

Министерство образования и науки Российской Федерации

Российский государственный гидрометеорологический университет

УДК 556.167 (476)

**Грядунова Оксана Ивановна**

**ФОРМИРОВАНИЕ МИНИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК БЕЛАРУСИ  
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Специальность 25.00.27. – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата географических наук

Санкт-Петербург

2009

Работа выполнена в Брестском государственном университете  
имени А.С. Пушкина

Научный руководитель

доктор географических наук,  
профессор **А.А. Волчек**

Официальные оппоненты

доктор географических наук,  
профессор **Н.В. Мякишева**

кандидат географических наук,  
доцент **М.Л. Марков**

Оппонирующая организация

**Российский государственный  
педагогический университет  
имени А.И. Герцена**

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2009 г. в \_\_\_\_ на заседании  
специализированного совета (Д.212.197.02) Российского государственного гид-  
рометеорологического университета по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург,  
Малоохтинский проспект, 98

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственно-  
го гидрометеорологического университета

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2009 г.

Заслуженный работник высшей школы РФ,  
ученый секретарь специализированного совета  
кандидат географических наук \_\_\_\_\_

**В.Н. Воробьев**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В последние годы наблюдаются заметные изменения водности рек, которые связывают с глобальным потеплением и увеличением антропогенной нагрузки. Одной из наиболее важных гидрологических величин является минимальный сток и его пространственно-временные колебания. Минимальный сток определяет развитие и функционирование водных и околоводных экосистем, имеет существенное значение при решении водохозяйственных задач (объемы водопотребления, сброса сточных вод). Научное и практическое значение имеет выявление закономерностей пространственно-временных колебаний минимального стока в современных условиях, адаптация существующих и разработка новых методик определения минимального стока при отсутствии данных гидрометрических наблюдений, особую значимость приобретают прогнозные оценки изменения минимального стока.

**Цели и задачи исследования.** Целью диссертационного исследования является установление закономерностей формирования минимального стока рек Беларуси в современных условиях.

Программой исследования предусматривалось решение следующих задач:

- ***восстановить значения*** минимальных расходов воды с использованием корреляционного анализа, ***дать оценку однородности*** временных рядов;
- ***выполнить анализ*** стокоформирующих факторов, ***дать их оценку и определить степень влияния*** на минимальный сток, ***выделить однотипные районы*** по синхронности колебаний и однородности формирования летне-осеннего и зимнего минимального стока рек Беларуси;
- ***дать оценку*** пространственно-временных колебаний летне-осеннего и зимнего минимального стока рек Беларуси в современных условиях;
- ***разработать методику*** определения минимального стока малых рек Беларуси при отсутствии данных гидрометрических наблюдений;
- ***дать прогнозную оценку*** изменения минимального стока при различных сценариях развития климата.

**Объект и предмет исследований.** Объектом исследований является летне-осенний и зимний минимальный стоки рек Беларуси, предметом – пространственно-временные колебания.

**Исходные данные и методика исследований.** Для решения поставленных задач использовались следующие данные:

- 30-дневный летне-осенний и зимний минимальный расход воды по 164 створам за период инструментальных наблюдений;
- даты наименьшего расхода воды за период открытого русла и зимнего сезона за период инструментальных наблюдений;
- среднемесячные атмосферные осадки;

- среднегодовые атмосферные осадки;
- среднемесячные температуры воздуха;
- морфометрические характеристики бассейнов рек (площадь водосбора, средняя высота водосбора, эрозионный врез реки, озерность, заболоченность, лесистость).

Использовались опубликованные литературные, картографические, статистические и фондовые материалы. Методологической основой настоящего исследования являются научные положения о стохастической природе изменчивости гидрологических рядов, что обусловило использование современных статистических методов анализа временных рядов (метод аналогии, корреляционный, регрессионный, спектрально-временной анализ, Марковские цепи, метод авторегрессии, скользящего среднего и др.). Использован сравнительно-географический анализ, а применение картографического метода позволило отобразить пространственные изменения основных характеристик минимального стока рек Беларуси.

**Научная обоснованность и достоверность.** Научная обоснованность положений и выводов подтверждается использованием большого объема данных наблюдений на гидрологических постах Департамента гидрометеорологии Минприроды Республики Беларусь и использованием современных методов анализа временных рядов, обобщения.

**Научная новизна и практическая значимость полученных результатов.** Научная новизна работы состоит в выявлении пространственно-временных закономерностей колебаний минимальных расходов воды рек Беларуси и разработке метода расчета минимального стока малых рек Беларуси при отсутствии данных гидрометрических наблюдений.

Выполненные исследования содержат следующие новые результаты:

- ***выделены однотипные районы*** по синхронности колебаний однородности формирования летне-осеннего и зимнего минимального стока;
- ***дана оценка*** пространственно-временных колебаний летне-осеннего и зимнего минимального стока рек Беларуси в современных условиях;
- ***разработана методика расчета*** минимального стока малых рек Беларуси при отсутствии данных гидрометрических наблюдений;
- ***дана прогнозная оценка*** изменения минимального стока при различных сценариях развития климата будущего.

Полученные результаты имеют практическое применение для рационального использования природных ресурсов и могут служить научной основой при выполнении проектов в области гидрологических и экологических исследований. Значения расходов минимального стока различной обеспеченности могут

быть использованы при проектировании гидротехнических сооружений и мелиоративных систем.

Работа выполнялась в рамках НИР МПФИ «Природно-хозяйственные регионы» (2001–2005 гг. № госрегистрации 20012450); «Геоэкологическая и социально-экономическая оценка качества окружающей среды административных территориальных единиц Брестской области» (№ госрегистрации 2001513); ГПОФИ «Природные комплексы» задание 19 «Оценка состояния, прогноз изменения водного режима, степени деградации почв осушенных земель, научное обоснование устойчивого развития экосистем Белорусского Полесья» (2001–2005 гг. № госрегистрации 20031263); ГПОФИ «Природопользование» задание 23 «Оценка природно-ресурсного и демографического потенциала, разработка прогноза развития техногенно-преобразованных территорий Белорусского Полесья» (2006–2010 гг. № госрегистрации 20064813); БРФФИ «Экологический сток рек Белорусского Полесья: состояние, трансформации, прогноз» (2008–2009 гг. № госрегистрации 20081465). Результаты работы внедрены в учебный процесс по специальности «География» – 1-31 02 0102.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. ***Пространственно-временные закономерности*** формирования летне-осеннего и зимнего минимального стока рек Беларуси в современных условиях. ***Районирование территории Беларуси*** по синхронности колебаний и однородности формирования минимального стока.

2. ***Результаты оценки изменений*** летне-осеннего и зимнего минимального стока рек Беларуси в современных природно-антропогенных условиях, ***оценки изменения наступления дат*** наиболее маловодного периода.

3. ***Методика расчета*** минимального стока малых рек Беларуси при отсутствии данных гидрометрических наблюдений.

