

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ И ГЕОГРАФИИ**

На правах рукописи

C.Z.U.: 556.1+504.4(043.2)

ГЕРМАН БЕЖЕНАРУ

**ОЦЕНКА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА
РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**166.02 ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И РАЦИОНАЛЬНОЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ**

Автореферат докторской диссертации

КИШИНЕВ, 2017

Диссертация была разработана в лаборатории Ландшафтоведения Института Экологии и Географии

Научный руководитель:

МЕЛЬНИЧУК Орест, доктор хабилитат географических наук, конференциар университетар

Официальные опоненты:

МОРАРУ Константин, доктор хабилитат геологических наук, конференциар исследователь

БОБОК Николае, доктор географических наук, конференциар университетар

Состав специализированного научного совета:

НЕДЯЛКОВ Мария, председатель, доктор хабилитат географических наук, профессор университетар

БЕЖАН Юрий, научный секретарь, доктор географических наук, конференциар университетар

СОФРОНИ Валентин, доктор хабилитат географических наук, профессор университетар

ГРЕБЕНЬ Василий, хабилитат географических наук, Ураина

АРНАУТ Николай, доктор географических наук, конференциар исследователь

Защита состоится 14 июля 2017 г., в 14:00

На заседании специализированного ученого совета (D 12. 166.02 - 01)

в Институте Экологии и Географии,

Кишинев, ул. Академическая 1, каб. 352

С докторская диссертация можно ознакомиться в Центральной Библиотеке АН (Кишинев, ул. Академией 5) и на веб странице ВАК-а (www.cnaa.md)

Автореферат разослан 14 июня 2017

Научный секретарь Специализированного Ученого Совета,

БЕЖАН Юрий, доктор географических наук, конференциар университетар



Подпись

Научный руководитель,

МЕЛЬНИЧУК Орест, доктор хабилитат географических наук, конференциар университетар

Подпись

Автор

Беженару Герман

Подпись

Актуальность и значимость поставленной задачи. Проблема исследования водных ресурсов затрагивает многие стороны социально-экономических проблем Республики Молдова. Располагаясь в зоне недостаточного увлажнения и избытка тепла, местные реальные водные ресурсы Молдовы, составляют всего 6,7% от общего притока влаги на территорию Республики. В связи с относительной малостью и высокой изменчивостью водных ресурсов разработка методических принципов их достоверной оценки представляет собой важную и актуальную задачу.

В развитии производительных сил республики водные ресурсы занимают особое значение, обеспечивая развитие агрометеорологических мероприятий, промышленное и коммунальное водоснабжение, нужды рекреации и рыбозаводства, а также при развитии инфраструктуры урбанизированных территорий. Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью оценки изменения компонентов водно-теплового баланса, в условиях антропогенного преобразования ландшафтов и глобального потепления.

Ключевым вопросом в этом направлении следует считать обоснование оценок достоверности статистических параметров компонентов водно-теплового баланса с учетом нестационарности имеющейся информации, возможной фазовой погрешности и ошибки пространственной интерполяции.

Современное состояние изученности водных ресурсов и направления дальнейших исследований. Вопросами оценки водных ресурсов Республики Молдова посвящено ряд научных исследований и практических рекомендаций. Прежде всего, следует отметить исследования проф. Лалыкина Н. [14], разработавшего генетическую классификацию водных ресурсов и предложившего систему методических построений для практического определения норм годового стока в условиях слабоизученных водосборов.

Определенным вкладом в теорию и практику определения характеристик стока явилось разработка нового нормативного документа, обеспечившего общие требования к определению водных ресурсов при наличии и, недостатке и отсутствии информации.

Имеющиеся в литературе разработки (Бевза Г., Сластухин В., Мокляк В., Онуфриенко Л., Каганер С.), касающиеся обобщения материалов наблюдений над водными ресурсами, выполненные в целом для территории Республики Молдова и Украины. Однако в силу недостатка информации и невысокой обоснованности методов расчета нуждаются в доработке. Итогом таких исследований, являлись картографические материалы, обобщающие основные статистические параметры норм годового стока без учета влияния интразональных и азональных факторов, в том числе факторов хозяйственной деятельности и потепления климата.

Во второй половине 20-го века, возникло новое, так называемое, генетическое направление исследования годового стока применительно к главным источникам питания рек. Такого рода исследования позволили разработать методические принципы оценки влияния интразональных и азональных факторов на поверхностную и подземную составляющие стока. Основой названного направления являются исследования проф. Бефани А., Гопченко Е., Лободы Н., Мельничука О. и др.

В этой связи, диссертационные исследования посвящены применению генетического метода для изучения и определения водных ресурсов Республики Молдова.

Целью научных исследований является разработка методов определения компонентов водно-теплового баланса, применительно к оценке ресурсов поверхностных и подземных вод в условиях водохозяйственного преобразования ландшафтов и глобального потепления климата.

Задачи работы.

1. Обобщение и оценка статистических параметров компонентов водно-теплового баланса и принципов обработки многолетней информации на базе гидрометеорологического мониторинга Республики Молдовы и соседних регионов Румынии и Украины, а также систематизация

- естественных и антропогенных характеристик подстилающей поверхности ландшафтов и их картографическое моделирование;
2. Изучение временных и пространственных закономерностей изменения теплоэнергетических и ресурсов увлажнения, как компонентов водно-теплового баланса ландшафтно-бассейновых структур;
 3. Оценка климатических водных ресурсов и генетических компонентов естественного годового стока в границах ландшафтно-бассейновых структур;
 4. Исследование влияния основных видов хозяйственной деятельности на изменение характеристик естественного годового стока с применением детерминировано-стохастических моделей;
 5. Дать оценку возможного изменения водно-теплового баланса на территории Р.Молдова под влиянием глобального потепления климата.

Методология научных исследований. Реализация научных исследований по определению компонентов водно-теплового баланса основана на методах обобщения исходной информации и включает в себя первичную статистическую обработку с использованием принципов стохастического и детерминистического анализа. Реализация стохастических принципов исследования основана на теории вероятности, математической статистики, системного и факторного анализа. Детерминистический анализ основан на физико-математическом обобщении компонентов водно-теплового баланса, которые предусматривают их определение при недостатке и отсутствия данных наблюдений.

Методические принципы определения влияния антропогенных факторов основаны на применение метода сравнения характеристик стока, в естественном и нарушенном хозяйственной деятельностью состояниях. Кроме того, одновременно используется методика водохозяйственного баланса, основанная на учете характеристик водопользования и водоотведения. Существующие математические модели [14, 17] в сущности, описывают эволюцию гидрологической системы и позволяют в итоге оценить влияние хозяйственной деятельности через числовые значения – коэффициента антропогенного влияния.

В реализации исследований использовались материалы системы мониторинга ГГС и соответствующих организаций соседних стран за период инструментальных наблюдений, по водохозяйственному балансу, а также материалы подстилающей поверхности и землепользованию. Выявленные циклические закономерности легли в основу определения норм компонентов водно-теплового баланса.

Для анализа влияния изменения климата на компоненты водного баланса использовались материалы многолетних наблюдений, как за принятый базовый 30 летний период (1980-2010 гг.) рекомендуемый ВМО, так и за вековой 120 летний период (1880-2010).

Научная новизна и оригинальность в работе: впервые в новой редакции предлагается использование генетической концепции исследования норм поверхностной и подземной составляющих годового стока в условиях ландшафтно-водосборных и других регионов страны. Разработаны методические принципы оценки изменения водно-теплового баланса ландшафтных регионов страны под влиянием антропогенных преобразований ландшафтов и глобального потепления.

Реализованная важная научная проблема состоит в разработке новых принципов оценки естественных и антропогенно-измененных водных ресурсов страны в условиях вероятных изменений климата.

Теоретическая значимость. Впервые на основе генетической теории формирования годового стока, разработанной проф. А. Н. Бефани и его последователями, реализуются принципы определения компонентов водно-теплового баланса на территории Республики Молдова.

Прикладная ценность работы. Выполненные диссертационные исследования и серия публикаций по данной теме повышают надежность и эффективность определения

основных гидрологических характеристик годового стока необходимых при разработке проектов водохозяйственного строительства, охраны окружающей среды и рационального использования водных ресурсов Молдовы.

Внедрение научных результатов выполнено через связь с научными международными и национальными программами и проектами. Полученные автором результаты вошли составной частью международную программу – «Изменение климата и безопасность в восточной Европе, Центральной Азии и на Южном Кавказе», в программы по госбюджетной тематике Института Экологии и Географии „Organizarea spațială a sistemelor teritoriale sub acțiunea factorilor naturali și antropici”: 15.817.02.15F(2014 -2018гг), в работе „Офиса Изменение Климата”, в практику воднобалансовых расчетах, выполняемых в Государственном Агентстве „Apele Moldovei”, в оперативной работе «Центра Исследований и ГИС» при Государственной Гидрометеорологической Службе Молдовы, а также внедрены в учебные планы подготовки специалистов-географов по университетским дисциплинам – «Гидрология», «Моделирование в гидрологии и климатологии», «Использование ГИС в охране окружающей среды» в Государственном Тираспольском Университете.

Публикации по теме диссертации. По теме диссертации опубликовано 8 научных работ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из вступления, 4 глав и общего заключения, библиографии из 141 названий, 118 страниц основного текста, 41 таблиц, 59 рисунков и 36 приложений.

Ключевые слова: водно-тепловой баланс суши, генетические компоненты годового стока, цикличность, фазовые погрешности, антропогенные преобразования водных ресурсов.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Введение содержит сведения по актуальности и степени изученности выдвинутой проблемы на защиту; сформулированы цели и обозначены задачи по которым реализовались исследования; сформулированы научная новизна работы, теоретическая и прикладная значимость полученных результатов; изложены данные по апробации и внедрению результатов, а также сведения по объему и содержанию диссертационной работы.

1. ОЦЕНКА ИЗУЧЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА В УСЛОВИЯХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В современной литературе по исследованию водно-теплого баланса рассматривается комплекс вопросов, относящихся как к индивидуальной оценке компонентов баланса, так и комплексе с естественными и антропогенными факторами.

Нами используется концепция, которая основана на анализе взаимосвязи теплового и водного балансов через обобщение показателей радиационного баланса, с выходом на ресурсы климатического и естественного стока [17, 18, 19].

Такая модель включает в себя, как элементы детерминизма, так и стохастического анализа. В итоге такого рода разработок получено ряд исходных характеристик радиационного баланса Республики Молдова, которые затем при помощи методов Мезенцева–Лободы трансформируются в эквиваленты максимально, суммарного испарения и климатический сток. В дополнение к этим подходам нами для обобщения эквивалента предельного испарения предлагается использовать в качестве аргумента среднееголетнее значение продолжительности солнечного сияния.

Следует подчеркнуть, что при использовании логико-последовательной системы анализа компонентов водно-теплого баланса четче раскрывается сущность пространственно-временной закономерности изменения по территории РМ суммарного испарения. При таком подходе нет необходимости учета запасов влаги в почве, дефицита

влажности воздуха и ряд других термических и почво-ботанических характеристик, которые используются в моделях Будыко М., Константинова А. и др.

1.2. Оценка изменения водно-теплового баланса под влиянием антропогенных факторов.

Следует отметить, что и положительная часть радиационного баланса, и теплообмен с атмосферой, реагируют на характер подстилающей поверхности и структуру землепользования. Оценка этого взаимодействия выполнялась при помощи характеристик альbedo земной поверхности, что позволило установить степень уменьшения отражательной способности солнечной радиации различными типами преобразованной поверхности.

