E-e)$ -сумма средних суточных значений дефицита влажности. Наиболее распространенным индексом остается индекс сухости ($s=E_0/P$ или $s=P/ E_0$). М.И.Будыко (2) ввел радиационный индекс сухости: $s=R/L$ представляющий отношение годового радиационного баланса (R) к количеству тепла, необходимого для испарения годовой суммы осадков P (L -здесь скрытая теплота испарения), по существу, величина обратная P / E_0 , поэтому эти показатели аналогичны и по смыслу, и по своим качествам. Величина индекса сухости определяет не только климатическую зону, но и такую важную гидрологическую характеристику как коэффициент стока, показывающий, какая часть выпавших осадков стекает в речную сеть

$$a = Q/P \quad (1.6)$$

Где Q —речной сток

Интересным представится индекс влагооборота, показывающий увеличение доли атмосферных осадков за счет местного испарения /5/:

$$K = P/ (P-\Gamma) \quad (1.7)$$

Где P —общее количество атмосферных осадков на данной ;

Γ —внутренние (внутримассовые) осадки.

Коэффициент увлажнения В.С.Мезенцева- рассматривает изменение суммарного испарения при уменьшении общего увлажнения как единый непрерывный процесс, при котором по мере иссушения почвы уменьшается суммарное испарение, а стадии ее просыхания определяются ходом испарения. В общем виде уравнение связи суммарного испарения и общего увлажнения представлено следующим образом (12):

$$E = E_m * [1 + ((P + W_1 - W_2) / E_m)^{-n}] \quad (1.8)$$

где n -параметр, определяемый отношением фактического испарения в условиях оптимальной влагообеспеченности и максимально возможного испарения. Связь суммарного испарения с общими влагозапасами может быть представлена уравнением /2/ :

$$E = E_m * (1 + V_{cp}^{-rm})^{-1/n} \quad (1.9)$$

где V_{cp} - средняя за расчетный период влажность почвы в долях от наименьшей влагоемкости; r - параметр определяемый водно-физическими свойствами почв.

Коэффициент увлажнения А.Н.Костякова определяется по формуле (7):

$$K_y = O_c / E_0 \quad (1.10)$$

где O_c - годовое количество атмосферных осадков, (произведение $L^* O_c$ означает, сколько тепла надо для испарения всех выпавших осадков); E_0 - годовая величина испаряемости

Широко применяемый в агроклиматологии гидротермический коэффициент близким по смыслу к этим показателям является (ГТК) Г.Т.Селянинова (4), он равен отношению суммы осадков за период с температурой больше 10°C к испаряемости. Величину испаряемости условно выражают суммой температур воздуха за период с температурой больше 10°C , уменьшенной в 10 раз. Наиболее часто используются индексы Педя (4), рассчитанные для вегетационного периода для различных административных районов:

$$\Pi = \Delta T / \sigma_m - \Delta R / \sigma_R - \Delta \Omega / \sigma_\Omega \quad (2.1)$$

ΔT , ΔR , $\Delta \Omega$ -аномалии температур воздуха, осадков запасов продуктивной влаги в почве;

σ_m , σ_R , σ_Ω - их среднеквадратические отклонения.

Индекс засушливости Б.И. Сазонова вычисляется по формуле (7):

$$S = \frac{\Delta t_i}{\sigma_t} - \frac{\Delta P_i}{\sigma_p} \Delta t_i \text{ и } \sigma_t \quad (2.2)$$

аномалия и СКО средней месячной температуры; ΔP_i , σ_p -аномалии и СКО месячных сумм осадков.

Для сравнения в различных ситуациях использование нормированных величин позволяет применить данный индекс, поскольку он характеризует конкретную метеорологическую ситуацию по отношению к некоторому среднему уровню. С помощью индекса S можно характеризовать условия как влагообеспеченности так и теплообеспеченности, поскольку это

знакопеременная величина: положительным значениям S соответствуют засушливые периоды, отрицательным – влажные. Другой и более распространенной в ранних исследованиях формой характеристик увлажнения территории были индексы, в которых используется отношение суммы осадков к температуре воздуха непосредственно или в линейной комбинации с некоторыми числовыми константами. Таковы соотношения Кеппена для определения границы аридности /2/:

$$P=2T+28, P=2T+14, P=2T, P=T+14, \text{ и т. д.}, \quad (2.3)$$

применяемые для разных типов климата;

-индекс аридности Мартонни a , представляющий собой отношение средней годовой суммы осадков к средней годовой температуре воздуха. Значения $a < 15$ характерны для аридных зон /4/.

$$P / T + 10 \quad (2.4)$$

(“показатель эффективности осадков”),

К числу наиболее распространенных индексов аридности и гумидности можно отнести индексы аридности (S_a) и гумидности (S_r) Торнтвейнта /4/. Индекс (S_a) представляет собой отношение разности между осадками и испаряемостью и суммой месячных величин испаряемости, а индекс (S_r) – отношение суммы месячных разностей между осадками и суммарной испаряемостью и суммой месячных величин испаряемости. В первом случае увеличение разности между осадками и испаряемостью, а следовательно и индекса (S_a) показывает возрастание степени аридности климата. Возрастание S_r говорит об увеличении степени гумидности климата. В обоих случаях (S_a), и (S_r) характеризуют географическую зону.

$$P / T, \quad (2.5)$$

Где P – месячные осадки;

T – среднемесячные температуры.

Торнтвейнт предложил также и общий индекс увлажненности J_m . В индексе влажности J_m Торнтвейнт использовал величины сумм месячных разностей между осадками и испаряемостью, обозначив их как d месяцы, когда $P < E_m$ и S , когда $P > E_0$

$$J_m = (100S - 60d) / n \quad (2.6)$$

где n - сумма месячных величин испаряемости за эти месяцы
иногда используются нелинейные соотношения осадков и температур, например, в почвенно-климатической классификации В.Р.Волобуева /9/ характеристика увлажнения

$$H_f = 43,2 \lg P - T_{\Gamma} \quad (2.7)$$

где T_{Γ} - среднегодовая температура;

P_{Γ} - годовая сумма осадков.

Числовой смысл индексов понятен: при избытке увлажнения ($P > E_0$) индексы > 1 , при недостатке ($P < E_0$) индексы < 1 . Критериальные же значения для более дробного разделения климатов по степени увлажнения приходится устанавливать эмпирически, сообразуясь с экологическим типом растительности или типичными ландшафтами как индикаторами границ типов климатов. Для характеристики увлажненности территории используют также абсолютные значения недостатка или избытка влаги - показатели $(E_0 - P)$ или $(P - E_0)$ и $E_0 - E$ где E - фактическое суммарное испарение. При этом E_0 рассматривается, как показатель оптимальной потребности сельскохозяйственных культур во влаге, что справедливо также и для естественного растительного покрова (1).

2.3 Районирование территории

Степень увлажнения очень различна, в зависимости от критериальных величин и от принятого индекса и целей классификации климата и районирований, использующих тот или иной показатель. Одной из первых классификаций климата с использованием количественных характеристик увлажнения была система, разработанная А.Пенком /8/, основанная на системе градаций аридности и гумидности. Он различает три группы типов климата: гумидный, аридный, нивальный (снежный). Между двумя первыми проходит граница засушливости, колебания в годовом ходе дают обширные переходные типы: семигумидный (т.е. полувлажный) - при чередовании дождливых и сухих периодов, и семиаридный (полусухой) - где выпадают скудные или ограниченные во времени осадки. Более подробные градации увлажнения территории в классификации Торнтвейта: пергумидность, 4 типа гумидности в убывающем порядке, влажная субгумидность, сухая субгумидность, семиаридность, аридность.

Использованы 4 градации увлажнения территорий в классификации климатов СССР Будыко и Григорьева: избыточно влажные ($<0,45$), влажные ($0,45-1,00$), недостаточно влажные (1-3) и сухие климаты (> 3). При значениях радиационного индекса сухости Будыко менее 1 (избыточное увлажнение) господствуют влажные зоны лесов, лесотундры и тундры, при значениях более 1 (недостаточное увлажнение) - сухие зоны степей, полупустынь и пустынь, при значениях близких к 1 (оптимальное увлажнение) - зоны и подзоны лесостепей, лиственных и светлых лесов, влажных саванн /4/.