4. ***Прогнозная оценка изменения*** минимального стока рек Беларуси при различных сценариях развития климата будущего.

**Апробация результатов диссертации.** Результаты исследований, включенные в диссертацию, докладывались и получили одобрение на конференциях: Международная научная конференция «Научные и прикладные аспекты оценки изменений климата и использование климатических ресурсов» (Беларусь, Минск, 2000); Международная научная конференция «Теоретические и прикладные проблемы геоэкологии» (Беларусь, Минск, 2001, 2005); I–IV Международная научная конференция «Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития» (Беларусь, Брест, 2002, 2004, 2006, 2008); I, III Международный экологический симпозиум «Экологические проблемы природно-технических комплексов» (Беларусь, Полоцк, 2004, 2006); Молодежная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и преподавателей «Геогра-

фия в меняющемся мире: вклад молодых ученых» (Россия, Санкт-Петербург, 2005). По теме диссертации опубликовано 17 работ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация включает перечень условных обозначений, введение, общую характеристику работы, основную часть, состоящую из четырех глав, заключение, библиографический список, содержащий 232 источника, 5 приложений. Работа изложена на 191 страницах, из которых 29 страниц занимает 32 рисунка, 15 страниц – 24 таблицы, 47 страниц – 5 приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** излагается актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, отражена новизна и практическая значимость диссертационной работы.

**В первой главе «Методика оценки пространственно-временных колебаний минимального стока рек»** дается анализ результатов исследований минимального стока рек Беларуси, методов оценки, моделирования, прогнозирования и пространственного обобщения информации о минимальном стоке рек. Основные теоретические положения о формировании минимального стока изложены в работах Н.Д. Антонова, А.М. Владимирова, Д.А. Данович, Д.И. Кочерина, А.Г. Курдова, А.М. Норватова, Л.А. Сибирцевой. Наиболее подробно территория Беларуси изучена в работах П.Д. Гатило, В.В. Дрозда, К.А. Ключевой, Н.М. Кургановой, Е.Е. Петлицкого, И.М. Филипповича, Б.В. Фашевского и др.

Рассматриваются закономерности формирования минимальных расходов рек Беларуси за период инструментальных наблюдений.

Временная структура гидрологических рядов минимального стока исследовалась спектральным, спектрально-временным, пространственно-корреляционным анализом. Описание пространственно-временных колебаний минимального стока рек осуществлялось с помощью сопоставления коэффициентов стока за различные периоды.

**Во второй главе «Анализ исходной гидрологической информации»** рассмотрены основные источники информации и проведен первичный анализ исходных данных.

В настоящей работе использованы данные наблюдений за летне-осенним и зимним минимальным стоком рек по 164 створам за период с 1881 по 2000 год. В связи с пропусками в рядах наблюдений фактическая продолжительность временных рядов составляет от 12 до 120 лет (данные предоставлены Департаментом гидрометеорологии Минприроды Республики Беларусь)

Оценка репрезентативности временных рядов минимального стока производилась по относительным средним квадратическим ошибкам статистических

параметров и разностным интегральным кривым. Продолжительность репрезентативного периода минимального стока составляет 50 лет. В отдельных случаях можно использовать более короткие ряды, но при этом необходимо учитывать цикличность и сопоставлять с рекой-аналогом.

Исходные данные наблюдений были приведены к многолетнему периоду с 1881 по 2000 гг. Норма стока ( $\bar{Q}$ ), коэффициенты вариации ( $C_v$ ) и асимметрии ( $C_s$ ) для 75% продленных рядов летне-осеннего и зимнего минимального стока находятся в пределах ошибки.

Анализ однородности временных рядов показал, что однородными являются 99 рядов летне-осеннего и 113 зимнего минимального стока. Для оценки однородности выборочных средних использовался  $t$ -критерий Стьюдента, а для дисперсий  $F$ -критерий Фишера. Частично ненарушенный режим рек (гипотеза однородности принимается по критерию Стьюдента, отвергается по критерию Фишера, или, наоборот) наблюдается на 21% летне-осеннего и 31% зимнего минимального стока исследуемых рядов, что можно объяснить естественными колебаниями водности или сопоставимыми с ним незначительными антропогенными воздействиями на водный режим рек. Из всех проанализированных рядов наименьшим нарушением однородности выделяются бассейны рр. Западная Двина и Неман. Большая часть неоднородных рядов приурочена к бассейнам рр. Днепр, Припять и Западный Буг, что является следствием более существенных воздействий на водосборы рек, в частности мелиоративные мероприятия.

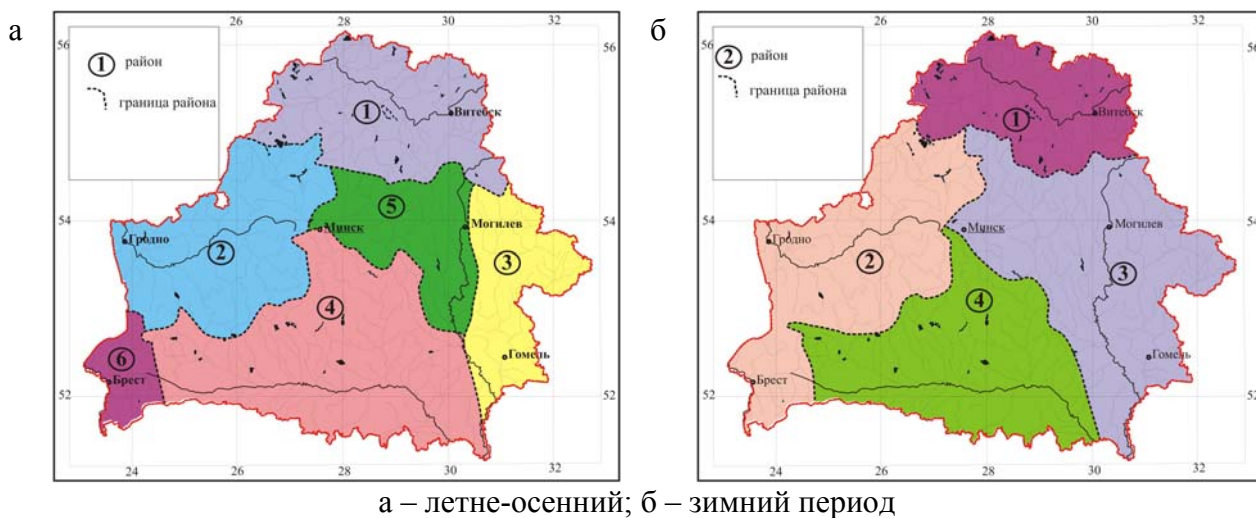
**В третьей главе «Пространственно-временные колебания минимального стока рек Беларуси»** дается оценка стокоформирующих факторов, пространственно-временных колебаний минимального стока рек под влиянием природно-антропогенных факторов.