Сущность оценки влияния антропогенных факторов на водно-тепловой баланс сводилось к использованию коэффициента антропогенного влияния, представляющий собой отношение характеристик водно-теплового баланса к величине климатического стока. В итоге это позволяет дать оценку измененных характеристик компонентов водно-теплового баланса через произведение коэффициента антропогенного влияния k_a климатический сток \bar{Y}_k , т. е. $\bar{Y}_a = k_a \bar{Y}_k$.

Принятая модель позволяет дать оценку влияния отдельного фактора (регулирование стока, агротехнические мероприятия, урбанизация, орошение и водопотребление) и их суммарного воздействия, прежде всего на водные ресурсы.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Система мониторинга для изучения водно-теплового баланса и водных ресурсов. Известно, что полнота гидрометеорологической информации гарантирует достоверность выводов по выполняемой теме.

В работе использовались материалы метеорологической сети мониторинга ГГС, состоящий из 18-и станций и 61-го поста. Для проведения исследований использовались многолетние данные наблюдений по осадкам и температуре. Степень полноты названной информации не всегда обеспечивает допустимые погрешности определения необходимых характеристик. Анализ данных показал, что 30% пунктов наблюдений охватывают период не более 30 лет. Наиболее полно изучены северная и центральная части страны, где сосредоточены 58 пунктов наблюдений.

Пространственное обобщение данных наблюдений выполнено по трем географическим регионам – Северу, Центру и Югу. Следует отметить, что распределение станции по территории РМ в общем неравномерно. Например, северный и центральный регионы занимают 70% площади страны, Здесь плотность пунктов наблюдений составляет один пункт на 380 км² площади, В Южном регионе приходится один пункт на 603 км².

В среднем по территории Республики один метеорологический пункт (станция, пост) репрезентирует площадь в 428 км². Допуская, что территория представляет окружность с радиусом R_x в центре, которого располагается метеорологический пункт, то значение этого радиуса равно половине расстояния L_x между пунктами наблюдений:

$$\frac{L_x}{2} = R_x = \sqrt{\frac{f_x}{\pi}}, \quad (1)$$

где f_x – площадь, репрезентирующая плотность метеорологических пунктов по принятым регионам. В соответствии с этими данными значение $L_x/2$, вычисленное по формуле (1) соответственно будет равно: для южного региона – 14 км; для центра и севера по 11 км и в среднем для территории страны – 12 км.

В итоге анализ пространственной интерполяции основного метеорологического компонента – осадков показывает, что погрешности интерполяции выходят за пределы допустимых значений. При среднем расстоянии между пунктами наблюдений в 24 км – среднеквадратичная ошибка колеблется в пределах от 9,5% при Cv 0,10 до 19,1% при Cv 0,40.

В работе использовались данные наблюдений за стоком рек страны – 40 гидрометрических створов и прилегающих регионов соседних стран: Румыния – 9 створов и Украина – 16 створов. Плотность стоковых гидрометрических створов составляет 1 пункт на 1127 км².

Анализ показывает, что степень изученности речного стока, в общем, не одинаковая. Количество постов с периодом непрерывных наблюдений более 50 лет составляет всего 26 % от общего числа, в то время как число постов с рядами непрерывных наблюдений от 20 до 30 лет достигает 56 %.

В качестве базовой информации для приведения годового стока рек к репрезентативному циклу лет используются реки-аналоги из состава существующей сети пунктов наблюдений, по которым имеются наиболее длинные ряды по годовому стоку 45 и более лет. В границах исследуемой территории, по состоянию на 2010 год, используется 21 водосбор-аналог, а также территория водосбора р. Днестр между гидрометрическими створами г. Бендеры и г. Залещики с периодом многолетних наблюдений с 1891 по 2010 год, характеризующий промежуточный сток р. Днестр на этом участке.

2.2. Методические принципы оценки климатического стока.

Систематизированные материалы многолетних наблюдений обеспечивают комплекс исследований, охватывающих как климатические, так и гидрологические характеристики. Проблема сводится к тому, что при недостаточно полной изученности компонентов водно-теплового баланса, необходимо получить надежные данные для водохозяйственных и гидроэкологических расчетов.

В широком научном смысле в современной географии находят свое применение детерминистические и стохастические методы. При реализации предлагаемой темы нами комплексно используется метод водного и теплового балансов, которые обеспечивают определение компонентов баланса через физически обоснованные закономерности. Если считать метод водного и теплового баланса основополагающим способом исследования гидрологических и климатических факторов окружающей среды, то реализация его требует применения целого комплекса математических и физических обоснований. Для этого нами широко используется комплекс детерминистских и стохастических методов. Среди стохастических подходов в изучении компонентов названного баланса широко использовались оценки статистических параметров стационарных и нестационарных колебаний приходной и расходной части водного баланса.

Выполненные исследования по оценке водных ресурсов базируются на применении физических и статистических закономерностей. Физически принцип анализа основан на использовании генетической теории стока, разработанной проф. Бефани А. Термин «генезис», подразумевает раскрытие закономерностей между видами питания – поверхностным и подземным стоке и их факторами – зональными, интразональными и азональными.

При анализе временных закономерностей изменения компонентов водно-теплового баланса нами используется как методы математической статистики, так и теории стохастических, вероятностных процессов [6, 22]. При пространственном анализе компонентов водного баланса есть необходимость применения факторного и системного анализа [17].

Принимая во внимание оценку климатического стока через уравнение водно-теплового баланса, в диссертации выполнен комплекс исследований по оценке расходной составляющей этого баланса, то есть суммарного испарения с суши. Тепловая энергетическая составляющая – солнечная радиация, обобщалась путем статистической обработки составляющих радиационном баланса [16, 17, 18]:

$$R^+ + P^+ = LE_{max}, \quad (2)$$

откуда

$$E_{max} = \frac{R^+ + P^+}{L}. \quad (3)$$

Здесь R^+ – положительная составляющая радиационного баланса, равная разности между суммарной коротковолновой радиацией Солнца и балансом длинноволнового излучения земной поверхности за вычетом противоизлучения атмосферы в дневные и частично в сумеречные часы суток; P^+ – положительная составляющая турбулентного обмена (адвективное тепло); LE_{max} – тепло конденсации водяных паров воздуха на элементах земной поверхности.

Ввиду того что наблюдения за параметрами уравнений (2) и (3) ведутся на одной актинометрической станции – г. Кишинев нами были использованы данные с прилегающих территорий – Украина и Румынии, итого 11 станций с полным комплексом наблюдений над солнечной радиацией.

Материалы этих станций послужили основой для картографического моделирования суммарной радиации и радиационного баланса (приходной и расходной частей).

Картографическое моделирование теплоэнергетического эквивалента нуждается в большей плотности станций. С этой целью возникла необходимость использовать дополнительные станции, ведущие наблюдения за продолжительностью солнечного сияния и температурой воздуха.

В итоге составлены регрессионные уравнения, связывающие E_{max} с продолжительностью солнечного сияния и суммой среднемесячных температур воздуха за теплый период года $\sum_V^{IX} \bar{t}_M$.

$$\bar{E}_m = 13.3 \sum_V^{IX} \bar{t}_M - 307, \text{ мм.} \quad (4)$$

Следует подчеркнуть, что данная зависимость широко применяется в различных регионах мира [17,18]. Однако на наш взгляд она не отвечает физическим требованиям в предельном интервале, когда $\sum_V^{IX} \bar{t}_M \rightarrow 0$. В таком случае эквивалент $\bar{E}_m = 307$ мм, то есть равен неопределенному значению.

Дополнительно к таким расчетам нами использован более эффективный метод, который сводится к построению уравнения регрессии между $R^+ + P^+$ и \bar{E}_m , от средней многолетней продолжительностью солнечного сияния S . В итоге зависимости имеют вид:

$$R^+ + P^+ = 1,10 \cdot S, R2=0,98 \quad (5)$$

$$\bar{E}_m = 0,439 \cdot S, R2=0,98 \quad (6)$$

Ввиду того что достоверность уравнений (5) и (6) оказывается выше чем уравнения (4) картографическое моделирование этих функций выполнена для сети дополнительных станций, ведущих наблюдения за продолжительностью солнечного сияния.

Оцененное по уравнению (6) характеристика теплоэнергетического коэффициента E_{max} и фактические данные по продолжительности солнечного сияния обобщалось на базе картографического моделирования по всей территории Республики Молдова и по ландшафтными регионам (Рис. 1 и Рис. 2).

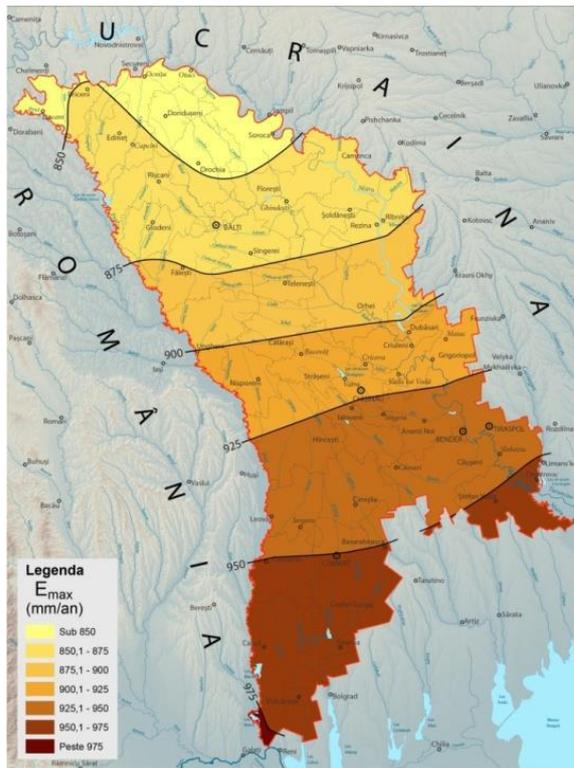


Рис. 1. Эквивалент максимального испарения, E_{max} , мм

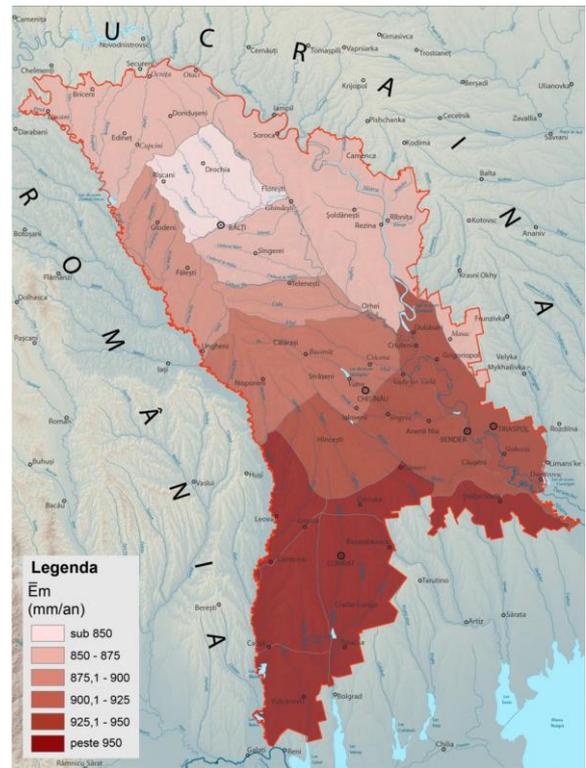


Рис. 2. Эквивалент максимального испарения, E_{max} , мм, по ландшафтным регионам

Следует принять во внимание, что переход от максимального испарения к суммарному испарению E_{US} , согласно концепции Мезнецева В., Лободы Н., и Гопченко Е., нуждается также в определении ресурсов увлажнения.