Следующие ландшафтно-географические зоны выделил: Н.Н.Иванов на земле зона влажных лесов или зона избыточного увлажнения ($K \geq 1,5$), зона лесов или зона достаточного увлажнения (K от 0,60 до 0,99), зона недостаточного увлажнения (K от 0,30 до 0,59), зона полупустынь и скудного

увлажнения (K от 0,13 до 0,29), зона пустынь или ничтожного увлажнения (K от 0,00 до 0,12)(8).

Для индекса сухости введена следующая квалиметрическая шкала: $P/E_0 < 0,03$ -гипераридная зона, $0,03 < P/E_0 < 0,02$ -аридная зона, $0,02 < P/E_0 < 0,05$ -полуаридная зона, $0,05 < P/E_0$ гумидная зона /9/.

По величине коэффициента увлажненности фации согласно В.А. Ковде, делятся на супергумидные (1,5-3), гумидные (1,2-1,5), нормальные (1,2-0,7), сумиаридные (0,7-0,05), аридные (0,5-0,3), экстрааридные ($< 0,3$)/10/.

Можно выделить 5 климатических зон по соотношению E_0/P : избыточного увлажнения ($E_0/P < 0,78$) достаточного ($0,78 < E_0/P < 1,00$), переменного ($1,00 < E_0/P < 1,34$), недостаточного ($1,34 < E_0/P < 1,60$), аридного увлажнения ($1,60 < E_0/P$)/11/.

Используется иная терминология и иные градации для обозначения степени увлажнения в классификациях климата в связи с сельским хозяйством. Например, Т.Г. Селининов по ГТК выделяет следующие градации увлажнения территорий: зона избыточного увлажнения или зона дренажа ($ГТК > 1,3$), зона обеспеченного увлажнения (1,00-1,3), зона засушливая (0,7-1,0), зона сухого земледелия (0,5-0,7), зона сухая или ирригации ($ГТК < 0,5$). В агроклиматическом районировании П.И. Колоскова выделяются 6 градаций увлажненности территорий (избыточного, достаточного, умеренного, недостаточного, засушливая зона, сухая зона). Д.И. Шашко выделяет область достаточного, недостаточного и незначительного увлажнения. В географической литературе обычно выделяют зону избыточного увлажнения (осадки за год превышают возможное испарение) и зону недостаточного увлажнения (осадки за год меньше испаряемости), реже выделяют зоны неустойчивого и оптимального увлажнения (1).

3 Особенности увлажненности озерных систем региона исследования

3.1 Постановка задачи

Будем понимать соотношение тепла и влаги на границе раздела атмосферы и поверхности суши под увлажненностью территории, влияющие на климат и определяющие состояние поверхностных и подземных вод в их взаимодействии.

Во многом зависит от теплового и водного балансов увлажненность территории т.е. от температуры воздуха и количества атмосферных осадков. Поэтому эти параметры, а также рассчитанные на их основе используются различными авторами при оценке индексов увлажненности. Для характеристики увлажненности бассейнов отдельных озер на территории Кольского полуострова, Карелии, северо-запада России, стран Балтии, Беларуси и нечерноземных областей России в настоящей работе вычислялись коэффициенты стока a , индексы Мартонни a^M и индексы увлажненности $H(q;I)$, рассчитанные в условиях неопределенной расстановки приоритетов оценивания. Напомним, что индекс Мартонни a^M представляет собой отношение суммы осадков (P) за год к средней годовой температуре воздуха (T). Коэффициент стока показывает какая часть выпавших осадков стекает в речную сеть $a=Q/P$, где Q — речной сток. Соответствующая шкала для коэффициента стока имеет следующий вид: при $a=0.5-0.6$ -фиксируется зона тундры и арктических пустынь, а также зона влажных экваториальных лесов; при $a=0.4-0.5$ -лесная зона; при $a=0.05-0.3$ -зона лесостепей и степей; при $a<0.01$ -зона пустынь /4/. Таким образом индексы a^M и a^M рассчитываются с учетом значений исходных характеристик T , P и q . Для характеристики увлажненности озерных бассейнов введем индекс увлажненности $H(q;I)$, синтезирующий отдельные исходные характеристики в единую оценку и учитывающий не только их значения, но и значимость.

Этот индекс в явном виде учитывает влияние на увлажненность подстилающей поверхности температуры воздуха (Т) и атмосферных осадков (Р) и определяется по формуле:

$$H^{(j)} = W_1 * T(j) + W_2 * P^{(j)}, \quad (2.8)$$

Где $W_i \geq 0, W_1 + W_2 = 1$ -весовые коэффициенты; j-количество озерных систем.
(14)

3.2 Методика расчета индекса увлажненности $H(q;I)$

При расчете индекса увлажненности $H(q;I)$ многими полезными свойствами, обладает теория стохастического моделирования дефицита информации, и неопределенности суждений о приоритетах оценивания и разработанный на ее основе метод рандомизированных сводных показателей (МРСП) /14, 15 /.

Метод МРСП является преобразом сводного показателя (МСП). Применившим этот метод для оценивания военных проектов был полковник А.Н. Крылов исторически, первым исследователем./15/. Для получения сводной оценки он считал необходимым решить следующие вопросы: 0 - какие качества влияют на оценку сравнительного достоинства; 1- каким числом каждое качество оценивается; 2 -какой способ группировки этих чисел принимается; 3-какие относительные множители приписываются тем качествам, которым отдается предпочтение. И теперь, ответы на эти вопросы определяют основные этапы построения сводных показателей. Они предполагают: 0 -формирование вектора исходных характеристик, каждая из которых необходима, а все они вместе достаточны для полного оценивания исследуемого объекта; 1-формирование вектора отдельных показателей, оценивающих различные аспекты исследуемого объекта; 2- выбор вида синтезирующей функции, сопоставляющей вектору отдельных показателей сводную оценку, характеризующую исследуемый объект в целом; 3- определение значения вектора параметров, обычно интерпретируемых как весовые коэффициенты.

К области *квалиметрии* относятся все эти вопросы, которую можно считать первым основанием метода многокритериального оценивания. Как область науки об измерении и управлении качеством продукции и услуг можно определить саму квалиметрию. В настоящее время в квалиметрии разработан широкий спектр математических моделей синтеза обобщенных оценок качества.

Вторым основанием метода сводного показателя является *теория функций полезности*. К настоящему времени накоплено множество математических моделей, позволяющих строить функции, оценивающие полезность в целом различных наборов хозяйственных благ. Сводные оценки при этом могут иметь как числовой («кардинальная полезность»), так и нечисловой («ординальная полезность») характер.

Теория экономических индексов служит третьим основанием описываемого метода, оценивающая единым числом многопараметрические объекты и явления. Следует отметить, что именно в рамках этой теории начался систематический сравнительный анализ синтезирующих функций различного вида.

Естественным образом дифференцируют вышеупомянутые основания метода многокритериального оценивания сам процесс оценки на три этапа:

- 1) задание отдельных показателей,
- 2) выбор синтезирующей функции,
- 3) определение весовых коэффициентов.

Для их осуществления разработаны и используются следующие три принципа (9).

1. *Принцип линеаризации*, позволяющий переходить от частично упорядоченного множества векторов отдельных показателей объектов линейно упорядоченному множеству сводных оценок этих объектов.

2. *Принцип арифметизации*, позволяющий получать числовые оценки для исходной нечисловой информации, лежащей в основе построения показателей и определения весовых коэффициентов.

3. *Принцип рандомизации*, позволяющий моделировать дефицит, обычно существующий на всех этапах синтеза сводных оценок сложных многопараметрических объектов. Эти три принципа составляют теоретическую основу метода многокритериального оценивания.