Обобщение физико-географических условий позволило сделать вывод о существенном влиянии на формирование минимального стока рек широты места, средней высоты водосбора, эрозионного вреза русла реки, годового количества осадков, заболоченности и лесистости водосбора.

Исследование цикличности минимального стока рек Беларуси осуществлялось с помощью спектрально-временного анализа. Установлены циклы колебаний минимального стока рек: 3, 4, 5 и 33-летние как для *летне-осеннего*, так и *зимнего минимального стока*. 33-летний цикл колебаний минимального стока рек выделяется на реках северной части республики с 1940 г. На юге республики отмечается 17-летний цикл и короткопериодичные (3, 5, 7-летние) циклы.

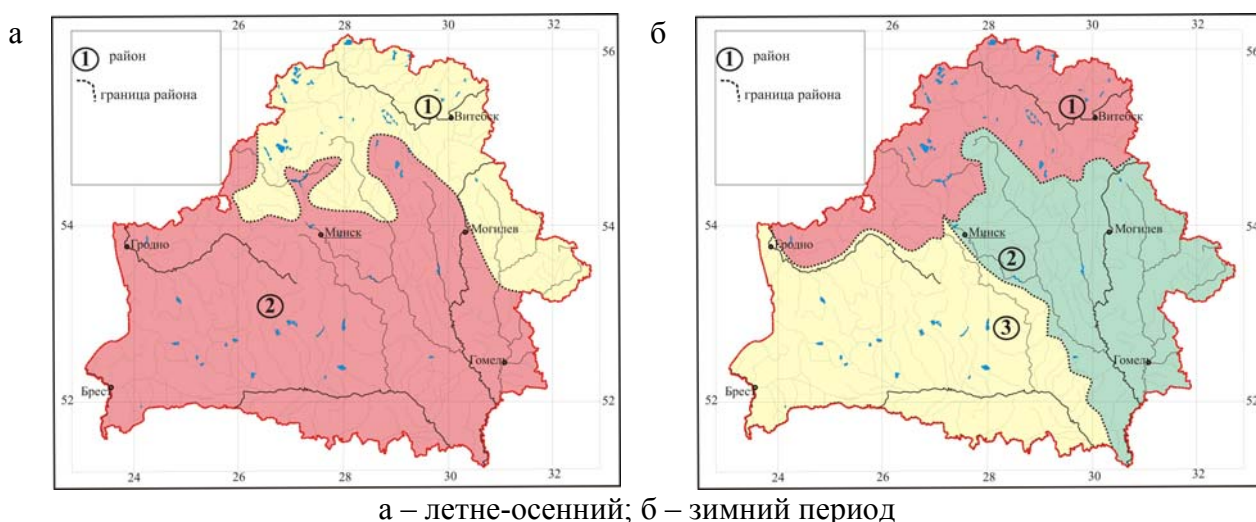
Анализ факторов и условий, влияющих на формирование минимального стока рек Беларуси, выявление циклов позволил провести районирования территории республики Беларусь по синхронности колебаний и однородности

формирования минимального стока. По синхронности колебаний минимального стока рек на территории Беларуси выделено для *летне-осеннего минимального стока* 6 районов, для *зимнего* – 4 района (рисунок 1). Внутрирайонные значения коэффициентов корреляции (0,54–0,63) указывают на синхронность колебаний минимального стока в пределах выделенных районов. Корреляционные связи между районами убывают с запада на восток, вплоть до появления асинхронности в колебаниях минимального стока.



**Рисунок 1 – Районирование территории Беларуси по синхронности колебаний минимального стока**

По однородности условий формирования минимального стока на территории Беларуси в *летне-осеннюю межень* выделено 2 района, а в *зимнюю* – 3 района (рисунок 2).



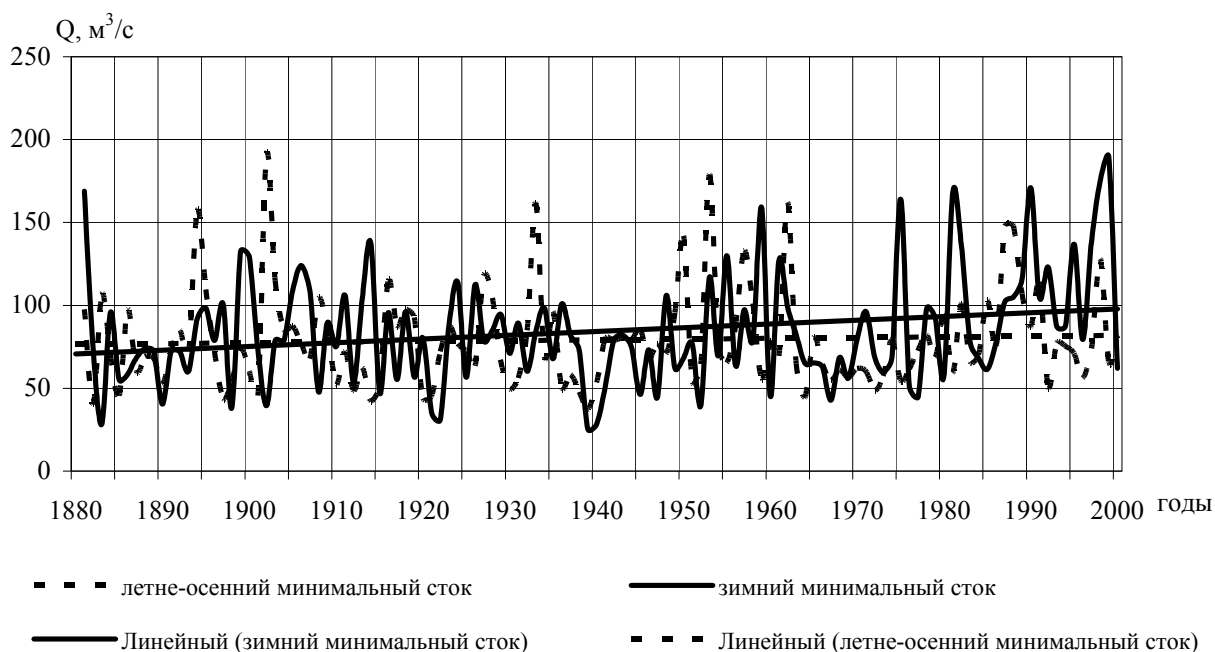
**Рисунок 2 – Районирование территории Беларуси по однородности формирования минимального стока**

Первый район *летне-осенней межени* характеризуется наличием значимого пика на 4 и 8 году, во втором районе пик приходится на 5 год. В первом районе *зимней межени* отмечены значимые гармоники на 2 и 4 году, для второго –



на 4 и 6 году, для третьего – значимый пик наблюдается на 2 году. Модуль минимального стока уменьшается от первого района ко второму для летне-осенней и от первого к третьему для зимней межени. Коэффициент вариации имеет обратную тенденцию, т.е. увеличивается с севера на юг.