Оценка ресурсов увлажнения основана на материалах многолетних наблюдений сети метеорологических станций Республики Молдова (раздел 2.1). Временной и пространственный анализ норм годовых осадков выполнен на основе специальной статистической обработки информации по 18-и станциям и 61 посту, включая вычисления коэффициентов вариации, асимметрии и автокорреляции. Итоги расчетов показали, что их значения испытывают различную динамику, зависящую от зональных факторов и факторов подстилающей поверхности. Для оценки надежности (вероятных погрешностей) были предприняты различные методические подходы. Для этого, прежде всего, исследованы погрешности пространственной интерполяции осадков, при помощи т.н. *пространственных корреляционных функций* [22] (ПКФ, рис. 3).

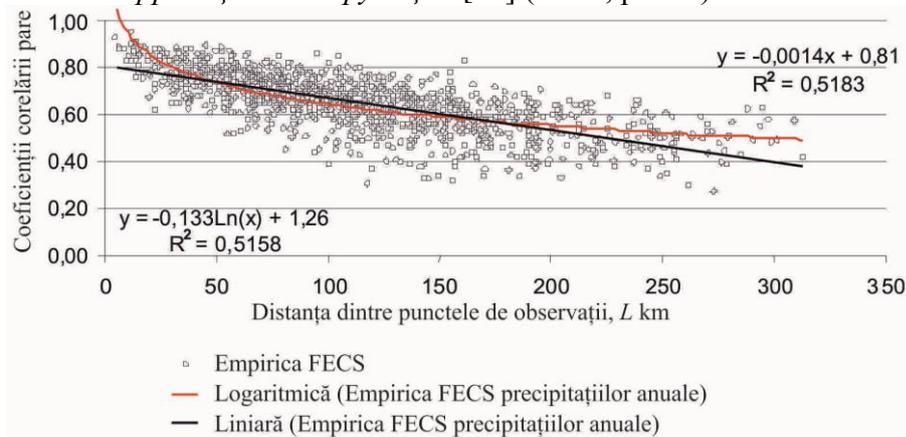


Рис. 3. Пространственно корреляционная функция (ПКФ) годовых сумм атмосферных осадков

Аналитическая аппроксимация эмпирической зависимости позволила дать оценку однородности и достоверности пространственного обобщения. Как следует из рис. 3, эмпирическая зависимость коэффициентов парной корреляции $r(l_{jk})$ от расстояний между центрами тяжести водосборов (l_{jk}) аппроксимируется линейным уравнением

$$r(l_{jk}) = 0,81 - 0,0014l. \quad (7)$$

Согласно выводам Алексеева Г., [6] при условии? когда (l_{jk}) стремится к нулю, коэффициент парной корреляции в уравнении (7) будет равняться $\tilde{r}(0) = 0,81$. Данная величина коэффициента корреляции характеризует **меру случайной погрешности (ошибок) исходных данных** наблюдений, которое определится равенством $\eta_{\Delta x} = \sqrt{1 - \tilde{r}(0)} = \sqrt{1 - 0,81} = 0,44$. Располагая сведениями об изменчивости годовых осадков, которые находятся в интервале 0,17-0,27, можно определить диапазон среднеквадратических погрешностей пространственной интерполяции годовых осадков через соотношение $\varepsilon_{\Delta x} = \eta_{\Delta x} C_{V_x}$. Результаты оценки статистических параметров представлены в таб. 1.

Таблица 1

Статистические параметры и погрешности определения атмосферных осадков на территории Р. Молдова

Характеристика атмосферных осадков	Мера погрешности исходных данных, $\eta_{\Delta x}$, %	Интервал значений C_{V_x}	Диапазон средних квадратичных погрешностей осадков, $\varepsilon_{\Delta x}$, %
Годовые суммы осадков	44	0,17-0,27	7,5-12,0

Таким образом, благодаря невысокой временной изменчивости, диапазон средних квадратичных погрешностей интерполяции между пунктами наблюдений находится в интервале допустимых величин.

В дополнении к характеристикам погрешности исходных данных возникает необходимость установить статистическую однородность выборок по годовым осадкам. Технология таких расчетов выполняется при помощи преобразований Фишера. Результаты расчетов показали, что пространственная корреляционная функция признается однородной.

Анализ циклических колебаний годовых сумм атмосферных осадков в границах Республики Молдова включает в себя разработки по определению вероятных погрешностей при условии, что период фактических наблюдений над осадками меньше периода полного цикла их колебаний.

В современной литературе существует несколько методов анализа циклических колебаний. Сюда относится метод скользящего осреднения, динамической средней, метод автокорреляционных функций и спектрального анализа. В то же время наиболее наглядный и доступный для анализа считается метод основан на построении разностных интегральных кривых, представляющих последовательную сумму нормированных отклонений годовых осадков, а именно

$$\sum_1^N \left(\frac{x_i}{x_0} - 1 \right) = \sum_1^N (K_i - 1) = f(N). \quad (8)$$

Обычно интегральные кривые, построенные по уравнению (8) используются для оценки синхронности изменения годовых осадков или других характеристик. Такого рода анализ позволил установить для трех регионов Республики характер синхронности колебательного процесса (рис. 4).

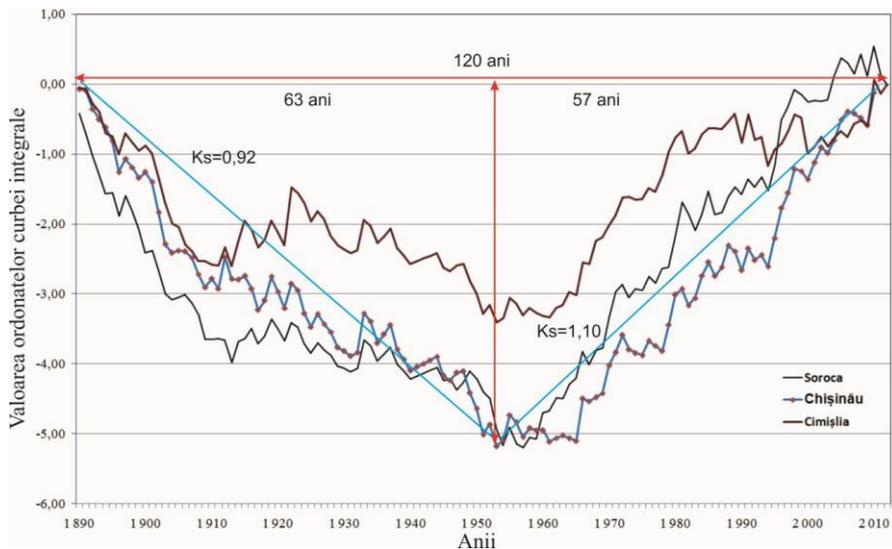


Рис. 4. Совмещенные нормированные интегральные графики многолетних колебаний годовых осадков

На рис. 4 представлены интегральные кривые годовых осадков по трем метеорологическим станциям (Сорока, Кишинев, Чимишлия) с более чем вековым периодом наблюдений. Анализ показывает, что многолетний характер колебаний указывает на достаточно высокую синхронность изменения осадков в границах территории Республики. Кроме того, четко выделяется фазы подъема и спада интегральной кривой с практически симметричным циклом. Фаза спада занимает 63 года, с 1890 по 1953 год и фаза подъема – 57 лет, 1953 по 2010 г.

Представленная изменчивость годовых сумм осадков наглядно подтверждает факт возникновения погрешностей в определении нормы годовых осадков, когда период наблюдений не охватывает полный цикл. Например, если располагаем данными с 1953 года по настоящее время, то средняя арифметическая величина за этот период будет выше нормы, так как модульный коэффициент здесь составляет 1,10. Таким образом, данную величину нельзя экстраполировать на будущее.

Для географического обобщения характеристик годовых осадков возникает необходимость сформулировать основные требования и задачи пространственного моделирования. Выбор метода картографического моделирования связан с проблемой соотношения между влиянием зональных (климатических) и азональных (орографических) факторов.

В случае преобладания климатических факторов использовался метод интерполяции, результаты которого приводятся на рис. 5. При преобладании азональных факторов предлагается эмпирическая зависимость между абсолютной высотой метеорологического пункта наблюдений (H) и географическими координатами – широта (φ) и долгота (ψ) – рис. 6.

$$X_0 = (a'\varphi - b')H + (c - d\psi) \quad (9)$$

Здесь числовые значения региональных параметров, входящих в уравнение (9) получены при помощи регрессионного анализа. В итоге их значения соответственно равны: $a' = 0,295$; $b' = 13,6$; $c=1095$; $d=21,0$.

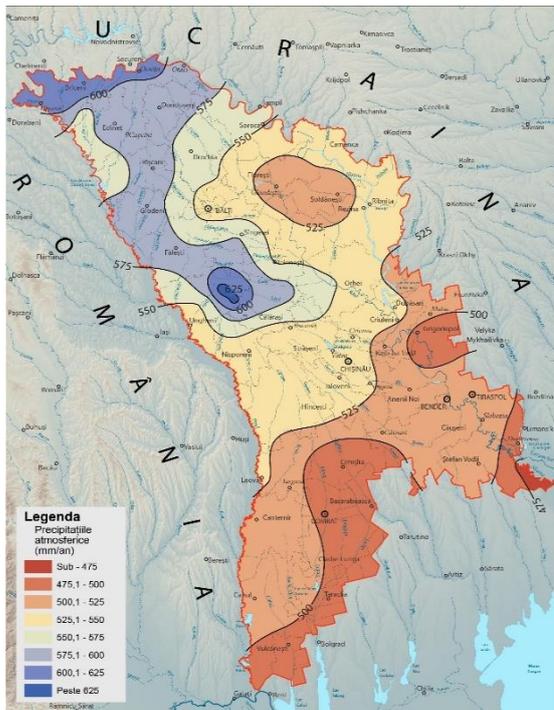


Рис.5. Модель карты распределения годовых осадков, составленная методом интерполяции

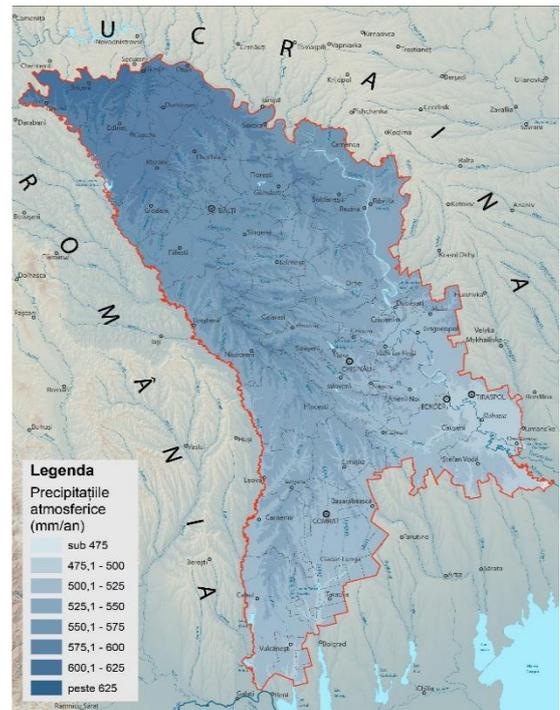


Рис.6. Модель карты распределения годовых осадков, составленная по уравнению регрессии (9)

Практическое применение метода интерполяции имеет преимущество в том, что по карте для любого пункт прямо устанавливается искомая величина значения. Метод регрессии обеспечивает оценку искомой характеристики в точке ограниченной разрешением карты, а пространственное обобщение искомых значений представляет определенные сложности.