Этапы получения сводной оценки сейчас рассмотрим. Реализация методики построения обобщенных показателей на основе моделирования

дефицита информации осуществляется в виде последовательным операций четырех этапов:

На первом этапе отбирается обоснованная система показателей, посредством которых возможно описание состояния сложного природного объекта, где $x_i^{(j)}$ - значение i -ого параметра x_i , $i=1,2,3,..m$ для $u^{(j)}$, $j=1,..,k$ -го объекта

Каждый из параметров должен быть необходим, а все вместе достаточны для описания состояния рассматриваемого объекта. Могут существовать характеристики, увеличение значений которых ведет к улучшению состояния объекта, а также характеристики, увеличение значений которых приводит к ухудшению состояния объекта.

На втором этапе с помощью функциональных преобразований создают отданные показатели q_i . К примеру, отдельные показатели могут быть получены с помощью нормирующих функций вида:

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 0, & x_i \leq x_{\min}, \\ \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, & x_{\min} < x_i \leq x_{\max}, \\ 1 & x_i > x_{\max}. \end{cases} \quad (2.9)$$

ИЛИ

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 1, & x_i \leq x_{\min}, \\ \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}}, & x_{\min} < x_i \leq x_{\max}, \\ 0 & x_i > x_{\max}. \end{cases} \quad (2.10)$$

Каждый показатель q_i являясь функцией $q_i=q_i(x_i)$ исходной характеристики x_i , позволяет оценить состояние объекта с точки зрения i -го критерия. Диапазон изменения q_i , находится в пределах от 0 до 1. При этом состояние объекта полностью характеризуется вектором показателей $q=(q_1,..,q_m)$. Здесь $q_i^{(j)}$ есть значение i -го отдельного показателя q_i , $i=1,..,m$ для j -го объекта $u^{(j)}$, $j=1,..,k$

Приводятся к единой безразмерной шкале полученные исходные параметры, в различных шкалах измерения, , после чего над их значениями

стало возможно производить математические действия с целью получения комплексного показателя состояния объекта.

Интерпретирующая функция выбирается на третьем этапе комплексного показателя $Q(q,w)$. Комплексный показатель строится таким образом, что зависит не только от отдельных показателей q_1, \dots, q_m , но и от их значимости, определяемой весовыми коэффициентами $w_1, \dots, w_m, w_i \geq 0, w_1 + \dots + w_m = 1$, образующими вектор $w=(w_1, \dots, w_m)$.

В качестве выражения для комплексного показателя можно предложить линейную функцию вида:

$$Q^{(i)}=Q(q^{(i)})=\sum_{i=1}^m w_i q_i^{(j)}$$

где весовой коэффициент (“вес”) w_i , указывает степень значимости отдельного показателя q_i .

Оценки весовых коэффициентов w_i строятся на четвертом этапе. Как правило, уже само составление программы оценочных исследований является первичным “взвешиванием” параметров. Однако такое взвешивание является недостаточным, т.к. влияние отобранных главных факторов также неравнозначно, что вызывает необходимость придавать при оценке различным параметрам разные приоритеты, веса или коэффициенты значимости. Нередко при этом вес вводится без какого-либо четкого обоснования.

Этот этап в методе построения сводного показателя является самым сложным из-за обычно ограниченной информации о точных числовых значениях «весов». Как правило, исследователь обладает лишь нечисловой информацией, которую можно выразить сравнительными суждениями типа «характеристика x_i ,важнее, чем характеристика x_j », «характеристики $x_r, ,x_s$, имеют Одинаковую важность» и представить в виде системы равенств и неравенств: $OI= \{ w_i > w_j, w_r = w_s, i, j, r, s = 1, \dots, m \}$. (3.1)

В лучшем случае исследователь может знать интервалы возможного изменения весовых коэффициентов, т.е. владеть неточной информацией: $II= \{ 0 \leq a_i \leq w_i \leq b_i \leq 1, i = 1, \dots, m \}$. (3.2)

Такая нечисловая (порядковая) и неточная (интервальная) информация является, зачастую, и неполной: не для всех весовых коэффициентов заданы равенства и неравенства, соответствующие интервальной и порядковой информации.

В соответствии с методологией АСПИД оценки w_1, \dots, w_m весовых коэффициентов w_1, \dots, w_m строятся по экспертной информации I , имеющейся у исследователя.

Для получения оценок w_1, \dots, w_m весовых коэффициентов w_1, \dots, w_m необходимо задать шаг дискретизации $h=1/n$ весовых коэффициентов: $w_i^{(0)} \in \{0, n^{-1}, 2n^{-2}, \dots, 211^n, \dots, (n-1)n^{-1}, 1\}$. Так, например, при задании числа показателей $m=5$, а шага дискретизации $n=20$ количество возможных наборов $N(m, n) = 10626$. Учет дополнительной информации $I = OI+II$ позволяет перейти к классу допустимых векторов $W(m, n, I)$, содержащему число векторов $N(m, n, I) \leq N(m, n)$. Так, например, введение дополнительной информации I в виде системы неравенств $\{w_1 > w_2 > w_3 > w_4 > w_5 \geq 0.05\}$ снижает $N(m, n)$ до $N(m, n, I) = 7$.

Поскольку информация I обычно задает не единственный набор весовых коэффициентов, а целое множество допустимых наборов, обычно возникает проблема неопределенности выбора весовых коэффициентов, что затрудняет непосредственное применение метода сводных показателей. Для преодоления этого затруднения Хованов Н.В. предложил использовать байесовскую модель рандомизации неопределенности [15]. Идея этой модели состоит в переходе от неопределенного выбора весовых коэффициентов к случайному (рандомизированному) выбору этих коэффициентов из множества всех допустимых наборов весовых коэффициентов. Иначе говоря, мы получаем случайные весовые коэффициенты и случайные (рандомизированные) сводные показатели.

Информация I накладывается на весовые коэффициенты w_i в дальнейшем при синтезе сводных показателей (решение прямой задачи), которые ранжируются с учетом степени влияния отдельных показателей на

сводный показатель. При анализе сводных показателей (решение обратной задачи) экспертная информация I задается для объектов, которые выстраиваются в зависимости от степени проявления искомого качества. Последовательное решение прямой и обратной задач позволяет корректировать априорную информацию, задаваемую экспертом.

Переход построения СП от первого этапа происходит к третьему этапу приводит к частичному упорядочению всех объектов по степени проявления оцениваемого качества. Такое упорядочение производится через введение отношения покомпонентного доминирования на множестве всех рассматриваемых объектов. Это отношение предполагает, что объект q^r предпочтительнее по выбранному качеству, чем объект q^s тогда и только тогда, когда он не менее предпочтителен по каждому отдельному критерию ($q_i^r > q_i^s$) И существует критерий, по которому первый объект ($q_j^r > q_j^s$). Наличие на третьем этапе большего предпочтительнее второго, числа несравнимых объектов приводит к необходимости перехода к четвертому этапу. На этом этапе, привлекая дополнительную экспертную информацию, все же удается сравнивать несравнимые векторы отдельных показателей. Переход от векторов q^r, q^s к сводным показателям $Q(q^{(r)}), \dots, Q(q^{(s)})$ обеспечивает линейное упорядочение всех объектов по степени проявления искомого качества. Синтезирующая функция $Q(q)$ является монотонной, ее построение осуществляет линеаризацию множества векторов отдельных показателей, частично упорядоченных на предыдущем этапе отношением покомпонентного доминирования.

3.3 Процедура построения индекса увлажненности $H(q;I)$.

С достаточной полнотой описана может быть описана увлажненность территории с учетом следующих относительно независимых исходных характеристик:

x_1 - температура воздуха (Т) и

x_2 - атмосферных осадков (Р).

Диапазоны изменения исходных характеристик Т и Р весьма различны в пределах рассматриваемой территории, возникает необходимость их предварительного нормирования. Для этого вместо исходной характеристики рассматривается нормированная характеристика $q_i = q_i(x_i)$, где q_i - некоторая монотонная (возрастающая или убывающая) функция, такая, что $0 \leq q_i \leq 1$, $i=1$

Для нормирования исходной характеристики Т применяется зависимость (1.3), а для характеристики Р -(1.2). Такой вид нормализующих функций задан с учетом следующих предпосылок. При увеличении количества выпадающих на водосбор осадков увеличивается увлажненность территории. При увеличении температуры воздуха, увлажненность территории уменьшается. Оценки весовых коэффициентов, использованные для расчета индексов $H(q;I)$, даны в табл. 1. При построении индексов $H(q;I)$ использованы три набора экспертной информации I.

