



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



С.В. Мельник, Н.С. Лобода

**ДИНАМИКА НАНОСОВ ВЕРХНЕГО И
СРЕДНЕГО ДНЕСТРА
В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ
И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**
Монография

Одесса
ТЭС
2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

С.В. Мельник

Н.С. Лобода

**Динамика наносов верхнего и среднего Днестра
в условиях антропогенной нагрузки
и изменения климата**

Монография

Рекомендовано к изданию решением Ученого Совета
Одесского государственного экологического университета
Министерства образования и науки Украины
(протокол № 6 от 31 мая 2018 года)

586471-EPP-1-2017-1-EE-EPPKA2-CBHE-JP

Одесса

ТЭС

2019

Рецензенты:

Гребень В.В. д.геогр.н., проф. Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

Ющенко Ю.С. д.геогр.н., проф. Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича

М 48 Мельник, Сергей Владимирович

Динамика наносов верхнего и среднего Днестра в условиях антропогенной нагрузки и изменения климата: Монография / Мельник С.В., Лобода Н. С.; Одесский государственный экологический университет. - Одесса: ТЭС, 2019. – 296 с.
ISBN 978-617-7711-39-0

В монографии представлены результаты исследований динамики водного режима и стока наносов Подольских и Карпатских притоков Днестра. На основе методов многомерного статистического анализа выполнены пространственно-временные обобщения характеристик стока (годового и максимального) воды и наносов за различные расчетные периоды с целью выявления последствий влияния хозяйственной деятельности и происходящих климатических изменений. Установлена роль различных климатических осцилляций (Северо-Атлантическое колебание и другие) в формировании гидрологического режима исследуемой территории. Выявлены и исследованы периодичности в колебаниях стока воды и наносов в связи с проявлениями солнечной активности. С целью практического применения полученных результатов разработаны методики расчета годовых расходов наносов на базе данных наблюдений за стоком воды.

Монография предназначена для использования при проведении гидрологических и гидротехнических расчетов, решении некоторых гидрологических проблем в области гидроэнергетического строительства, а также для специалистов, занимающихся охраной окружающей среды. Кроме того, она может быть полезна магистрам и аспирантам как гидрометеорологического (науки о земле), экологического, так и гидроэнергетического профиля подготовки.

Видання підготовлено в рамках проекту 586471-EPP-1-2017-1-EE-EPPKA2-CBHE-JP «Комплексна докторська програма з екологічної політики, менеджменту природокористування та техноекології». Підтримка Європейської Комісії видавництва цієї публікації не включає схвалення її змісту, що відображає тільки погляд авторів, і Європейська Комісія не може нести відповідальність за будь-яке використання інформації, що міститься в цьому виданні.

The monograph presents the results of a research into the dynamics of the water regime and the runoff of sediments in the Podolia and the Carpathian tributaries of the Dniester. Based on the methods of multivariate statistical analysis, the spatio-temporal generalizations of water and sediment (the annual and the maximum) runoff characteristics for various estimation periods were performed in order to reveal the consequences of influence of the economic activity and the current climate change.

The monograph is recommended for the master and postgraduate students of the Hydrometeorological (Earth Sciences) the Environmental and the Hydropower profiles of training.

The publication was prepared under the project of 586471-EPP-1-2017-1-EE-EPPKA2-CBHE-JP 'Integrated Doctoral Program for Environmental Policy, Management and Technology.' The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Мельник С.В., Лобода Н.С.

**ДИНАМИКА НАНОСОВ ВЕРХНЕГО И СРЕДНЕГО
ДНЕСТРА
В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ
И ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА**

Одесса 2018

Оглавление

1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БАССЕЙНА ВЕРХНЕГО И СРЕДНЕГО ДНЕСТРА	4
1.1 Географическое положение, геологическое строение и рельеф	4
1.2 Климат	10
1.3 Гидрогеология	17
1.4 Почвенный и растительный покров бассейна.....	22
1.5 Распределение карста по территории бассейна и его влияние на сток	30
1.6 Характеристика хозяйственной деятельности в бассейне Днестра	34
1.7. Гидрологическая изученность рек региона.....	40
2 РЕЧНЫЕ НАНОСЫ	51
2.1 Основы теории формирования наносов.....	51
2.2 Обзор исследований стока наносов.....	57
2.3 Характеристика материалов наблюдений за стоком взвешенных наносов.....	66
2.4 Сток взвешенных наносов на левобережных притоках Днестра	72
2.5 Сток взвешенных наносов на правобережных притоках.....	81
2.6 Сток взвешенных наносов главной реки – Днестр.....	87
3 ДИНАМИКА ВОДНОГО РЕЖИМА И СТОКА НАНОСОВ НА РЕКАХ ПОДОЛИИ	93
3.1 Многолетняя изменчивость климата и водного режима рек Подолии	93
3.2 Внутригодовое распределение стока на исследуемой территории	100
3.3 Генетическая природа и динамика максимального стока рек Подолии ..	105
3.4 Динамика распределения поверхностного и подземного стока Подолии ..	114
3.5 Динамика стока наносов рек Подолии.....	121
4 ДИНАМИКА ВОДНОГО РЕЖИМА И СТОКА НАНОСОВ ГОРНОЙ ЧАСТИ ВОДОСБОРА Р.ДНЕСТР	128
4.1 Многолетняя изменчивость характеристик стока и наносов	128
4.2 Внутригодовое распределение	132
4.3 Генетическая природа максимального стока правобережных притоков верхнего Днестра.....	134
4.4 Динамика распределения поверхностного и подземного стока правобережных притоков Днестра.....	144