Принимая во внимание наличие четкой физической зависимости между водным и тепловым балансом согласно Мезенцеву В. [18], выразившего компоненты баланса в долях от эквивалента максимального испарения в итоге предлагается реализация балансового уравнения через искомую величину суммарного испарения. Это позволяет дать непосредственную оценку суммарного испарения E_{US} :

$$\bar{E}_{US} = \bar{E}_{max} \left[1 + \left(\frac{\bar{X}}{\bar{E}_{max}} \right)^{-3} \right]^{-\frac{1}{3}} \quad (10)$$

На основании оцененного по уравнению (10) суммарного испарения для всех метеорологических пунктов, была разработана картографическая модель суммарного испарения с территории Республики Молдова (рис. 7)

При установленных значениях E_{max} и X_0 , уравнение водного баланса позволяет дать оценку т.н. климатических водных ресурсов или климатической нормы стока:

$$\bar{Y}_{cl} = \bar{X} - \bar{E}_{max} \left[1 + \left(\frac{\bar{X}}{\bar{E}_{max}} \right)^{-3} \right]^{-\frac{1}{3}} \quad (11)$$

На основании уравнения (11) была построена картографическая модель климатической нормы стока (рис. 8):

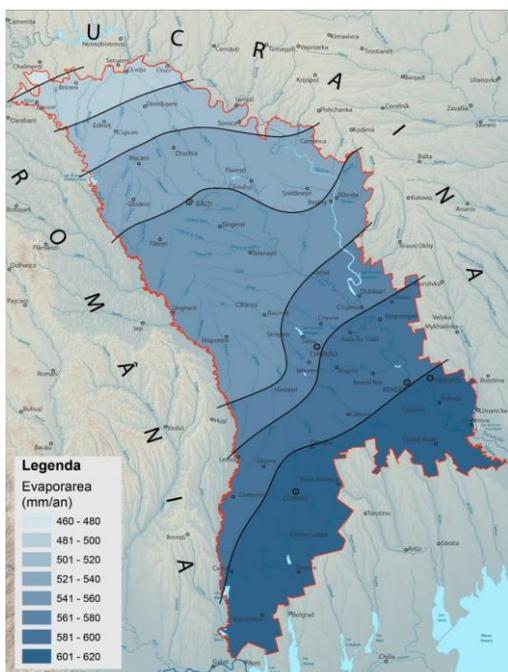


Рис. 7. Карта суммарного испарения с суши, \bar{E}_{US} мм/год

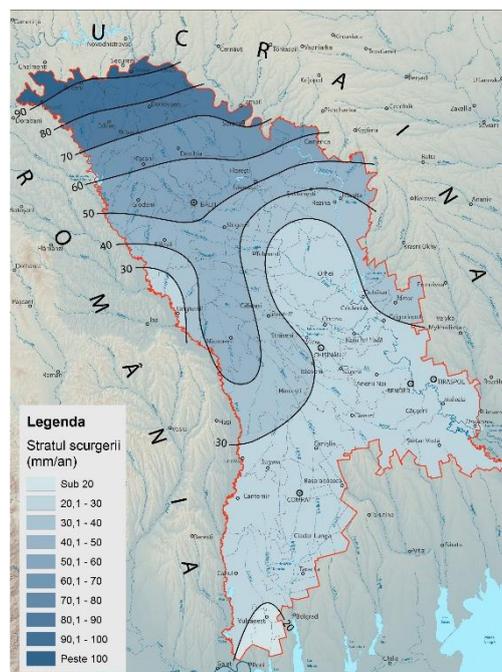


Рис. 8. Изолинии климатических водных ресурсов, \bar{Y}_{cl} , мм/год

Следует подчеркнуть, что при сопоставлении приведенных картографических моделей, основанных на строгих физических балансовых свойствах, дополнительное испарение и сток закономерно изменяются по территории страны, соблюдая зональные особенности этих компонентов баланса. Если на юге испарение составляет 600 мм и более, то климатический сток тут не превышает 20-30 мм. На севере страны, испарение составляет 460-480 мм, а климатический сток – 90-100 мм в год. Это подтверждает строгую климатическую зональность этих компонентов, не нарушенных хозяйственной деятельностью человека.

3. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА

3.1. Оценка водных ресурсов на основе исследования генетических компонентов годового стока

Установленные выше характеристики климатического стока позволяют дать оценку количественных характеристик влияния окружающей среды на водные ресурсы. Однако они не обеспечивают оценку естественных водных ресурсов, измеренных на гидрометрических створах изучаемых рек. Для этого возникает необходимость анализа и обработки материалов гидрометрических наблюдений над речным стоком.

В соответствии с генетической теорией формирования водных ресурсов рек и временных водотоков [9, 12] общий годовой сток, состоит из двух основных компонентов, поверхностной Y_{sp} и подземной Y_{sb} составляющих:

$$Y_{tot} = Y_{sp} + Y_{sb} \quad (12)$$

Обычно компоненты поверхностной и подземной составляющей годового стока устанавливаются путем расчленения гидрографов стока. Это направление получило в гидрологии широкое распространение, и различные методические подходы разработаны рядом авторов (Куделин Б., Огиевский А., Воскресенский К., Diaconu К., Platagea Г., Serban П. и др.). Особое внимание к решению этих вопросов уделяется в исследованиях А.Н. Бефани [9, 10].

Принципиальной основой генетического метода является принцип выделения подземной составляющей как средней характеристики межлетнего зимнего и летнего стока.

Этим принципом были обработаны ежегодные материалы по годовому стоку и составлены ряды подземной и поверхностной составляющей в соответствующих размерностях. Принимая во внимание, что продолжительность сезонов летней (T_v) и зимней (T_i) межени, в сущности, различна, нами предложен более усовершенствованный прием оценки расходов летней $\bar{Q}_{\min(v)}$ и зимней $\bar{Q}_{\min(i)}$ межени, как средневзвешенное значение по сезонам различной продолжительности:

$$Q_{sb} = \frac{\bar{Q}_{\min(i)} \cdot T_i + \bar{Q}_{\min(v)} \cdot T_v}{T_i + T_v} . \quad (13)$$

Поверхностная составляющая оценивалась как разность общего годового стока и подземного стока (12).

Многолетний ход стока, осадков и других элементов водного и теплового балансов можно представить себе, как совокупность случайных годовичных отклонений не от постоянной многолетней нормы, а от некоторой закономерно (циклически) изменяющейся во времени величины. Установление такой закономерности возможно путем использования разностных интегральных кривых (8), рис. 9, по аналогии с анализом годовых осадков.

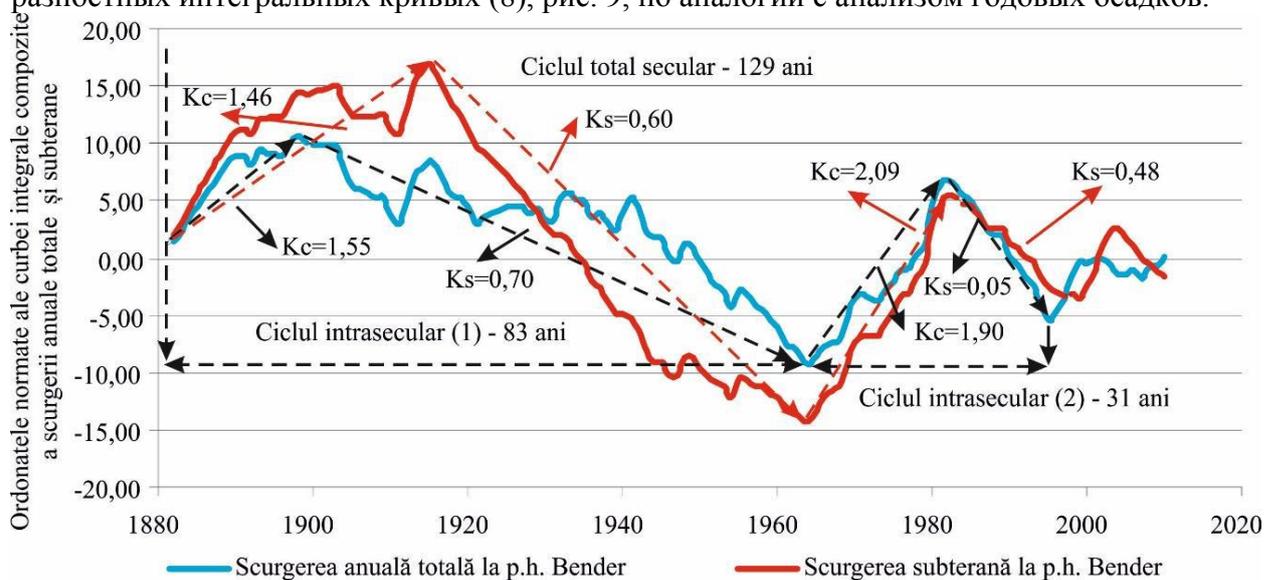


Рис. 9. Совмещенные разностные интегральные кривые компонентов годового стока реки Днестр г. Бендеры за период с 1881 по 2010 гг.

Как следует из рис. 9, общий годовой сток и его компоненты колеблются в строгой циклической и синхронной закономерности. Циклический характер колебаний компонентов годового стока, как правило, подтверждается при наличии продолжительных рядов наблюдений. В нашем примере выделяются два цикла с периодом 83 и 31 года. Характерным здесь является то, что фазы подъема первого и второго циклов сильно отличаются по продолжительности: второй цикл в два раза короче. Причем осредненные модульные коэффициенты указывают на то, что интенсивность подъема второго цикла в полтора раза больше. Надо полагать, что второй цикл формируется в период активизации глобального потепления.

Если принять во внимание что продолжительность наблюдений на малых реках РМ превышает продолжительность цикла, то согласно (Бефани, Мельничук [12]) так называемая фазовая погрешность близка к нулю.

Полученные ряды значений подземного и поверхностного стока подвергались обработке с целью достоверного установления принятых статистических параметров (нормы стока Y_{sp}, Y_{sb} , C_v , C_s и коэффициента автокорреляции r_T). Анализ статистической стационарности показывает, что ряды составляющих годового стока не стационарны, так как уровень внутрирядной связи может составлять 17% при максимальной величине 34%. Это указывает на необходимость приведения данных наблюдений к более длинному

многoletнему периоду. Такого рода проработки выполнены при помощи метода отношений и регрессионного анализа.

Для объективной оценки **погрешностей исходной информации** общего годового стока и его составляющих, а также погрешности пространственной интерполяции этих характеристик, предлагается использовать эмпирические пространственные корреляционные функции, которые обобщены для общего годового стока и двух его компонентов. На рис. 10. приводятся графики связи $r(L) = f(L)$ и уравнения регрессии применительно к названным компонентам стока.