Анализ построенных трендов позволяет констатировать факт, что для большинства исследуемых рек отмечается стабильная тенденция увеличения летне-осенних и зимних минимальных расходов воды, при чем на большей части рек градиент изменения стока в зимний период больше чем в летне-осенний, например р. Западная Двина – г. Полоцк (рисунок 3).



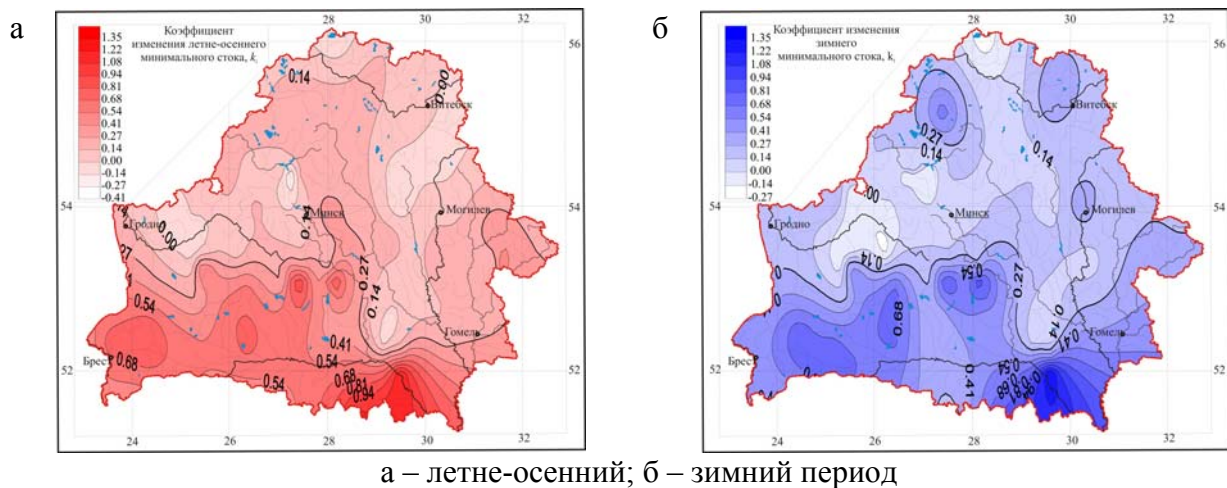
**Рисунок 3 – Динамика многолетних минимальных расходов воды р. Западная Двина – г. Полоцк**

Для выявления пространственной структуры изменения стока имеющиеся ряды наблюдений были разбиты на два периода: с начала инструментальных наблюдений по 1965 год (начало крупномасштабных мелиораций) и с 1966 года по 2000 год. При этом выбраковывались ряды с периодом наблюдений менее 15 лет хотя бы за один из периодов. После выбраковки определены коэффициенты изменения стока как:

$$k_i = \frac{Q_{cp2} - Q_{cp1}}{Q_o}, \quad (1)$$

где  $Q_{cp1}$ ,  $Q_{cp2}$ ,  $Q_o$  – средние значения минимального стока за период 1881–1965 гг., 1966–2000 гг. и за весь период наблюдений соответственно.

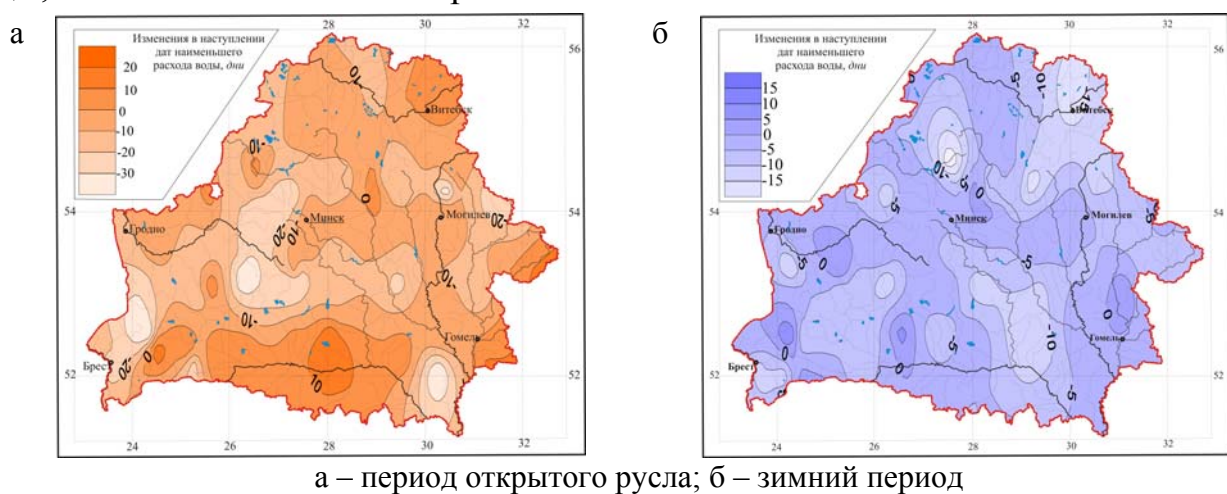
Значения коэффициентов изменения стока были картографированы (рисунок 4) с использованием координат центров водосборов исследуемых рек.



**Рисунок 4 – Пространственная структура изменения минимального стока**

Анализ коэффициентов изменения стока позволил выявить следующее: *летне-осенний минимальный сток* увеличился на 85% исследуемых рек, из них на 49% рек сток значимо ( $k_i \geq 0,27$ ), а на 18% изучаемых объектов (рр. Ясельда, Оресса, Словечна, Чертень, Вить, Жабинка, Копаювка) увеличился более чем в 2 раза. *Зимний минимальный сток* увеличился на 91% исследуемых рек, из них на 53% рек увеличился значимо ( $k_i \geq 0,27$ ), на 20% более чем в 2 раза (Молчадь, Ясельда, Оресса, Лань, Цна, Словечна, Чертень, Вить, Жабинка, Копаювка). Наибольшие изменения произошли на Полесье (бассейн рр. Припять и Западный Буг), а наименьшие в бассейне р. Неман.

Для оценки изменений в наступлении дат наименьшего расхода воды рассматривались два периода: с начала инструментальных наблюдений до 1980 г. (начало климатических изменений) и с 1981 по 2004 гг. За каждый из периодов были найдены средние даты наступления наименьшего расхода воды рек Беларуси, полученные значения картографированы (рисунок 5). Знак «минус» на картах свидетельствует о более позднем наступлении наименьшего расхода воды, а знак «плюс» о более – раннем.