Сопоставление индексов $H(q;I)$, рассчитанных при разных вариантах задания дополнительной экспертной информации, с коэффициентом стока α от индекса Де-Мартонни α^M показало, что в условиях современного бореального умеренно-континентального климата следует отдавать предпочтение первому или второму вариантам расстановки приоритетов в группе климатических характеристик. При расчете $H(q;I)$, возможно изменение оценок Mw_i для температуры воздуха от 0,50 до 0,78, а для осадков от 0,22 до 0,50.

Таблица 1 Оценки весовых коэффициентов w_i при расчете климатического индекса внешнего водообмена озер

Дополнительная экспертная информация (вариант расстановки приоритетов)	$Mw_i \pm Sw_i$		Район
	T	P	
	Прямая задача		
1. T=P	0.50±0.0	0.50±0.00	Для района в целом
2. T>P	0.78±0.0	0.22±0.0	- -
3. T<P	0.22±0.0	0.78±0.0	- -
	Обратная задача		
T=P	0.50±0.30	0.50±0.30	Для района в целом
T<P	0.39±0.24	0.61±0.24	Кольский п-ов
T<P	0.42±0.22	0.58±0.22	Карелия и СЗ России (северная часть)
T>P	0.69±0.03	0.31±0.03	Карелия и СЗ России (южная часть)
T>P	0.72±0.18	0.28±0.18	Беларусь

Распределение $H(q;I)$ по территории согласуется в этих случаях с современным распределением α и α^M . Решение обратной задачи (см.табл.1) свидетельствует, что для всей территории в целом в группе климатических показателей справедлив первый вариант задания экспертной информации.

Расстановка приоритетов не остается постоянной при переходе от района к району. При движении с севера на юг вклад температуры воздуха при формировании внешнего водообмена озер увеличивается. При увеличении высоты озера над уровнем моря роль осадков возрастает.

3.4 Особенности распределения индексов увлажненности $H(q;I)$ по территории

Значения $H(q;I)$ заметно меняются по территории (рис.1). При этом прослеживается определенная географическая закономерность в их распределении.

Таблица 2 Медианы и квантили

индексы	$X_{0,25}$	$X_{0,5}$	$X_{0,75}$
α	0,30	0,35	0,47
α^M	51,37	52,74	59,05
$H(q;I) T=P$	0,45	0,49	0,52
$H(q;I) T>P$	0,35	0,39	0,58

Относительно медианы $H(q;I)$ районирование территории показало следующее: значения индекса увлажненности $H(q;I)_{T>P}$ прерывающие медианное значение $H(q;I)_{0,50}=0.39$, характерны для озерных систем Кольского полуострова, Карелии и северо-запада России, а также некоторых озер Вологодской области (табл.1 приложение А)

На Кольском полуострове обусловлены низкими величинами температуры воздуха и достаточным количеством осадков высокие значения индекса $H(q;I)$ Многолетние значения температуры воздуха в пределах этого района средние, отнесенные к центру тяжести озерных водосборов меняются от -1.2°C до 0.0°C , а средние многолетние суммы атмосферных осадков - от 600 до 700 мм.

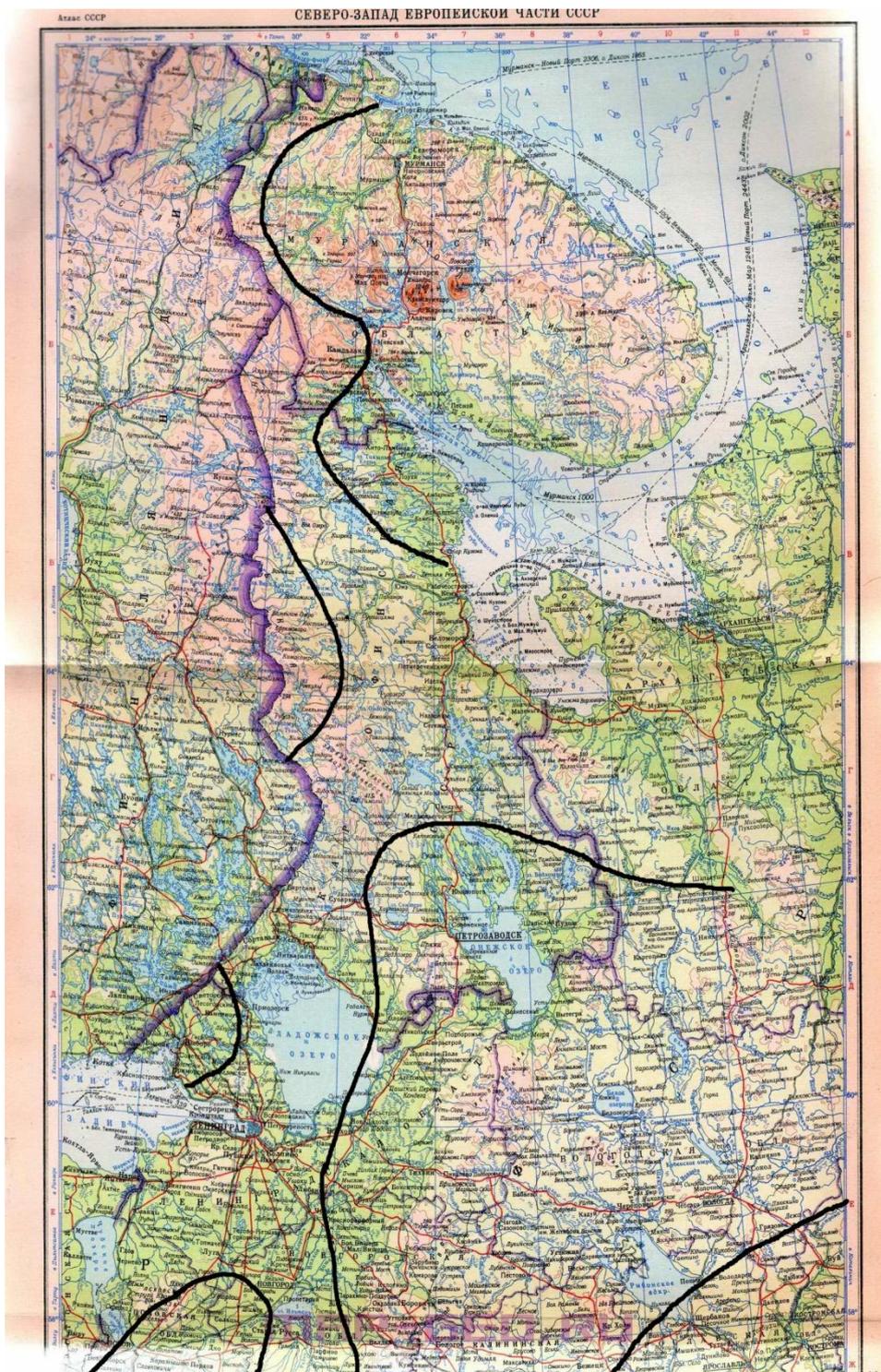


Рисунок 3.3.1. Распределение по территории индекса увлажненности $H(q;I)$

Медианы характерны для территории стран Балтии значения индекса $H(q;I)$ ниже, к которой примыкают отдельные районы Ленинградской (Карельский перешеек) и Новгородской областей. Высокими величинами

температуры воздуха здесь низкие значения индекса $H(q;I)$ обусловлены.(таблица 2 приложение А).

Значения температуры воздуха и осадков в пределах Кольского полуострова не превышают квантили $T_{0.25}$ и $P_{0.5}$ показал квантильный анализ климатических характеристик, выполненный для рассматриваемой территории в целом, показал. При таком соотношении тепла и влаги, что увлажненность территории увеличивается. Аналогичная картина наблюдается и для холмисто-моренной территории северо-западной части Верхне-Волжского района и восточной части Северного края.

К главному моренному поясу примыкает этот район на юге, а на западе граничит с Беларусью. Средние многолетние значения температуры воздуха здесь также достаточно низкие (от $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$), а осадков на наветренных склонах возвышенностей выпадет много(от 700 до 800мм).