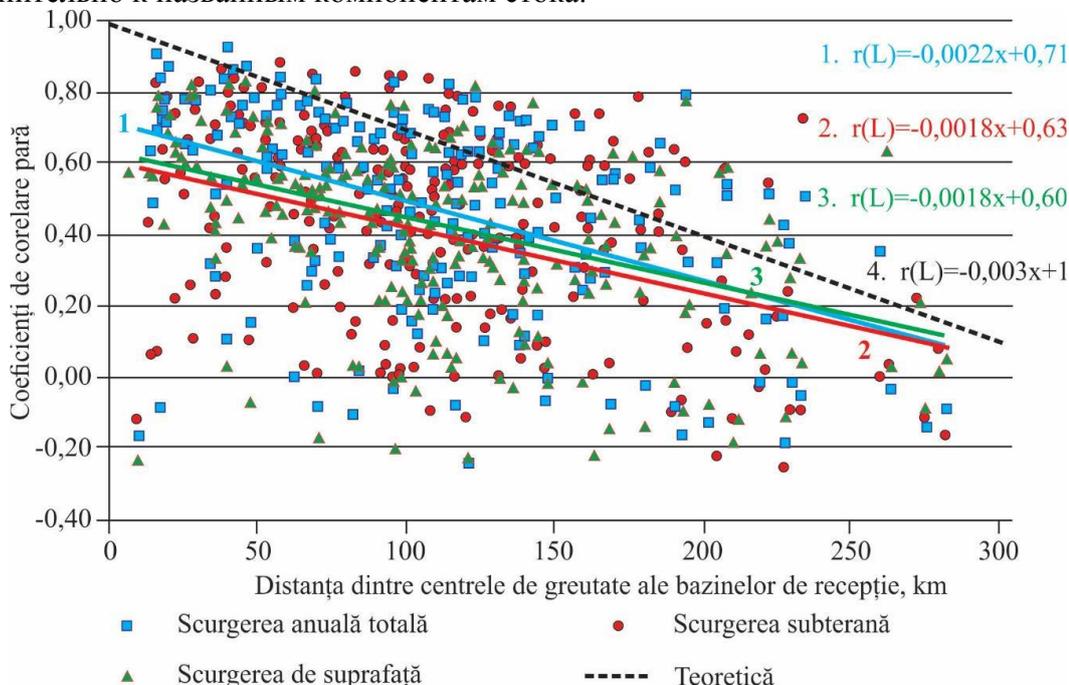


Рис. 10. Линейные эмпирические ПКФ компонентов годового стока рек Республики Молдова (1 –общий годовой сток; 2– подземный; 3– поверхностный)

Оценка результатов определения меры случайной погрешности и среднеквадратических погрешностей компонентов годового стока представлены в табл. 2. Эти данные подтверждают надежность материалов многолетних наблюдений, которая выходит за пределы допустимых требований.

Таблица 2

Мера случайной погрешности (ошибок) η_y исходных данных по годовому стоку

Экстраполированное значение $\bar{r}(0)$	Погрешность исходных данных, η_y %	Интервал значений C_v	Диапазон средних квадратичных погрешностей ε_y , %
0,62	62	0,13-1,04	8-64

Для проверки территориальной однородности полученной корреляционной функций в пределах рассматриваемого региона предлагается использовать преобразование Фишера [7]. Анализ показал, что компоненты годового стока не отвечают требованиям однородности. В этой связи возникла необходимость осуществить районирование параметров уравнений ПКФ. Выделение районов проведено в соответствии с ландшафтным районированием, а также подборкой водосборов, для которых пространственно-корреляционная функция соответствует однородности формирования годового стока. Было выделено 5 районов, для которых в соответствии с уравнениями, приведенными на рис. 10, установлены региональные параметры ПКФ.

Итоги такой обработки показывают, что применительно к выделенным природным регионам параметры эмпирической ПКФ испытывают определенную изменчивость. Это

указывает на то, что среднеквадратическая погрешность норм компонентов годового стока по большинству регионов оказалась существенно больше в сравнении с результатом, полученным по всей территории Республики Молдова.

С целью снижения вероятных погрешностей по ряду пунктов наблюдений выполнено приведение норм годового стока к периодам, обеспечивающим допустимые погрешности расчета. Выполненная система расчетов по приведению данных к многолетнему периоду обеспечило установление допустимых погрешностей как с учетом внутрирядной связи, так и без ее учета. В результате создан банк данных для дальнейших исследований по оценке влияния изменения климата на водные ресурсы страны

3.2. Оценка водных ресурсов в условиях изменения климата

Нам представляется, что исследования по влиянию климата на водные ресурсы, прежде всего, следует дополнить оценкой трансформации теплоэнергетических ресурсов под влиянием естественных и антропогенных особенностей ландшафтов.

Общеизвестно, что солнечная энергия, отраженная с поверхности суши, изменяется в зависимости от альбедо земной поверхности. Таким образом, это оказывает свое влияние на потери влаги в результате испарения, а, следовательно, и изменение водных ресурсов. Установлено, что отражательная способность подстилающей поверхности изменяется в зависимости от ее характера – естественного и измененного в результате хозяйственной деятельности. Такого рода анализ выполнен путем использования данных *CORINE-landcover* на основании которых удалось определить площади, занятые различными типами подстилающей поверхности.

Было выделено 16 естественных и 18 антропогенных типов подстилающей поверхности. Сообразуясь с существующими нормами коэффициента отражающей способности (альбедо) [23, 24] была оценена степень отражения и поглощения солнечной радиации. Обобщенные характеристики суммарной солнечной радиации по репрезентативным регионам, а также вычисленные значения альбедо для естественной и антропогенной поверхностей, позволили установить среднегодовые значения отраженной и поглощенной радиации (табл. 3).

Таблица 3

Результаты определения отраженной и поглощенной радиации в условиях естественных и антропогенных поверхностей ландшафтных регионов

№ региона	Регион	Площадь, km ²	Суммарная радиация, Mj/m ²	Отраженная радиация, Mj/m ²		Поглощенная радиация, Mj/m ²	
				naturală	antropică	naturală	antropică
1	Лесостепные возвышенности и равнины Северной Молдовы	8918	4047	809	931	3238	3116
2	Степные холмы и равнины Северной Молдовы	3721	4054	810	892	3244	3162
3	Кодринская возвышенность	6287	4263	764	895	3499	3368
4	Подольская возвышенность	1840	4131	785	909	3346	3222
5	Равнины и возвышенности Южной Молдовы	5880	4427	876	974	3551	3453
6	Буджакская степная равнина	4458	4196	839	923	3357	3273
7	Нижнеднестровские аллювиальные степные равнины	2566	4312	948	949	3364	3363

Из данных табл. 3 следует, что антропогенные поверхности поглощают меньше радиации, чем естественные, что вызывает пропорциональное уменьшение энергии (на 2,8% или 91,71 МДж/м²), т. е. снижению испарения на – 36,7 мм/год. Это способствует увеличению климатического стока и, соответственно, естественных водных ресурсов.

3.3. Оценка возможных изменений водно-теплового баланса под влиянием глобального потепления

При современном научном уровне исследовании процессов влияния изменений климата на водные ресурсы нами обращается особое внимание на принципы экстраполяции, т.н. базовой нормы на временные интервалы, предусмотренные различными проекциями изменения климата. Проблема заключается в том, что рекомендуемый базовый период с 1980-го по 2010 год приурочен к фазе роста водных ресурсов, т.е. характеризует годовой сток многолетних лет. В этом отношении в современной литературе ставится вопрос о достоверности экстраполяции без учета циклических колебаний стока. Как показали наши исследования предлагаемый ВМО базовый период, в соответствии с характером циклических колебаний водных ресурсов промежуточного стока Днестра, располагается в фазе повышенной водности, со средним многолетним годовым модульным коэффициентом 1,45. На данном этапе исследований еще не разработаны четкие рекомендации по экстраполяции или прогнозам годового стока базового периода, приуроченного к фазе роста или спада годового стока наблюдаемого цикла.

В соответствии с принятым 5-м докладом экспертной комиссии по изменению климата нами были приняты соответствующие проекции и временные интервалы характеристик среднегодовых температур и атмосферных осадков [5, 8, 15].

Расчетные построения по оценке будущих водных ресурсов основаны на применении метода водно-теплового баланса без учета цикличности годового стока через уравнение [3]:

$$\bar{Y}_{pr} = (\bar{X} \mp \Delta\bar{X}) - \bar{E}_m(1 + \varepsilon_2\Delta\bar{t}) \left\{ 1 + \left[\frac{\bar{E}_m(1 + \varepsilon_2\Delta\bar{t})}{(\bar{X} \mp \Delta\bar{X})} \right]^n \right\}^{-\frac{1}{n}}. \quad (14)$$

Здесь $\Delta\bar{X}$ и $\Delta\bar{t}$ изменения среднегодового слоя осадков и среднегодовой температуры воздуха в соответствии с принятыми проекциями для территории Республики Молдова; ε_2 — коэффициент увеличения максимально возможного испарения (в %) на 1⁰ повышения годовой температуры воздуха. По М. Будыко [14], равен 4.0.

Реализация этого уравнения позволяет установить предполагаемое изменение водных ресурсов по терем временным интервалам (табл. 4).

Таблица 4

Итоговые результаты определения ожидаемых значений норм климатического годового стока

Регион	Базовые нормы стока 1981-2010гг.	Ожидаемые значения норм климатического стока, мм, по временным горизонтам и проекциям								
		2021-2050			2051-2080			2081-2100		
		RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 8,5	RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 8,5	RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 8,5
Северный регион	54	38	36	39	40	38	32	41	33	20
Центральный регион	32	34	20	16	26	24	20	28	20	12
Южный регион	23	22	20	19	22	18	16	23	16	8

Полученные итоговые результаты являются дополнением, к предыдущим исследованиям, так как здесь эквивалент максимального испарения \bar{E}_m и региональный базовый климатический сток \bar{Y}_{cl} , установлены по более обоснованным моделям. Наибольшее снижение нормы стока присуще проекции RCP8,5. Если сравнить уровень снижения через базовую норму, то в северном регионе снижение достигнет 33%, а в южном-35 %. Следует заметить, что расчеты измененной нормы по проекции RCP4,5 дают промежуточные результаты, практически, по всем временным горизонтам и регионам.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ЛАНДШАФТОВ В РЕСПУБЛИКЕ МОЛДОВА

4.1. Исследование и оценка водных ресурсов и их изменение под влиянием хозяйственных преобразований ландшафтов

Основываясь на генетической концепции формирования годового стока, рассматривающей процессы формирования подземной и поверхностной составляющей, выполнена систематизация многолетних наблюдений и установлены необходимые статистические параметры.

Временной и пространственный анализ этих материалов выполнен с учетом оценки влияния зональных, интразональных и азональных факторов на названные составляющие годового стока.

Применительно к подземному стоку приводится анализ влияния лесистости водосборов, гидрогеологических особенностей водосборов и структуры гидрографической сети. В этом направлении установлено, что влияние леса на подземный сток приводит к увеличению доли подземного питания рек, которую предлагается оценивать по уравнению:

$$\delta_{pd} = 1 + \gamma \cdot f_{pd}, \quad (15)$$

где f_{pd} — доля водосборной поверхности занятая лесом; γ — коэффициент, учитывающий характер лесного покрова и орографию водосборной площади. Для лиственных и смешанных лесов коэффициент γ получился равный 0,70 [12, 14]. Характерно, что при полной заселенности водосбора, подземный сток возрастает на 1,7 раза, по сравнению с безлесным водосбором.

Роль гидрогеологических особенностей можно приближенно установить, как отношение суммарной мощности дренируемых горизонтов к полной глубине дренирования (эрозионного вреза). Однако эта проблема требует специальных гидрогеологических полевых исследований. В связи с этим оценка гидрогеологического параметра a_{sb} , выполнена путем обратных вычислений по формуле (16), при известных данных по подземном питании и т.н. критической площади водосбора $F_{1(cr)}$ – дающей начало подземному питанию рек. Анализ картографического материала по подземному стоку и данных расчета параметра a_{sb} позволило районировать значения a_{sb} в дополнении к разработкам Лалыкина Н. В итоге рекомендуется принимать a_{sb} равном 0,3 (на юге) до 0,5 на севере страны. [14, 16].