**Рисунок 5 – Пространственная структура изменения дат наступления наименьшего расхода воды**

Исследования показали, что для *летне-осеннего сезона*, наибольшие смещения дат наименьшего расхода наблюдаются на малых и средних реках, на крупных реках изменения менее существенны и колеблются в пределах от 5 до 10 суток. В целом по территории Беларуси, на большинстве рассматриваемых рек (58%) наступление дат наименьшего расхода сместилось на более поздние сроки, в среднем на 13 дней. При этом имеет место достаточно большой диапазон варьирования от 3 до 30 суток. Примерно на третьей части исследуемых рек эти смещения менее существенные, но имеют противоположную тенденцию. Период наименьших расходов воды наступает на 7 суток раньше по сравнению с периодом до 1980 г. Размах колебаний также достаточно велик и составляет от 1 до 20 суток. В особую группу (около 10%) необходимо выделить канализированные и мелиорированные бассейны (рр. Жабинка, Ясельда, Морочь и др.), где наступление маловодного периода наступает на 30 суток. Наиболее ранние сроки наступления дат маловодного периода в *зимнюю межень* характерны для южной части территории Беларуси, в частности в бассейнах рр. Днепр и Припять. В связи с большей однородностью формирования стока в зимний период, повсеместное смещение наступления наименьшего расхода на более поздние сроки в среднем составляет 8 дней, хотя варьируют от 2 до 21 дня. В тоже время, примерно на 20% рек маловодный период наступает раньше в среднем на 5 дней.

**В четвертой главе «Расчет и прогноз минимального стока рек Беларуси»** предложена методика расчета минимального стока воды малых рек Беларуси при отсутствии данных гидрометрических наблюдений, дана прогнозная оценка изменения минимального стока в связи с прогнозируемыми изменениями климата.

В основу методики расчета минимального стока при отсутствии данных гидрометрических наблюдений положена зависимость модулей зимнего и летне-осеннего минимального стоков от показателя эрозионного вреза русла реки ( $\Delta H$ ), который определялся по зависимости:

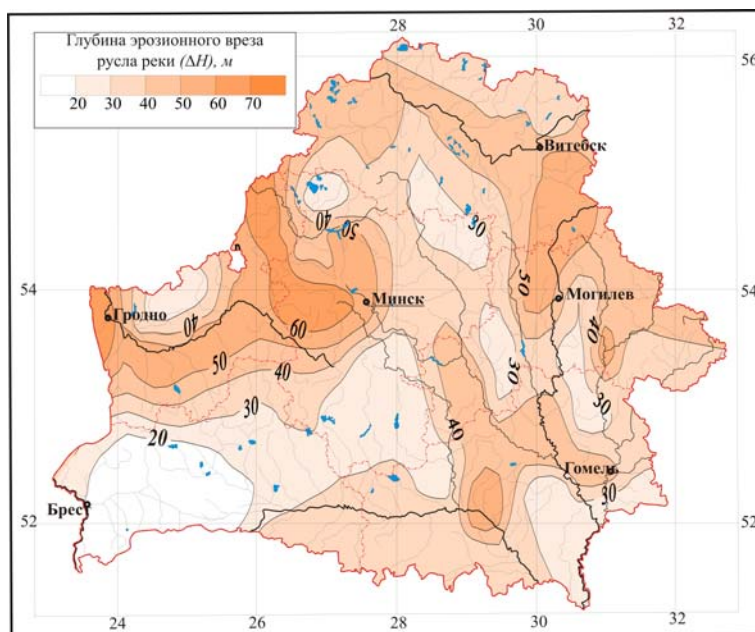
$$\Delta H = H_{вдсб} - H_{ств}, \quad (2)$$

где  $H_{вдсб}$  – средняя высота водосбора, м;

$H_{ств}$  – отметка наименьшего за период межени уровня воды в замыкающем створе, м.

Пространственная структура эрозионного вреза рек Беларуси ( $\Delta H$ ) представлена на рисунке 6. Величина эрозионного вреза рек изменяется в больших пределах от 10 до 70 м. Наибольшие величины приурочены к возвышенностям (Новогрудская, Минская и др.), а наименьшие – к равнинам и низменностям

(Полесье). В бассейне р. Западная Двина глубина эрозионного вреза варьирует от 20 до 50 м. Наиболее расчленен бассейн р. Неман, так как бассейн окружен возвышенностями (Ошмянская, Минская, Новогрудская, Слонимская, Волковыская, Гродненская, Копыльская) и имеет наибольшие значения глубины эрозионного вреза до 87 м. Бассейн р. Днепр занимает Центральнорезинскую, где глубина эрозионного вреза составляет 15–25 м, и Оршанско-Могилевскую равнины ( $\Delta H = 40$  м). Бассейн р. Припять характеризуется широким спектром глубины эрозионного вреза от 12 (р. Неслуха) до 100 м (р. Горынь). Преобладающая глубина составляет 15–25 м. Возрастает глубина эрозионного вреза р. Припять около 50 м в районе Мозырской возвышенности. Наименьшие глубины эрозионного вреза приурочены к бассейну р. Западный Буг ( $\Delta H_{cp} = 22$  м).



**Рисунок 6 – Карта глубины эрозионного вреза рек Беларуси**

При анализе карт модуля минимального стока рек Беларуси, глубины эрозионного вреза, подземного стока в реки, поверхности грунтовых вод была установлена хорошо выраженная связь модулей зимнего и летне-осеннего минимального стоков с показателями эрозионного вреза русла реки ( $\Delta H$ ), которая аппроксимируется линейной зависимостью типа:

$$q_{\min}^{л-о(з)} = \mu_{л-о(з)} \cdot \Delta H \pm q_0^{л-о(з)} \quad (3)$$

где  $q_{\min}^{л-о(з)}$  – минимальные модули стока в летне-осенний (зимний) периоды, л/(с км<sup>2</sup>);

$\mu_{л-о(з)}$  – коэффициент, характеризующий интенсивность питания реки подземными водами, приходящийся на единицу эрозионного вреза реки, л/(с км<sup>2</sup>)/м;

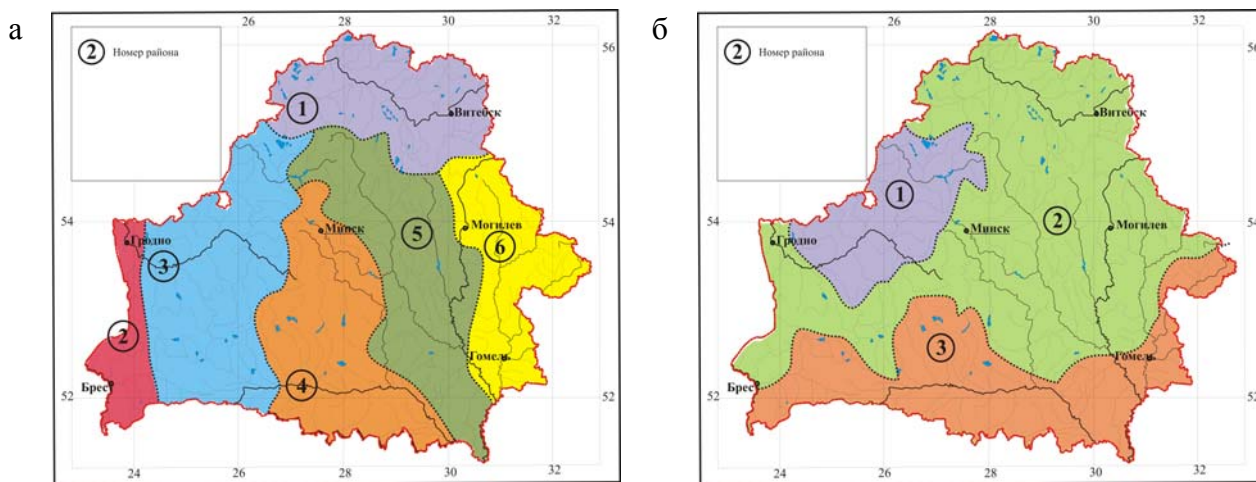
$\Delta H$  – эрозионный врез рек, м;