Не превышающие квантиль $H(q;I)_{0.25}=0.35$ характерны для большинства озерных бассейнов стран Балтии, Беларуси, Псковской области низкие значения индекса увлажненности $H(q;I)_{T>P}$ (табл.3. приложение А).

В пределах этого района средние многолетние значения температуры воздуха, отнесенные к центру тяжести озерных водосборов меняются от 4.5°C до $6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,а средние многолетние суммы атмосферных осадков - от 700 до 800мм.(таблица 4 приложение А).

Квантильный анализ климатических характеристик, показал, что значения температуры воздуха в пределах рассматриваемого района изменяются $T_{0.50}$ до максимальных, а количество осадков - от $P_{0.25}$ до максимальных. На остальной территории, включающей Карелию и северо-запад РФ и Беларусь, значения индекса увлажнения $H(q;I)$ умеренные и изменяются в пределах интерквантильного расстояния.

Для большинства озерных бассейнов Кольского полуострова, Карелии и северо-запада России характерны высокие значения индекса увлажненности $H(q;I)_{T>P}$ превышающие квантиль $H(q;I)_{0.75}=0.58$ (табл5 приложение А).

Умеренно-высокие значения $H(q;I)_{T>P}$ находящиеся в пределах $H(q;I)_{0,50} \leq H(q;I) < H(q;I)_{0,75}, (0,39 \leq H(q;I) < 0,58)$ характерны для некоторых озерных бассейнов Карелии и северо-запада России, а также для озерных бассейнов Новгородской, Тверской, Ярославской, Костромской, Вологодской, Ленинградской, Псковской областей и Беларуси (табл.6 приложение А).

Умеренно-низкие значения $H(q;I)_{T>P}$ находящиеся в пределах $H(q;I)_{0,25} \leq H(q;I) < H(q;I)_{0,50} (0,35 \leq H(q;I) < 0,39)$ характерны для некоторых озерных бассейнов Беларуси, стран Балтии, Псковской области, озера Кавголовское Кольского полуострова и Самро Ленинградской области (табл.7.приложение А).

Можно сделать следующий вывод исходя из проведенного анализа: для пространственного распределения коэффициента увлажненности $H(q;I)$ характерно закономерное увеличение значений при движении с юга на север и при увеличении высоты местности (на возвышенностях Кольского полуострова и Карелии, на холмисто-моренных возвышенностях главного моренного пояса).

3.5 Особенности многолетней изменчивости индекса $H(q;I)$

Ряд индексов $H(q;I)$ и результаты их квантильного анализа для бассейна Ладожского озера и его частных бассейнов, эти ряды прошли проверку на однородность (стационарность). И так для этого были выбраны два критерия – критерий Фишера и Стьюдента. Критерии относятся к категории стандартных, и стандартно используются для официального теста на однородность. Критерий Фишера использовался для проверки однородности рядов индексов $H(q;I)$ по дисперсии. Критерий Стьюдента использовался для проверки однородности рядов индексов $H(q;I)$ по среднему значению. Проверка рядов на однородность показала, их однородность (стационарность), в таблице 3.5.1.

Таблица 3 Оценка рядов индекса $H(q;I)$ на однородность с помощью критериев Фишера, Стьюдента.

Бассейн	Критерии	$2\alpha=10\%$
Ладожское озеро	$T^*=1,906$	1,659
	$F^*=1,217$	1,140

Для многолетней изменчивости индексов $H(q;I)$ характерно наличие лет с недостаточным и избыточным увлажнением показывает вид реализаций, что для их выделения воспользуемся квантильным анализом. Годами с избыточным и недостаточным увлажнением будем считать те годы, в которые значения индексов выходят за квантили $\alpha_{0.25}$ и $\alpha_{0.75}$, соответственно. Годы, когда значения индексов $H(q;I)$ выходят за верхнюю $\alpha_{\text{в}}$ и нижнюю $\alpha_{\text{н}}$ границы, будем считать экстремальными. Указанные границы определяются по следующим формулам:

$$\alpha_{\text{в}} = \alpha_{0,75} + 1,5Q \quad (3.5.1)$$

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{0,25} - 1,5Q \quad (3.5.2)$$

$$Q = \alpha_{0,75} - \alpha_{0,25} \quad (3.5.3)$$

где Q – интерквартильное расстояние характеризующее разброс выборки в пределах нормы.

Выполненный для всего периода наблюдений квантильный анализ, показал, что наибольшее количество лет с недостаточным увлажнением для всего бассейна Ладожского озера пришлось на период с начала периода наблюдений до 50-х – 60-х годов прошлого столетия. Наибольшее количество лет с избыточным увлажнением наблюдалось в период с 70-х годов до конца рассматриваемого периода. Соответственно ряды можно разделить на три отрезка: первый – с начала наблюдений до 50 – х годов , второй начало 50-х до начала 70-х, третий – с начала 70-х годов до конца рассматриваемого периода.

Таблица 4 Статистические характеристики многолетней изменчивости индексов Де-Мартона

Озеро	Кол-во лет	α_{\min}	$\alpha_{0.25}$	$\alpha_{0.5}$	$\alpha_{0.75}$	α_{\max}	R	Q	$\alpha_{\text{вер}}$	$\alpha_{\text{ниж}}$	T	As
Ладожское	92	32	40	44,3	49,6	61,3	28,7	9,4	63,3	26,1	44,6	5,5

Таблица 5 Статистические характеристики межгодовой изменчивости значений индекса Де-Мартона с 1973 года до конца рассматриваемого периода

Озеро	Кол-во лет	α_{\min}	$\alpha_{0.25}$	$\alpha_{0.5}$	$\alpha_{0.75}$	α_{\max}	R	Q	$\alpha_{\text{вер}}$	$\alpha_{\text{ниж}}$	T	As
Ладожское	42	32	37,7	41,7	44,6	54,3	27,8	6,84	54,8	27,5	41,4	- ,38

Первый временной отрезок показал следующее, что значения $\alpha_{0.25}$, $\alpha_{0.5}$, $\alpha_{0.75}$, α_{\max} в период с 1910 по 1953 гг сопоставление квантилей, рассчитанных за весь период,. Ниже соответствующих квантилей за весь расчётный период. Минимальные значения α_{\min} для отмеченных периодов

совпадают. На отрезке с 1973 – 2000 гг. наблюдается другая ситуация. Значения квантилей превышают соответствующие значения за весь анализируемый период. Исключение составляют лишь максимальные значения индекса Де-Мартонни α_{max} , которое ниже α_{max} рассчитанного за весь период. Территория Ладожского озера и его увлажненность в пределах водосбора изменилась не значительно, но в её распределении наблюдается определённая географическая закономерность. Значения индекса Де-Мартонни $\alpha_{0.5}$ для разных частей водосбора Ладожского озера показало, что увлажнённость территории закономерно уменьшается с севера на юг и с запада на восток.

3.6 Выделение трендов фильтром Баттерворта

С целью выделения тенденции или трендов на повышение или понижение значений является их фильтрация одним из методов анализа временных рядов, которая бывает низкочастотной и высокочастотной, полосовой и режекторной.

Низкочастотная фильтрация – преобразование ряда, при котором исключаются высокочастотные составляющие.

Для анализа многолетней изменчивости гидрометеорологических процессов рекомендуется применять цифровую тангенсную низкочастотную фильтрацию рядов. Это связано с тем, что тангенсная фильтрация обладает такими преимуществами, как простота вычисления коэффициентов передаточной функции фильтра и большая крутизна амплитудно – частотной характеристики вблизи частоты среза.