Такого рода расчеты привели в конечном итоге к аппроксимации модели подземного питания через уравнение [10, 12]:

$$\bar{Y}_{sb} = U_0 th \left[a_{sb} \left(\frac{F_k}{F_{1(cr)}} - 1 \right)^{0,25} \right] \delta_{pd}. \quad (16)$$

Основным компонентом расчетных построений является норма инфильтрации в подземные воды (U_0), значение которой с определенным уровнем точности, можно установить через специальный анализ уравнений движения подземных вод с учетом гидрогеологических и гидрографических особенностей, а также интразональных факторов, представленных лесистостью водосборов.

В соответствии с генетической теорией формирования подземного стока [10] **зональная норма инфильтрационных вод** (U_0), участвующих в подземном питании рек может быть установлена путем использования уравнения (15) для каждого водосбора ведущего наблюдения над стоком рек.

Пространственное обобщение U_0 по территории РМ и по ландшафтным регионам выполнено путем построения карт (рис. 11 и 12).

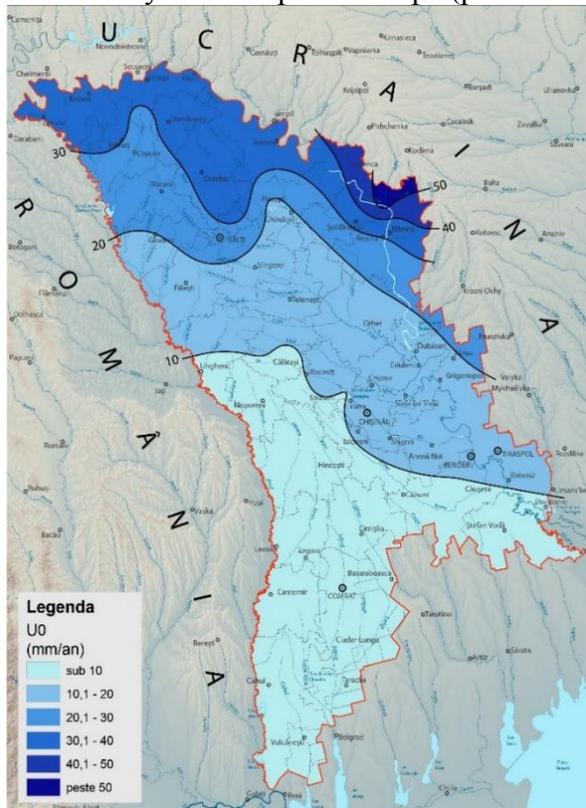


Рис. 11. Картографическая модель норм инфильтрации в подземные воды

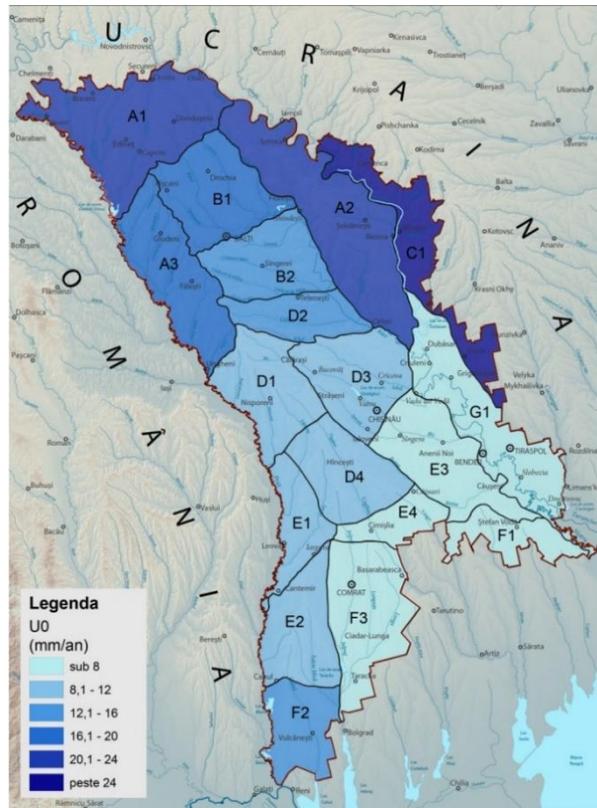


Рис. 12. Картографическая модель норм инфильтрации в подземные воды в границах ландшафтных регионов

4.2. Оценка поверхностной составляющей нормы годового стока

Применительно к определению суммарного годового стока, поверхностная составляющая формируется под влиянием талого и дождевого стока. В современной гидрологии разработаны методы индивидуальной оценки талого и дождевого стока, особенно при исследовании максимальных расходов талых и дождевых вод.

Применительно к оценке годового стока поверхностная составляющая оценивается как сумма генетических компонентов поверхностного стока. В соответствии с балансовыми принципами и разработанными методами, общий поверхностный сток описывается уравнением [19]:

$$\bar{Y}_{(sp)} = \bar{S}_{(sp)} - \sum R_{sp}. \quad (17)$$

Здесь разность $\bar{S}_{(sp)} - \sum R_{sp}$ представляют собой характеристику склонового годового притока в русловую сеть (водообразование) и суммарные потери от дождей и талого стока за период от прекращения дождя и снеготаяния.

Значение $\bar{S}_{(sp)}$ в уравнении (17) для годового интервала времени устанавливается через известную величину суммарного годового поверхностного питания:

$$\bar{S}_{(sp)} = \bar{Y}_{(sp)} + \sum R_{sp}. \quad (18)$$

Из уравнения (18) следует, что оценка водообразования практически сводится к определению неизвестному слою потерь $\sum R_{sp}$.

В таком случае нами предложено определение $\sum R_{sp}$ путем использования суммарных инфильтрационных потерь стока, где U_0 представляет собой **суммарный годовой слой инфильтрации в подземные воды**.

Теоретический анализ процесса инфильтрации, выполненный в работах [9, 12] показал, что поверхностная инфильтрация за время дождя до наступления максимума стока составляет преобладающую долю (примерно 80-90%) в общем балансе суммарного годового слоя инфильтрации U_0 в грунтовые воды. Принимая во внимание это условие можно считать, что значение суммарных потерь $\sum R_{sp}$, в среднем может составлять 15 % от нормы инфильтрации U_0 .

По известному значению U_0 , а также принятой долей суммарных потерь через (18) можно вычисляется суммарный слой водообразования (поверхностного или смешанного) от всех дождей за средний по водности год:

$$\bar{S}_{(sp)} = \bar{Y}_{(sp)} + 0,15U_0. \quad (19)$$

Как показали исследования в Прикарпатье и на юге Украины [12] потери, на спаде от талых и дождевых вод относительно невелики (не превышают 10-15%). В таком случае формулу слоя поверхностного стока можно представить в таком виде:

$$\bar{Y}_{(sp)} = \bar{S}_{(sp)} \left(1 - A_V \phi^{2/3}\right), \quad (20)$$

где A_V – по А.Н. Бефани [11] обобщенный склоновый параметр потерь или почвенно-ботанический параметр; ϕ – геоморфологический фактор водосбора, зависящий от соотношения длины склона l_v и его среднего уклона I_v .

В итоге, после определенных преобразований уравнения (19) и учета заселенности водосбора f_{pd} , расчетное уравнение для определения зонального водообразования и поверхностного стока примет вид:

$$\bar{S}'_{(sp)} = \frac{\bar{Y}_{(sp)}}{(1 - A_V \phi^{2/3})(1 - 0,78f_{pd} + 0,36f_{pd}^2)}. \quad (21)$$

На основании уравнения (21) установлены зональные значения слоя зонального поверхностного стока и водообразования для каждого водосбора, и обобщены путем картографического моделирования для всей территории Республики Молдова и для ее ландшафтных регионов.

Следуя генетическим принципам анализа годового стока общая величина нормы естественных (зональных) водных ресурсов любого речного водосбора определится как сумма подземной составляющей (нормы инфильтрации U_0 , мм/год) и зональной нормы годового поверхностного стока, $\bar{Y}'_{(sp)}$, мм/год. Были установлены числовые значения естественных компонентов и определена общая величина годового зонального стока, картографическая модель которого приводится на рис. 13 и рис. 14.

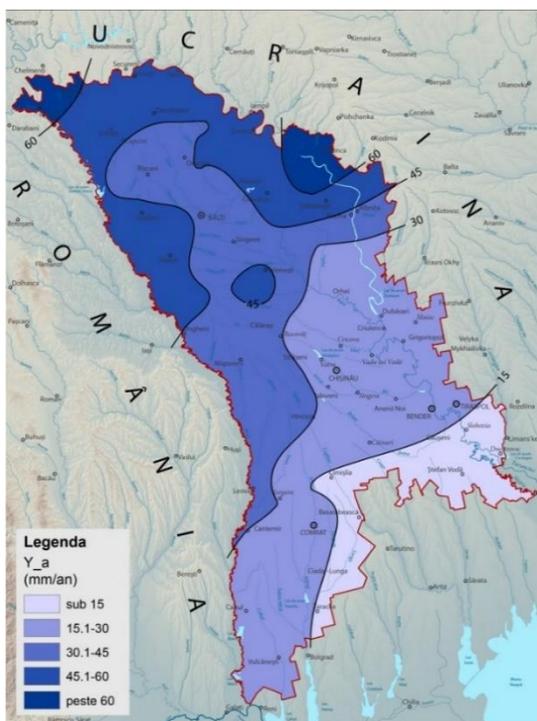


Рис.13. Общий зональный естественный сток

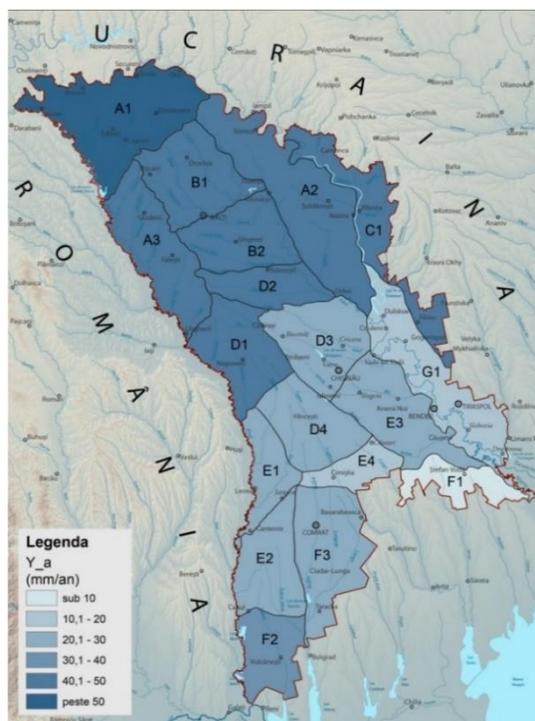


Рис.14. Общий зональный естественный сток по ландшафтным регионам страны

4.3. Современные принципы оценки антропогенного водохозяйственного влияния на естественные водные ресурсы

Среди наиболее важных для ландшафтов Молдовы антропогенных факторов являются: создание прудов и водохранилищ, орошение земель, агротехнические мероприятия, урбанизация речных бассейнов, промышленное и коммунальное водоснабжение. Влияние на изменение естественного стока каждого из факторов и их суммарного воздействия выполнено путем применения водохозяйственного баланса, а также методов факторного и системного анализа (Лалыкин, Гопченко, Лобода). Принципы и методические подходы по оценке перечисленных выше антропогенных факторов излагаются в нормативном документе Республики Молдова по определению расчетных гидрологических характеристик CP D.01.05 – 12 [4].