$\pm q_0^{n-o(z)}$  – параметр учитывающий влияние а зональных факторов минимального стока:  $+q_0^{n-o(z)}$  – модуль поверхностного стока, л/с км<sup>2</sup>;  $-q_0^{n-o(z)}$  – инфильтрация в нижележащие слои.

По однотипной зависимости модуля минимального стока от эрозионного вреза русла ( $q = f(\Delta H)$ ) было произведено районирование территории Беларуси для летне-осенней и зимней межени. Разнообразие физико-географических условий привело к выделению 6 районов для летне-осенней и 3 района для зимней межени (рисунок 7). Для каждого из районов были построены графики зависимости и получены параметры модели (3) (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры модели для расчета модуля минимальных расходов воды рек Беларуси

Район	Межень					
	Летне-осенняя			зимняя		
	$\mu$	$q$	$r$	$\mu$	$q$	$r$
Район 1	0,03	-0,29	0,97	0,02	1,45	0,88
Район 2	0,03	0,06	0,99	0,01	1,19	0,75
Район 3	0,04	0,35	0,95	0,01	0,90	0,81
Район 4	0,03	0,02	0,97			
Район 5	0,07	0,17	0,97			
Район 6	0,03	-0,01	0,96			



а – летне-осенний; б – зимний период

**Рисунок 7 – Карта районов однотипной зависимости  $q = f(\Delta H)$**

При обобщении данных об изменчивости минимального стока была выявлена зависимость, которая имеет вид:

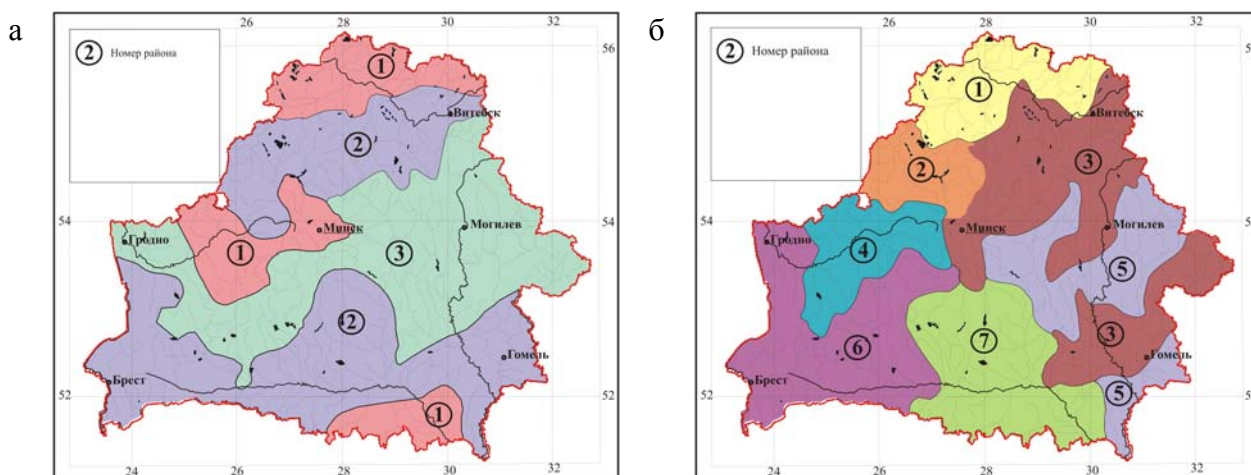
$$Cv = Cv_{q \rightarrow 0} - \alpha \cdot q_{\min}^{n-o(z)} \quad (4)$$

где  $Cv_{q \rightarrow 0}$  – коэффициент вариации для модуля стока при  $q \rightarrow 0$ .

На рисунке 8 приведены районы для определения коэффициента вариации минимального стока, а в таблице 2 даны параметры модели.

Таблица 2 – Параметры модели для расчета коэффициента изменчивости минимальных расходов воды

Район	Минимальный сток					
	летне-осенний			зимний		
	$\alpha$	$C_v$	$r$	$\alpha$	$C_v$	$r$
Район 1	-0,20	0,94	0,94	-0,18	1,09	0,96
Район 2	-0,17	0,71	0,95	-0,03	0,43	0,59
Район 3	-0,12	0,51	0,91	-0,16	0,79	0,85
Район 4				-0,10	0,67	0,95
Район 5				-0,15	0,60	0,95
Район 6				-0,28	1,30	0,91
Район 7				-0,31	1,36	0,83



а – летне-осенний; б – зимний период

### Рисунок 8 – Карты районов для определения коэффициента вариации

Величина коэффициента асимметрии  $C_s$  обычно определяется по соотношению его с коэффициентом  $C_v$ . Для увлажненных районов (северная и центральная часть республики) рекомендуется принимать  $C_s = 2 C_v$ , а для более засушливых районов, каким является юг республики (Полесье)  $C_s = 1,5 C_v$ .

Проверка, полученных данных осуществлялась на независимых материалах, и показала отклонение фактических данных от рассчитанных в среднем на 5–20%. Разработанная методика сравнивалась с методикой Пособия П1-98 к СНиП, А.М. Норватова и К.А. Ключевой. Сравнение было проведено на независимых материалах наблюдений по 18 пунктам, равномерно расположенным по территории Беларуси. Предлагаемая методика для условий Беларуси позволяет получить значения минимального стока с приемлемой точностью для практического использования. Проведенные исследования показали, что данная методика может использоваться в комплексе с существующими для уточнения данных.

Для проведения численного эксперимента возможного изменения минимального стока рек Беларуси было использовано стандартное уравнение водного баланса участка суши, отобрано 47 водосборов равномерно расположенных на территории республики 4 варианта изменения природно-антропогенных факторов: **вариант 1** – средняя годовая температура воздуха увеличивается на 2 °С по сравнению с современным уровнем при неизменном количестве атмосферных осадков; **вариант 2** – уменьшение годовых атмосферных осадков на 10% с неизменной температурой воздуха; **вариант 3** – годовые атмосферные осадки уменьшаются на 10%, а средняя годовая температура воздуха увеличивается на 2 °С; **вариант 4** – заболоченность (осушение) и лесистость (вырубка леса) водосбора уменьшаются, а густота речной сети (создание несовершенных мелиоративных систем) и распаханность (интенсивное выращивание сельскохозяйственных культур) увеличиваются на 5, 10, 20 и 30% от существующих в настоящее время при неизменных климатических условиях.