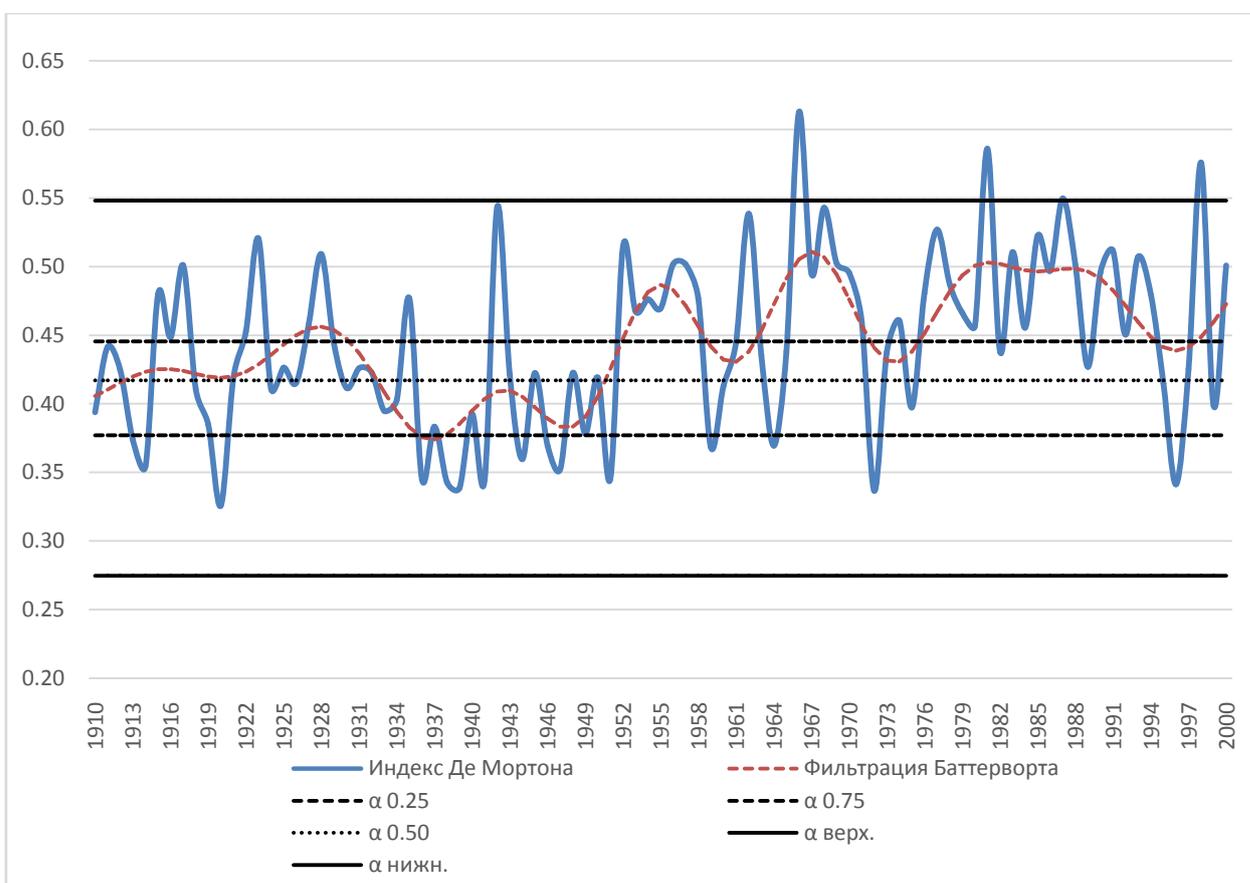
Результаты низкочастотной фильтрации Баттерворта с частотой среза $\omega=0,57$ рад/год и $\omega=0,1$ рад/год на отрезке с 1950-1970 гг. периода показал наличие локальной нестационарности, выраженного в повышении среднего уровня увлажнённости в последний период.

Результаты линейной фильтрации и низкочастотной фильтрации Баттерворта с частотой среза $\omega=0,1$ рад/год практически совпадают и находятся в пределах интерквартильного расстояния.

Отмеченные особенности многолетней изменчивости увлажнённости в той или иной степени характерны для всех частных бассейнов Ладожского озера. Сопоставление рядов линейной фильтрации рядов индекса Де-Мартонни для разных частей бассейна Ладожского озера за весь период наблюдений показало, что наиболее чётко тренд на повышение увлажнённости выражен для бассейна водохранилища Верхнее – Свирской ГЭС ($R^2 = 0.12$). Незначительный тренд на повышение увлажнённости наблюдается для водохранилища Тайнионкской ГЭС ($R^2 = 0.04$). Линейный тренд ряда индексов Мартонни для бассейна Волховской ГЭС практически

совпадает с медианой ($R^2 = 0.02$), а для Ладожского озера в целом ($R^2 = 0.13$).

При таком представлении функцию $|H(\omega)|$ называют амплитудно-частотной характеристикой фильтра. В каждой точке частотного диапазона она выражает отношение амплитуд гармоник отфильтрованного и не отфильтрованного ряда с данной частотой. Функцию $\phi(\omega)$ называют фазо-частотной характеристикой фильтра. Она выражает зависимость сдвига фаз от частоты в отфильтрованном и не отфильтрованном рядах.



3.7 Связь между индексами увлажненности.

Сопоставление индексов между собой показало их хорошую согласованность. Так значение коэффициента регрессии R^2 описывающий связь индекса Де-Мартонни α^M и индекса увлажненности $H(q;I)$ рассчитанного для всего района в целом при равенстве приоритетов между температурой и осадками составляет 0.65 (рисунок 4.2.1-4.2.5).

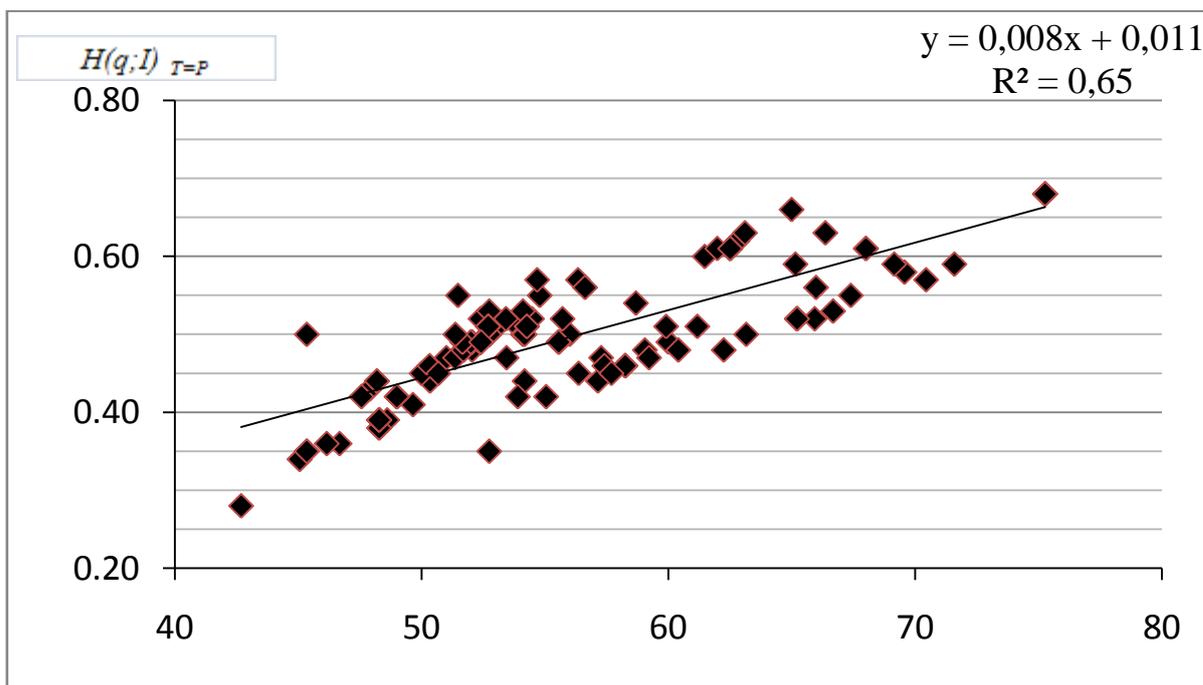


Рисунок 4.2.1. График связи между индексом Де-Мартонни и индексом увлажненности $H(q;I)_{T=P}$ построенный для всего района.