Принципиальная модель воздействия перечисленных факторов принимается в виде коэффициентов антропогенного воздействия K_{ant} , характеризующего соотношение м-ду искомой нормой измененного антропогенным фактором стока \bar{Y}_{ant} и нормой его зональной характеристики \hat{Y}_{nat} [17]. В итоге измененный антропогенным фактором годовой сток определится по выражению

$$\bar{Y}_{ant} = K_{ant} \cdot \hat{Y}_{Nat}, \quad (22)$$

В диссертации выполнены исследования по изменению естественного годового стока на базе моделей приведенных в работах различных авторов применительно к разным регионам (Водогрецкий, Гопченко, Лобода, Лалыкин, Мельничук). В диссертации приведены методические принципы и расчетные обобщения по оценке изменения водных ресурсов под влиянием хозяйственной деятельности, которые включают систему аналитических расчетов по оценке фактора антропогенного воздействия на водно-ресурсный потенциал ландшафтно-бассейновых природных систем.

Реализация такого рода моделей потребовала систематизации факторов хозяйственной деятельности в границах исследуемых водосборов. Для этого, на основании архивных и литературных данных, аэрокосмических изображений, были обобщены данные по зарегулированности водных ресурсов (суммарные площади водной поверхности

водоемов, суммарных площадей агротехнических мероприятий, а также показателей урбанизации земель).

Данные аргументы перечисленных мероприятий входят в аналитические аргументы оценки коэффициентов антропогенного воздействия [17]:

$$k_{ant} = \exp(-A_L \cdot \bar{Y}_C^{-0,49} \cdot f_{NRN}). \quad (23)$$

Здесь $\bar{Y}_C^{-0,49}$ – норма климатического стока; f_{NRN} – доля суммарной площади водной поверхности водоемов (при нормальном подпорном уровне) от общей водосборной площади; $-A_L$ – региональный параметр, характеризующий степень интенсивности изменения коэффициента антропогенного воздействия. Применительно к территории Республики Молдова его значение уточнялось и рекомендуется принимать, равным 550.

Как показали итоговые результаты снижения нормы естественного стока в ряде ландшафтных регионах они, превышают допустимые нормы (более 5-10 %). Это создает определенное напряжение на водохозяйственный баланс ландшафтов и, в конечном счете, на гидроэкологическую систему ландшафтов Республики Молдовы. В этом отношении в районах, где снижение нормы превышает допустимые значения: Среднепрутская равнина, Степная равнина Ялпуга следует приостановить строительство водоемов, а заиленные малые пруды не реставрировать, а использовать в сельскохозяйственном земледелии.

Вопрос о количественном выражении агротехнического влияния во многом еще остается дискуссионным. В данный комплекс антропогенных мероприятий включается распашка склонов, создание лесных полос, снегозадержание и многие другие мероприятия направлены на сохранение и повышение влаги в почво-грунтах, создание необходимого водно-воздушного режима в почве, повышение противоэрозионной сопротивляемости склоновых земель [13].

В соответствии с предлагаемой методической разработкой [20] наиболее чувствительным к изменению стока считается распашка склоновых земель. Применительно к территории Республики Молдовы такого рода зависимость в табличной форме приводится в монографии [14]. Степень (процент) снижения нормы естественного годового стока под влиянием распашки водосбора (f_{ar}), Для удобства расчетов табличные данные преобразовались в графическую зависимость, аппроксимированную уравнением.

$$k_{at} = \frac{\bar{Y}_{at}}{\bar{Y}_{nat}} = 1 - 0,0225 \cdot f_{ar}^{0,24}. \quad (24):$$

Принимая во внимание, что аргументом формулы (24) являются площадь распаханых склонов, возникла необходимость систематизировать материалы данной характеристики. На основании обобщения картографических материалов и статистических данных [21], сведения о распаханности водосборов приведены к периоду 1965-2007 гг., сопоставлялись с данными по годовому стоку за этот же период,

Результаты расчетов по оценке коэффициента антропогенного влияния агротехнических мероприятий (распашки склонов) показали, что, практически по всем регионам снижение стока не выходит за границы допустимых погрешностей и дополнительный учет этого антропогенного фактора не является обязательным.

Коэффициент, учитывающий влияние урбанизации, в итоге является аргументом удельной площади урбанизированных территорий и описывается уравнением:

$$K_{ur} = 1 + \Psi_{\eta} \cdot f_{ur}. \quad (25)$$

Здесь Ψ_{η} – коэффициент, который зависит от доли непроницаемых площадей на водосборе f_{ur} .

Наиболее ощутимый рост влияния урбанизации земель приурочен к ландшафтному региону Восточнокарпатская возвышенность, в границах которого, располагаются крупные населенные пункты (Кишинев, Стрэшень, Кэлэрашь).

Сообразуясь с моделью формирования общего годового стока, необходимо принять во внимание, что процесс воздействия хозяйственной деятельности на речной сток

проявляется в комплексе изучаемых факторов. В этой связи предлагается использовать комплексную оценку коэффициента антропогенного воздействия [17]:

$$k_{tot} = \sum_{j=1}^m k_j - (m - 1) \quad (26)$$

Здесь k_j – коэффициент антропогенного влияния на норму естественного годового стока J -го фактора; m – общее число факторов.

На базе уравнения (26) выполнена оценка влияния комплекса антропогенных факторов применительно к отдельным водосборам и ландшафтным регионам (рис. 15).

Благодаря значительной диверсификации природных факторов и хозяйственной деятельности, получена контрастная картина изменчивости коэффициента комплексного влияния антропогенных факторов. Из 18 ландшафтных регионов, в 12 из них коэффициент антропогенного влияния находится под 0,9. Это означает что в этих случаях уменьшение естественного годового стока превышает предельно допустимые значения ошибок в 10%. Данный фактор, в настоящее время уменьшает водные ресурсы более чем на 30%.

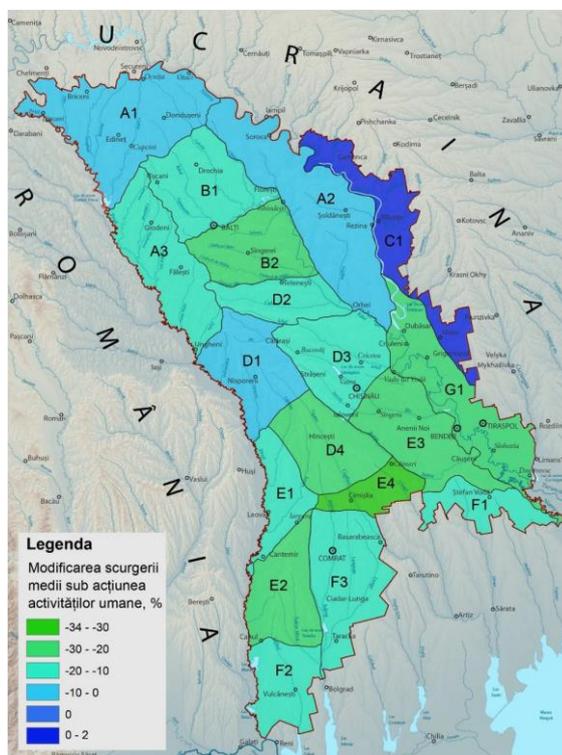


Рис. 15. Изменение естественного годового стока под влиянием комплекса антропогенных факторов

Выводы

Предложенная в диссертации система научных исследований впервые раскрывает сущность взаимодействия климатических и гидрологических процессов, при формировании естественных и антропогенно измененных водных ресурсов Республики Молдова. Реализация поставленных в диссертации задач позволяет сделать следующие выводы:

1. Теоретическая концепция о генетическом подходе при расчетах нормы годового стока реализованная автором на территории РМ подтверждают научную и практическую значимость такого направления в региональной гидрологии.
2. Предложенные обобщения и расчетные построения, направленные на совместное решение характеристик теплового баланса суши и генезиса формирования водных ресурсов РМ позволили реализовать комплекс практических задач по оценке компонентов теплового и водного балансов.
3. Предлагается обоснование совместного применения метода теплового и водного баланса, позволившего оценить компонент тепловых ресурсов климата \bar{E}_m , а также

- суммарного испарения с поверхности суши E_{Us} и, в итоге дать оценку климатического стока \bar{Y}_{cl} , не искаженного антропогенными факторами.
4. Развивая концепцию исследования годового стока через сумму его генетических компонентов (Бефани А., Мельничук О.) [12], предлагаются новые принципы оценки взаимосвязи норм поверхностной и подземной составляющих годового стока.
 5. Развивая принципы статистического анализа, в работе впервые предлагается оценка суммарных погрешностей компонентов теплового и водного балансов, раскрывающие роль и влияние нестационарности используемой информации, и закономерностей циклических колебаний названных компонентов.
 6. Апробация методических принципов расчета изменения характеристик годового стока, в зависимости от масштабов хозяйственного освоения ландшафтно-бассейновых систем [1, 2] и последующие расчеты, выявили определенное истощение водных ресурсов под совместным влиянием регулирования стока, урбанизации и агротехнических мероприятий до 15% по стране. Наибольшая антропогенная нагрузка вызвана строительством прудов и водохранилищ. Этот фактор, в некоторых ландшафтных регионах, в настоящее время, истощает водные ресурсы более чем на 30 %.
 7. В дополнении к хозяйственной деятельности, оказывающей свое отрицательное влияние на водные ресурсы, особенности потепления климата, для принятых проекций и временных горизонтов обуславливает снижение водных ресурсов к концу 21 века на 37-38% по сравнению с принятой базовой характеристикой.
 8. Разработанные в диссертации картографические модели с применением ГИС технологий, могут служить для повседневной работы при водохозяйственном проектировании и управлении водными ресурсами.
 9. Выполненные исследования могут являться основой для разработки мер по адаптации к изменению климата в области водных ресурсов.

Рекомендации

1. При разработке программ защиты окружающей среды рекомендуется использовать обобщенные характеристики компонентов водно-теплового баланса, а также комплекс картографических моделей при условии недостаточности и отсутствия данных наблюдений.
2. Обобщенные результаты оценки норм поверхностной и подземной составляющих годового стока, установленные на основе генетической концепции их формирования, а также выводы по влиянию антропогенных факторов на водные ресурсы, рекомендуются использовать в качестве дополнения к нормативному документу CP D.01.05-2012.
3. Для обоснования стратегии управления водными ресурсами Р.Молдова и в сочетании с влиянием глобального потепления рекомендуются предельные (допустимые) уровни хозяйственной деятельности, не вызывающие деградацию (истощение) водных ресурсов и способствующие сохранению окружающей среды.

Литература

1. Bejenaru Gh. Calculul precipitațiilor generate de vii tură la determinare de debitelor maxime de apă peră urile mici în Republica Moldova, În: Analale lucrărilor UST, Chișinău, 2004. 10 p.
2. Bejenaru Gh. Hidrologie generală. Curs de lectii. Vol. II. Chișinău: UST, 2011, —217 p.
3. Bejenaru Gh. Scurgerea medie anuală contemporană și variațiile ei în condițiile schimbărilor climatice. 2012, 21 p. http://meteo.md/metodf_karti.htm
4. Determinarea caracteristicilor hidrologice pentru condițiile Republicii Moldova. Normativ în construcții CP D.01.05-2012, ediție oficială. Agenția Construcții și Dezvoltare teritoriului Republicii Moldova. Chișinău, 2013.- 155 p.