Полученные прогнозные оценки изменений минимального стока рек Беларуси для различных сценариев развития климата позволили сделать выводы:

– при увеличении средней годовой температуры на 2 °С и неизменном количестве атмосферных осадков (**вариант 1**) существенного изменения летне-осеннего минимального стока не произойдет и составит  $\pm 2,5\%$ .

– при уменьшении количества осадков на 10% и неизменной температуре воздуха (**вариант 2**) произойдет уменьшение летне-осеннего минимального стока на 15%. При этом максимальное уменьшение стока наблюдается в июне–июле на 20%.

– при уменьшении количества осадков на 10% и увеличении средней годовой температуры на 2 °С (**вариант 3**) летне-осенний минимальный сток уменьшится на 20%.

– при уменьшении заболоченности и лесистости и увеличении густоты речной сети и распаханности (**вариант 4**) выявлена тенденция постепенного перехода от уменьшения стока в июне – июле к его увеличению в августе – октябре, при этом переход через «нулевые» значения изменений приходится на вторую половину июля.

Наиболее неблагоприятным прогнозом развития климата для рек Беларуси является **третий вариант** (уменьшение количества осадков на 10% и увеличение средней годовой температуры на 2 °С), а при наложении хотя бы 10%-го антропогенного воздействия на водосбор реки уменьшение минимального стока может достигнуть 50%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа посвящена оценке пространственно-временных колебаний минимального стока рек Беларуси в современных условиях, методике расчета минимального стока при отсутствии данных гидрометрических наблюдений и прогностической оценке изменения минимального стока при различных сценариях развития климата с целью принятия оптимальных проектных решений.

Основные результаты настоящей работы заключаются в следующем:

1. *Дана количественная оценка минимального стока рек Беларуси в современных условиях.* Для большинства исследуемых рек отмечается стабильная тенденция увеличения летне-осенних (73% исследуемых рек) и зимних (80%) минимальных расходов воды, при чем на большей части рек градиент изменения стока в зимний период больше чем в летне-осенний период. Наибольшие изменения произошли на Полесье (бассейн рр. Припять и Западный Буг), наименьшие – в бассейне р. Неман. Произошли изменения в наступлении дат наименьшего расхода воды в период открытого русла и зимнего периода. Эти смещения необходимо признать существенными и необходимо учитывать при разработке схем управления водными ресурсами.

2. *Установлена цикличность колебаний минимального стока рек Беларуси.* Выявлены как короткопериодичные 3–5-летние, так и длиннопериодичные 33-летние циклы.

3. *Выполнены районирования территории Беларуси.* По синхронности колебаний минимального стока рек на территории Беларуси выделено для летне-осеннего минимального стока 6 районов, для зимнего – 4 района. Внутрирайонные значения коэффициентов корреляции (0,54–0,63) указывают на синхронность колебаний минимального стока. Корреляционные связи между районами убывают с запада на восток, вплоть до появления асинхронности в колебаниях минимального стока. По однородности условий формирования минимального стока на территории Беларуси в летне-осеннюю межень выделено 2 района, в зимнюю 3 района. Первый район летне-осенней межени характеризуется наличием значимого пика на 4 и 8 году, а второй – на 5 году. Для первого района зимней межени отмечены значимые гармониками на 2 и 4 году, для второго – на 4 и 6 году, для третьего – значимый пик наблюдается на 2 году. Наиболее яркими и устойчивыми являются циклы продолжительностью 2, 4–6 и 8 лет. Модуль минимального стока уменьшается от первого района ко второму для летне-осенней и от первого к третьему для зимней межени, что закономерно в связи с уменьшением общей увлажненности территории. Коэффициент вариации имеет обратную тенденцию, т.е. увеличение с севера на юг.



4. Разработана методика расчета минимального стока малых рек Беларуси при отсутствии данных гидрометрических наблюдений, которая основывается на связи модуля летне-осеннего и зимнего минимального стока ( $q_{\min}^{л-о(з)}$ ) с глубиной эрозионного вреза русла реки ( $\Delta H$ ). В связи с большим разнообразием условий формирования минимального стока рек Беларуси были выделены однотипные районы ( $q_{\min}^{л-о(з)} = f(\Delta H)$ ) (6 районов для летне-осенней межени и 3 района для зимней межени) и получены параметры модели для каждого из них. Территория районов оконтуривалась по границам смены гидрогеологических комплексов с учетом конфигурации бассейнов рек. Для расчета коэффициента вариации ( $Cv$ ) выделены однотипные районы ( $Cv = f(q_{\min}^{л-о(з)})$ ) (для летне-осеннего минимального стока выделено 3 района, а для зимнего – 7) и предложены параметры модели. Величина коэффициента асимметрии ( $Cs$ ) для северной и центральной части Беларуси принята  $2Cv$ , а для южных районов (Полесье)  $Cs = 1,5 Cv$ . Проверка полученных данных дала хорошие результаты, отклонение фактических данных от рассчитанных составляет в среднем 5–20%. Использование предлагаемой методики в совокупности с другими позволит существенно уточнить величины минимального стока при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. Полученные модели могут использоваться для расчета не только минимальных расходов воды меженных периодов, но и для определения экологического стока.

5. Получены прогнозные оценки изменений минимального стока рек Беларуси для различных сценариев развития климата, которые необходимы для рационального использования речных вод:

– при увеличении средней годовой температуры на  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  и неизменном количестве атмосферных осадков (**вариант 1**) существенного изменения летне-осеннего минимального стока не произойдет и составит  $\pm 2,5\%$ .

– при уменьшении количества осадков на 10% и неизменной температуре воздуха (**вариант 2**) произойдет уменьшение летне-осеннего минимального стока на 15%. При этом максимальное уменьшение стока наблюдается в июне–июле на 20%.

– при уменьшении количества осадков на 10% и увеличении средней годовой температуры на  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (**вариант 3**) летне-осенний минимальный сток уменьшится на 20%.

– при уменьшении заболоченности и лесистости и увеличении густоты речной сети и распаханности (**вариант 4**) выявлена тенденция постепенного перехода от уменьшения стока в июне – июле к его увеличению в августе – октябре, при этом переход через критические значения изменений приходится на вторую половину июля.

Наиболее неблагоприятным прогнозом развития климата для рек Беларуси является *третий вариант* (уменьшение количества осадков на 10% и увеличение средней годовой температуры на 2°C), а при наложении хотя бы 10%-го антропогенного воздействия на водосбор реки уменьшение минимального стока может достигнуть 50%.