Значение коэффициента регрессии R^2 для связи индекса Де-Мартонни α^M и индекса увлажненности $H(q;I)$ оцененного при приоритете температуры над осадками и рассчитанного для всего района в целом, увеличилась до 0.85

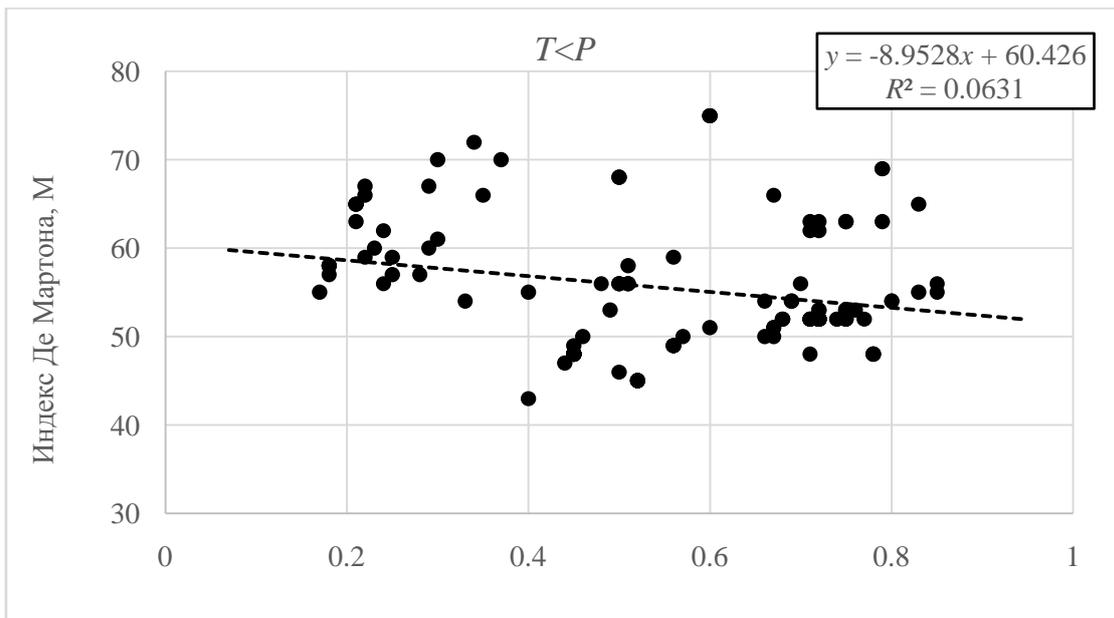


Рисунок 4.2.2. График связи между индексом Де-Мартонни и индексом увлажнения $H(q;I)_{T < P}$ построенный для всего района.

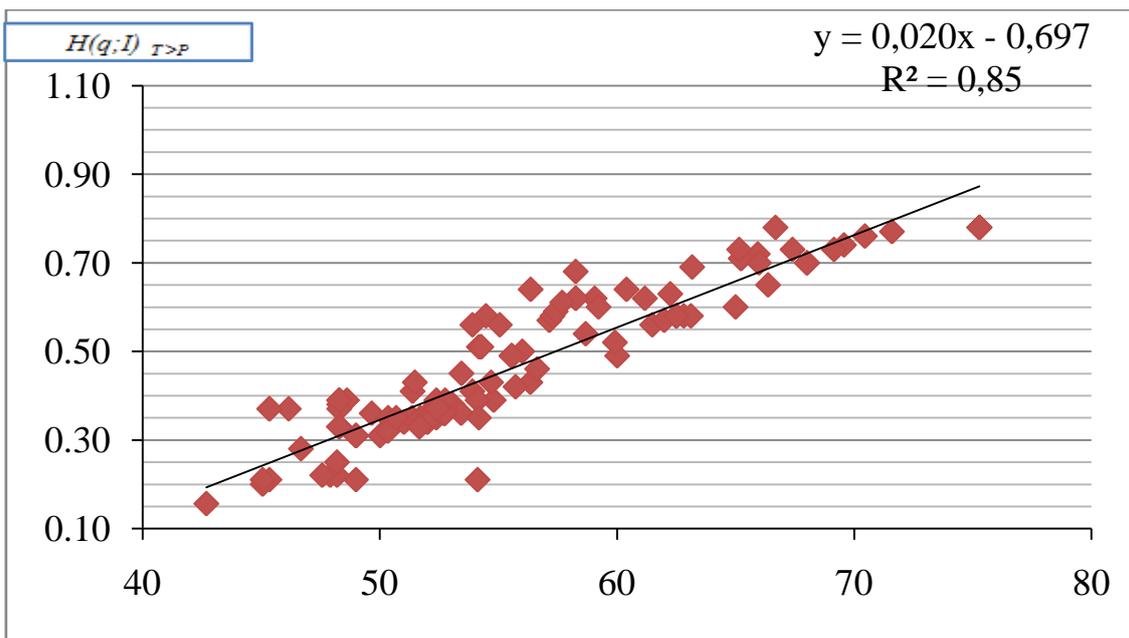


Рисунок 4.2.3. График связи между индексом Де-Мартона и индексом увлажнения $H(q;I)_{T > P}$ для всего района

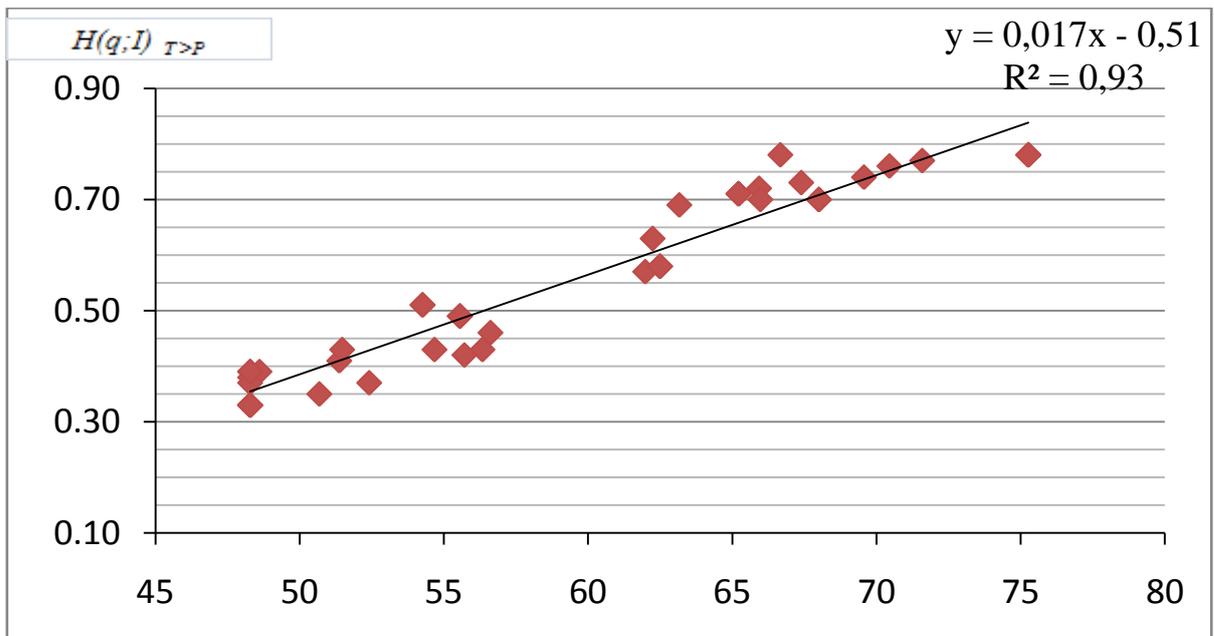


Рисунок 4.2.4. График связи между индексом Де- Мартона и индексом увлажненности $H(q;I)_{T>P}$ для Кольского полуострова и нечерноземных областей России

Величина коэффициента регрессии R^2 для связи индекса Де-Мартонни α^M и индекса увлажненности $H(q;I)$ оцененного при приоритете температуры над осадками вычисленная для озерных бассейнов Кольского полуострова и нечерноземных областей России (Псковская, Новгородская, Ярославская, Вологодская, Костромская, Тверская, Ленинградская области) возросла до 0.93