5. Nedealcov M. Schimbarea climei în Republica Moldova in perioada observațiilor instrumentale. Chișinău: Akademos Nr. 4(74), 2012. p. 88-94.
6. Алексеев Г. А. Методы оценки случайных погрешностей гидрометеорологической информации. Ленинград: Гидрометеиздат, 1975. 96 с.
7. Алексеев Г. А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. Ленинград, Гидрометеиздат, 1971. 63 с.
8. Балабух В. А. Региональное проявление глобального изменения климата в бассейне р. Днестр. Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія. Київ: 2012. Т.2(27). с. 117-129.
9. Бефани А. Н. Основные положения теории стока подземных вод. Сборник работ по гидрологии. № 1. Ленинград, Гидрометеиздат, 1959. с. 18-26.
10. Бефани А. Н. Вопросы теории стока подземных вод и питание рек. Рукопись. Библиотека ОГМИ, 1960. 119 с.
11. Бефани А. Н. Вопросы региональной гидрологии. Паводочный сток. Киев: Укрвузполиграф, 1989, 132 с.
12. Бефани А. Н., Мельничук О. Н. Расчет нормы стока временных водотоков и горных рек Украинских Карпат. Тр. УкрНИГМИ. Ленинград: Гидрометеиздат, 1967. Вып. 69, с. 105-137.
13. Водогрецкий В. Е. Влияние агролесомелиораций на годовой сток. Методика исследований и расчеты. Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. 184 с.
14. Казак В. Я., Лалыкин Н. В. Гидрологические характеристики малых рек Молдовы и их антропогенные изменения. Кишинев: DINAMO, 2005. 208 с.
15. Коробов Р. И др. Уязвимость к изменению климата: Молдавская часть бассейна Днестра. Междунар. ассоц. хранителей реки Есо-TIRAS. Кишинев: ElanPoligraf, 2014. 336 с.
16. Лалыкин Н. В. Расчет нормы годового стока малых рек Молдавии. Тр. УкрНИИГоскомгидромета. Вып. 1998. стр. 74-82.
17. Лобода Н. С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния. Одесса: Экология, 2005. 208 с.
18. Мезенцев В. С. Расчеты водного баланса. Омск: СХИ, 1976. 75 с.
19. Мельничук О. и др. Оценка поверхностной составляющей нормы годового стока ландшафтных регионов Молдовы. În: Buletinul Academiei de Științe a Moldovei, Științele vieții. Chișinău: Tipografia AȘM, 2016. p. 172-183.
20. Методические рекомендации по учету влияния хозяйственной деятельности на сток малых рек при гидрологических расчетах для водохозяйственного проектирования. Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. 187 с.
21. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Том 6, вып. 1. Западная Украина и Молдавия. Ленинград: Гидрометеиздат, 1965-1975. 268 с.
22. Рождественский А. В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. 424 с.
23. Справочник по климату СССР, вып. 10, ч. 1. Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. 124 с.
24. Справочник по климату СССР, вып. 11, ч. 1. Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. 44 с.

ADNOTARE

Gherman Bejenaru „Evaluarea potențialului hidrologic a Republicii Moldova în condițiile modificărilor de mediu”. Teză de doctor în științe geonomice, Chișinău 2017.

Teza constă din introducere, 4 capitole și concluzii generale, bibliografie cu 135 titluri, 118 pagini de text de bază, 41 tabele, 59 figuri și 36 anexe.

Cuvinte-cheie: bilanț hidrotermic al uscatului, componentele genetice ale scurgerii anuale, ciclicitate, erori de fază, modificări antropice a resurselor de apă.

Domeniul de studiu – 166.02 – protecția mediului și folosirea rațională a resurselor naturale

Scopul lucrării: evaluarea resurselor de apă de suprafață și subterane în baza modelelor stohastico-genetice de formare a componentelor bilanțului hidrotermic al uscatului în condițiile modificărilor antropice și încălzirii globale a climei.

Obiectivele cercetării: elaborarea și aplicarea principiilor genetice în evaluarea resurselor de apă a Republicii Moldova în baza generalizării datelor monitoringului hidrometeorologic multianual a țării și ariilor aferente; analiza și evaluarea legităților spațial-temporare a resurselor hidrotermice ale climatului; aprecierea normei climatice și zonale anuale a scurgerii sub influența componentelor naturale și antropice a peisajelor țării, în condițiile încălzirii globale a climei.

Metodologia cercetării științifice. În lucrare este aplicată metoda genetică în studiul interacțiunii alimentării de suprafață și subterană a râurilor prin aplicarea evaluării diferențiate a influenței factorilor zonali, azonali și intrazonali ai scurgerii, cu folosirea metodelor statistice, analizei factologice și sistemice, precum și tehnologiilor SIG.

Noutatea și originalitatea științifică: pentru prima dată se propune aplicarea concepției genetice în studierea normelor componentelor de suprafață și subterană a scurgerii anuale pentru regiunile peisagistice, bazinele de recepție și altor arii din țară. Sunt elaborate principiile metodologice de apreciere a schimbărilor în bilanțul hidrotermic al regiunilor peisagistice din Republica Moldova în condițiile modificărilor antropice și încălzirii globale a climei.

Problema științifică importantă soluționată constă în elaborarea principiilor noi de apreciere a resurselor de apă naturale și modificate antropic a țării în condițiile posibilelor schimbări climatice.

Semnificația teoretică. Pentru prima dată în baza teoriei genetice de formare a scurgerii anuale, elaborată de profesorul A. N. Befani, sunt realizate principiile cercetării componentelor bilanțului hidrotermic pe teritoriul Republicii Moldova.

Valoarea aplicativă a lucrării. Rezultatele obținute adițional la Normativele în Construcții CP D.01.05-2012, sporesc siguranța și eficiența determinării caracteristicilor hidrologice principale a scurgerii anuale la elaborarea proiectelor în construcțiile hidrotehnice, protecția mediului și utilizarea rațională a resurselor de apă din Republica Moldova.

Implementarea rezultatelor științifice. Rezultatele științifice sunt implementate în proiectul internațional – Schimbările climatice și securitatea în Europa de Est, Asia centrală și Caucazul de Sud, în programele cursurilor universitare la disciplinele – Hidrologie, Modelarea în hidrologie și climatologie, Aplicarea SIG în protecția mediului.

ABSTRACT

Gherman Bejenaru “Assessment of the hydrological potential of the Republic of Moldova in conditions of environmental modifications”. Thesis for the PhD Degree of Geonomic Sciences, Chisinau 2017.

Thesis consists of introduction, 4 chapters, conclusions, reference list contains 135 names 118 text pages, 41 tables, 59 pictures and 36 annexes.

Key words: water and heat balance of land, genetic components of annual runoff, periodicity period, phase error, anthropogenic transformation of water resources.

Research area – 166.02 – environment protection and sustainable use of natural resources.

Overall objective of the work: evaluation of surface and ground waters based in the genetically and models for shaping the components of water and heat balance of land in anthropogenic transformation of landscapes and global warming.

Objectives of the research: development and application of the genetic principles of natural water resources evaluation of the country based on multiannual data analysis of hydrological monitoring in the Republic of Moldova and the region; on analysis and assessment of space-time regularities of climate thermal and energy resources; assessment of climate and zone norms for annual discharge that depend on natural and anthropogenic component of the country's landscape in conditions of the climate global warming.

Methodology of the scientific assessment. The genetic assessment method was used of the river nutrition taking into consideration of surface and underground components by application of the differential calculation of influence of zonal, azonal and intrazonal runoff factors using statistical approaches, factor and system analysis and modern GIS technologies.

Scientific innovation and originality of the work: for the first time the use of genetic conception for analysis of norms of surface and underground waters that influence on the annual runoff in the landscape catchment area is presented. Methodological principles of investigation of change in the water and heat balance of the landscape regions in the conditions of the anthropogenic transformation and global warming have been developed in the current work.

The resolved important scientific problem is in development of new principles of evaluation of natural and anthropogenic changed water resources under the possible climate change.

The theoretical importance. For the first time based on **genetic theory of the annual runoff formation**, developed by professor A.N. Befani research of the components of heat and water balance on the territory of the Republic of Moldova are realized.

Applied value of the work. Achieved results in attrition to the new Regulations in Constructions D.01.05-2012 raise the reliability and effectiveness in the identification of the main hydrological features of annual runoff during the elaboration of the water management projects, environmental projects that foresee the sustainable use of natural resources.

Application of the scientific results. Scientific results obtained in the process of this work have been introduced into the international project “Climate Change and Security in the Eastern Europe, Central Asia and South Caucasus”, on the national level into the areas of work of the Institute of Ecology and Geography, as well as into university curricula on following disciplines “Hydrology”, “Modelling in hydrology and climatology”, “Application of GIS in environment”.

АННОТАЦИЯ

Герман Беженару «Оценка гидрологического потенциала Республики Молдова в условиях преобразования окружающей среды». Диссертация на соискание ученой степени доктора геонимических наук, Кишинев 2017.

Диссертация состоит из вступления, 4 глав и общего заключения, библиографии из 135 названий, 118 страниц основного текста, 41 таблиц, 59 рисунков и 36 приложений.

Ключевые слова: водно-тепловой баланс суши, генетические компоненты годового стока, цикличность, фазовые погрешности, антропогенные преобразования водных ресурсов.

Область исследований – 166.02 – охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов.

Цель работы: оценка ресурсов поверхностных и подземных вод на базе генетико-стохастических моделей формирования компонентов водно-теплового баланса суши в условиях антропогенного преобразования ландшафтов и глобального потепления.

Задачи исследования: разработка и применение генетических принципов оценки естественных водных ресурсов страны на основе обобщения многолетних данных гидрометеорологического мониторинга Республики Молдова и прилегающих территорий; анализ и оценка пространственно-временных закономерностей термозенергетических ресурсов климата; оценка климатической и зональной нормы годового стока под влиянием природных и антропогенных компонентов ландшафтов страны условиях глобального потепления климата.

Методология научных исследований. В работе применен генетический метод изучения взаимодействия поверхностного и подземного питания рек путем дифференцированного учета влияния зональных, азональных и интразональных факторов стока с применением статистических методов, факторного и системного анализа, а также современных ГИС-технологий.

Научная новизна и оригинальность в работе: впервые предлагается использование генетической концепции исследования норм поверхностной и подземной составляющих годового стока применительно к ландшафтно-водосборных и других регионов страны. Разработаны методические принципы оценки изменения водно-теплового баланса ландшафтных регионов страны в условиях антропогенных преобразований и глобального потепления.

Разрешенная важная научная проблема состоит в разработке новых принципов оценки естественных и антропогенно-измененных водных ресурсов страны в условиях вероятных изменений климата.

Теоретическая значимость. Впервые на основе генетической теории формирования годового стока, разработанной проф. А. Н. Бефани, реализуются принципы исследования компонентов водно-теплового баланса на территории Республики Молдова.

Прикладная ценность работы. Полученные результаты в дополнение к новым Строительным Нормам СР D.01.05-2012 повышают надежность и эффективность определения основных гидрологических характеристик годового стока при разработке проектов водохозяйственного строительства, охраны окружающей среды и рационального использования водных ресурсов Молдовы.

Внедрение научных результатов. Научные результаты внедрены в международный проект – Изменение климата и безопасность в восточной Европе, Центральной Азии и на Южном Кавказе, в программы по госбюджетной тематике Института Экологии и географии, а также в учебные планы по университетским дисциплинам – «Гидрология», «Моделирование в гидрологии и климатологии», «Использование ГИС в охране окружающей среды».

ГЕРМАН БЕЖЕНАРУ

**ОЦЕНКА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА
РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**166.02 ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И РАЦИОНАЛЬНОЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ**

Автореферат докторской диссертации

Aprobat spre tipar: 08.06.2017
Hârtie ofset. Tipar ofset.
Coli de tipar.: 1,5

Formatul hârtiei 60x84 1/16
Tiraj 50 ex.
Comanda nr. 287

"Imprint Star" SRL, mun. Chişinău, bd/ Renaşterii Naţionale 14, of. 4