### Основные работы опубликованные по теме диссертации

1. Волчек, А.А. Гидролого-экологическая оценка поверхностных вод бассейна реки Западный Буг в пределах Брестской области / А.А. Волчек, О.И. Грядунова // Теоретические и прикладные проблемы геоэкологии: материалы Междунар. науч. конф., Минск, 26–29 октября 2001 г. / Бел. гос. ун-т, Белор. геогр. о-во; редкол.: И.И. Пирожник [и др.]. – Минск, 2001. – С. 194–196.

2. Грядунова О.И. Современное состояние рек Белорусского Полесья / О.И. Грядунова // Сахаровские чтения 2002 года: Экологические проблемы XXI века: материалы 2-й Междунар. науч. конф., Минск, 17–21 мая 2002 г. / МГЭУ им. А.Д. Сахарова; под общ. ред. С.П. Кундаса [и др.]. – Минск, 2002. – С. 185–186.

3. Волчек, А.А. Выбор репрезентативного периода для расчета характеристик минимального летне-осеннего стока / А.А. Волчек, О.И. Грядунова // Природные и антропогенные ландшафты Полесья: проблемы природопользования и охраны окружающей среды: материалы Республ. науч.-практ. конф., Брест, ноябрь 2003 г. / БООООБГО, Брест. обл. комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды; редкол.: С.В. Артеменко [и др.]. – Брест, 2003. – С. 50–55.

4. Грядунова, О.И. Минимальный сток р. Западная Двина / О.И. Грядунова // Экологические проблемы природно-технических комплексов: тезисы докладов II Международного экологического симпозиума в городе Полоцке, Полоцк, 3–4 сентября 2005 г. / Полоцк. гос. ун-т; редкол.: В.Ф. Логинов [и др.]. – Полоцк, 2005. – Т. 1. – С. 98–99.

5. Грядунова, О.И. Оценка современных изменений минимального летне-осеннего стока рек Белорусского Полесья / О.И. Грядунова // Материалы IX Республ. науч. конф. студентов и аспирантов, Гродно, 26–27 мая 2004 г. / Гродн. гос. ун-т им. Я. Купалы; под общ. ред. Г.А. Хацкевича. – Гродно, 2004. – Ч. 2. – С. 138–139.

6. Грядунова, О.И. Статистические параметры минимального летне-осеннего стока основных рек Беларуси / О.И. Грядунова // Материалы VI межвузовской науч.-метод. конф. молодых ученых, Брест, 14 мая 2004 г. / Брест. гос. ун-т им. А.С. Пушкина; под общ. ред. А.А. Горбацкого. – Брест, 2004. – С. 24–26.

7. Грядунова О.И. Минимальный сток реки Мухавец / О.И. Грядунова // Материалы VII межвузовской науч.-метод. конф. молодых ученых, посвящ. 60-

летию университета, Брест, 20 мая 2005 г. / Брест. гос. ун-т им. А.С. Пушкина; под общ. ред.: А.А. Горбацкого. – Брест, 2005. – С. 18–19.

8. Грядунова О.И. Выделение гидрологически однородных районов летне-осеннего минимального стока на основе анализа выборочных спектров / О.И. Грядунова // Сахаровские чтения 2005 года: Экологические проблемы XXI века: материалы 5-й Междунар. конф. ведущих специалистов, молодых ученых и студентов, Минск, 20–21 мая 2005 г. / МГЭУ им. А.Д. Сахарова; под общ. ред. С.П. Кундаса. – Минск, 2005. – С. 46–47.

9. Логинов, В.Ф. Сравнительная характеристика многолетних колебаний летне-осеннего и зимнего минимального стока реки Неман / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, О.И. Грядунова // Природные ресурсы. – 2005. – № 3. – С. 13–21.

10. Грядунова, О.И. Районирование территории Беларуси по синхронности колебаний летне-осеннего минимального стока / О.И. Грядунова // Известия НАН Беларуси. Сер. Биол. наук. – 2005. – № 5/1. – С. 73–75.

11. Грядунова О.И. Выделение гидрологически однородных районов зимнего минимального стока на основе анализа выборочных спектров / О.И. Грядунова // Материалы VIII Респ. межвузовской науч.-метод. конф. молодых ученых, Брест, 19 мая 2006 г. / Мин. об. РБ, Брест. гос. ун-т им. А.С. Пушкина; под общ. ред. Б.М. Лепешко. – Брест, 2006. – С. 24–26.

12. Волчек, А.А. Пространственно-временные колебания минимального стока р. Припять / А.А. Волчек, О.И. Грядунова // Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития: сб. науч. раб. / НАН Беларуси, Полесский аграрно-экол. ин-т; под общ. ред. Н.В. Михальчука. – Брест, 2006. – С. 405–412.

13. Грядунова О.И. Районирование территории Беларуси по синхронности колебаний минимального стока / О.И. Грядунова // Сахаровские чтения 2006 года: Экологические проблемы XXI века: материалы 6-й Междунар. науч. конф., Минск, 18–19 мая 2006 г. / МГЭУ им. А.Д. Сахарова; под общ. ред. С.П. Кундаса [и др.]. – Минск, 2006. – Ч. 2. – С. 37–39.

14. Грядунова О.И. Оценка влияния современных природно-климатических факторов на формирование минимального стока рек Беларуси / О.И. Грядунова // Молодежь в науке – 2007: прил. к журн. Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. Физ.-мат. наук. – 2007. – С. 382–387.

15. Грядунова, О.И. Роль климатических факторов в формировании минимального стока рек Беларуси / О.И. Грядунова // Материалы IX респ. науч.-метод. конф. молодых ученых, Брест, 18 мая 2007 г. / Брест. гос. ун-т им. А.С. Пушкина; под общ. ред. К.К. Красовского. – Брест, 2007. – С. 77–79.

16. Волчек, А.А. Изменения дат наступления наиболее маловодных периодов на реках Беларуси в современных условиях / А.А. Волчек, О.И. Грядунова // Современные экологические проблемы устойчивого развития

Полесского региона и сопредельных территорий: наука, образование, культура: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Мозырь, 26–27 сен. 2007 г. / Мозыр. гос. пед. ун-т; редкол.: В.В. Валетов [и др.]. – Мозырь, 2007. – С. 123–127.

17. Волчек, А.А. Методика расчета минимального стока воды рек Беларуси при отсутствии данных наблюдений / А.А. Волчек, О.И. Грядунова // Водное хозяйство России. – 2008. – № 6. – С. 4–28.

Грядунова Оксана Ивановна

**ФОРМИРОВАНИЕ МИНИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК БЕЛАРУСИ  
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

25.00.27. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

---

Подписано к печати . Формат 60 x 84 1/16. Бумага «Снегурочка».  
Гарнитура Times New Roman. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. \*\*. Уч.-изд. л. \*\*. Тираж \*\*. Заказ № \*\*

---

Отпечатано на ризографе Учреждения образования «\*\*\*». Лицензия