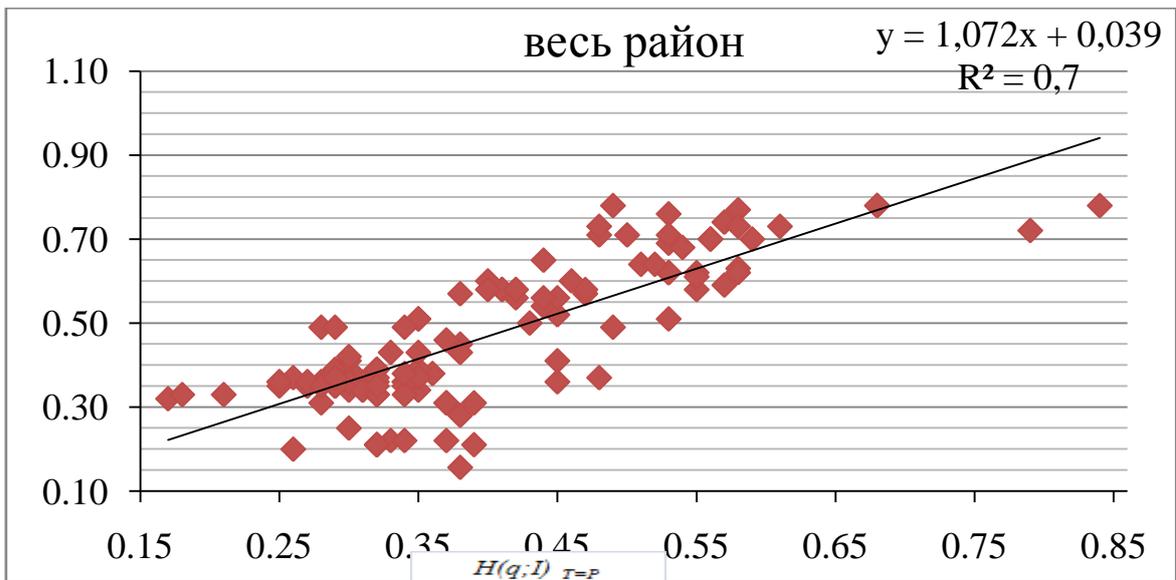


Рисунок 4.2.5. График связи между индексом увлажнения $H(q;I)_{T=P}$ и коэффициентом стока для всего района

Заключение

В настоящей работе выполнена оценка увлажненности бассейнов 133 озерных систем расположенных на территории Кольского полуострова, Карелии, северо-запада и нечерноземных областей России, а также стран Балтии, и Беларуси.

Поскольку увлажненность территории во многом зависит от теплового и водного балансов, то в работе использовались данные наблюдения за температурой воздуха- показателем теплового баланса, атмосферными осадками -показателем водного баланса, а также данные по модулю стока, снятые с карт Мирового водного баланса и отнесенные к центрам тяжести озерных бассейнов.

Рассчитывались следующие индексы увлажненности: индекс Мартонни α^M , коэффициент стока α , индекс увлажненности $H(q;I)$. Индекс Маргонни α^M представляет собой отношение средней годовой суммы осадков (P) к средней годовой температуре воздуха (T). Коэффициент стока α представляет собой отношение речного стока (Q) к осадкам (P), и показывает какая часть выпавших осадков стекает в речную сеть. Для расчета коэффициента увлажненности $H(q;I)$ использовался метод рандомизированных сводных показателей. Индекс увлажненности $H(q;I)$ учитывает влияние на увлажненность подстилающей поверхности температуры воздуха (T) и атмосферных осадков (P) и определяется по формуле: $H^{(j)} = W_1 * T^{(j)} + W_2 * P^{(j)}$, где $W_i \geq 0, W_1 + W_2 = 1$ - весовые коэффициенты учитывающие значимость исходных характеристик; j - количество озерных систем.

Т.о. индекс увлажненности $H(q;I)$ учитывает не только значения температуры воздуха (T) и атмосферных осадков (P), но и их вес.

Индекс увлажненности $H(q;I)$ рассчитывался при разных вариантах расстановки приоритетов между температурой воздуха (T) и атмосферными

осадками (P): их равенстве, приоритете температуры (T) над осадками (P) и приоритете осадков (P) над температурой (T).

Сопоставление индексов $H(q;I)$, рассчитанных при разных вариантах задания дополнительной экспертной информации с коэффициентом стока α и индексом Мартонни α^M показало, что в условиях современного бореального умеренно-континентального климата следует отдавать предпочтение первому или второму вариантам расстановки приоритетов в группе климатических характеристик. При расчете $H(q;I)$ возможно изменение оценок Mw_i для температуры воздуха от 0.50 до 0.78, а для осадков от 0.22 до 0.50. В этих случаях распределение $H(q;I)$ по территории согласуется с современным распределением α и α^M .

Климатическое районирование, выполненное по индексу увлажненности $H(q;I)$ в общих чертах совпадает с районами выделенными по коэффициенту стока α . Это связано с тем, что индексы достаточно хорошо согласуются между собой. Так коэффициент регрессии (R^2) описывающий связь индекса Де-Мартонни α^M и индекса увлажненности $H(q;I)_{T=P}$ рассчитанного для всего района в целом составляет 0.65. Связь индекса Де-Мартонни α^M и индекса увлажненности $H(q;I)_{T>P}$ рассчитываю для всего района в целом, описывается коэффициентом регрессии (R^2) равным 0.85. Величина коэффициента регрессии R^2 для связи индекса Де-Мартонни α^M и индекса увлажненности $H(q;I)_{T>P}$ вычисленная для озерных бассейнов Кольского полуострова и нечерноземных областей России (Псковская, Новгородская, Ярославская, Вологодская, Костромская, Тверская, Ленинградская области) увеличивается до 0.93. Связь между коэффициентом стока α и индексом увлажненности $H(q;I)$ также высока. Коэффициент регрессии R^2 , оцененный для всего района в целом при сопоставлении коэффициента стока α и индекса увлажненности $H(q;I)_{T=P}$ составляет 0.70.

На основании графиков связи построенных для индексов увлажненности можно сделать вывод: для характеристики увлажненности озерных бассейнов расположенных в пределах анализируемого региона

можно использовать любой из рассчитанных индексов. Эти индексы отражают закономерное увеличение увлажненности территории с юга на север и от низменных районов к возвышенным.

Список использованной литературы

1. Блютген И. География Климатов. Т.2.-М.: Прогресс. -1973-402 с.
2. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем.- Л.: Гидрометеиздат, 1980.-352 с.
3. Богословский Б.Б. О районировании озер СССР по водному балансу. Минск: изд. БГУ, 1982-214с.
4. Глазачева Л.И. Влияние хозяйственной деятельности на уровеньный режим озер Латвии// Гидрология озер и водохранилищ. Ч.1. Озера. - М.: изд. МГУ. 1975 . 57-65 с.
5. Догановский М.А.,Малинин В.Н. Гидросфера Земли.- СПб.: Гидрометиздат, 1986-76-91 с.
6. Ефимова И.А. Изменения условий увлажненности европейской территории СССР за последний тысячелетия. Труды ГГИ, вып. 320.Л.: Гидрометеиздат, 1986-76-91 с.
7. Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В., Черенкова Е.А. Динамика разных типов засух в европейской России в XX-XXI вв.М.: изд. Триада ЛТД, 2006.-130с.
8. Иванов Н.Н. Ландшафтно-Климатические зоны земного шара Записки Всесоюзного географического общества. Новая серия Т.-1Л.:изд АНСССР. 1948-223 с.
9. Корников В.В., Серегин И.А., Хованов И.В. Байесовская модель обработки нечисловой, неточной и неполной информации о весовых коэффициентах // СПб. доклад Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. Т.1 СПб.: 2000.-104-107 с.
10. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли.- Л.: Гидрометеиздат, 1974.-94 с.
11. Мякишева Н.В. Климатическая система Земли. СПб.: Гидрометеиздат, 2008.-94 с.

12. Мезенцев В.С. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях. Учебное пособие -Омск: изд.Омского СХИ, 1982.-123с.
13. Никитинская К.Д. Режим уровня озер и водохранилищ Карелии Л.: Наука 1976.-146 с.
14. Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности.-Л.: Наука, 1969.-248с.
- 15 Якушко О.Ф. Озероведение. География озер Белоруссии. Минск: Высшая школа. С.181-224.