4.5 Динамика стока наносов на горных притоках Днестра	152
4.6 Динамика стока наносов по длине реки Днестр	155
5 ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ГОДОВОГО СТОКА БАСЕЙНА ВЕРХНЕГО И СРЕДНЕГО ДНЕСТРА В УСЛОВИЯХ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА	162
5.1 Районирование годового стока с бассейна верхнего и среднего Днестра по характеру его колебаний на основе кластерного анализа.....	162
5.2 Изменения в характере колебаний стока рек верхнего Днестра в современных климатических условиях	175
5.3 Пространственно-временная динамика мутности в бассейне верхнего Днестра	184
6 АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ СТОКА	194
6.1 Обзор методов выявления периодичностей временных колебаний рядов стока.....	194
6.2 Выделение циклов водности и периодичностей на основе спектрального анализа в колебаниях стока р. Днестр (главная река)	197
6.3 Анализ временных рядов стока левобережных притоков Днестра	201
6.4 Анализ временных рядов стока Карпатских притоков Днестра	204
6.5 Периодические составляющие многолетних колебаний выявленные на основе метода "гусеница"-SSA.....	207
6.6 Оценка влияния климатических осцилляций на сток рек бассейна	213
7 РАСЧЕТ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ.....	221
7.1 Расчет стока взвешенных наносов на подольских притоках Днестра.....	221
7.2 Расчет стока взвешенных наносов на Карпатских притоках Днестра и главной реке (Днестр).....	229
7.3 Учет влияния Солнечной активности на сток наносов.....	237
7.3.1 Аналитический обзор работ по влиянию Солнечной активности на сток рек	237
7.3.2 Разработка уравнений по учету влияния Солнечной активности на сток наносов.....	239
7.4 Оценка точности полученных моделей и сравнительный анализ	242
Выводы по работе	253
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	257

1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БАССЕЙНА ВЕРХНЕГО И СРЕДНЕГО ДНЕСТРА

1.1 Географическое положение, геологическое строение и рельеф

Днестр является второй по величине рекой Украины и главной водной артерией Молдовы. Река берет начало из источников, которые выходят на поверхность на северо-западном склоне горы Розлуч возле села Волчье Туркивского района Львовской области на высоте 760 м над уровнем моря. Первые километры от истока река представляет собой ручей. На участке вблизи с. Стрелки водный поток достигает ширины 12-15 м и глубины 0,5 м. Ниже г. Самбор Днестр превращается в полугорную реку ($I < 0,5 \text{ ‰}$ Чалов Р.С. 2008г.) шириной около 30 м и глубиной 1 м. Общая длина р.Днестр составляет 1352 км, в пределах Украины – 912 км (67%) и впадает в Днестровский лиман. Площадь водосбора 72900 км², из них в пределах Украины 53490 км² (73%). Средний уклон составляет 0,56 ‰ [1].

Традиционно Днестр делится на три части: верхнюю, среднюю и нижнюю. На сегодняшний день нет четкого деления территории бассейна, каждый исследователь, в зависимости от поставленной цели исследований, по- своему определяет границы верхнего, среднего или нижнего Днестра. Так, например, в книге Владимира Кубиевича можно встретить следующее деление: от истока до села Ныжнив – Верхний Днестр, от Ныжнева до Тирасполя – Средняя Подольская часть Днестра, от Тирасполя до устья – Нижняя или долинная часть Днестра [1]. Другое деление, которое на сегодняшний день считается традиционным [2]: верхний (от истоков до устья Золотой Липы), средний (от устья Золотой Липы к устью Реута), и нижний (от Устья Реута до Днестровского лимана). Нашими исследованиями охвачена часть бассейна реки Днестр от истоков до места впадения в Днестр реки Каменка. Большая часть бассейна реки Каменка находится на территории Украины, но само устье – уже на территории Приднестровской Молдавской Республики. Таким образом, исследуемая территория бассейна находится в пределах Львовской, Ивано-Франковской, Тернопольской, Хмельницкой и Винницкой и областей (Рис. 1.1).

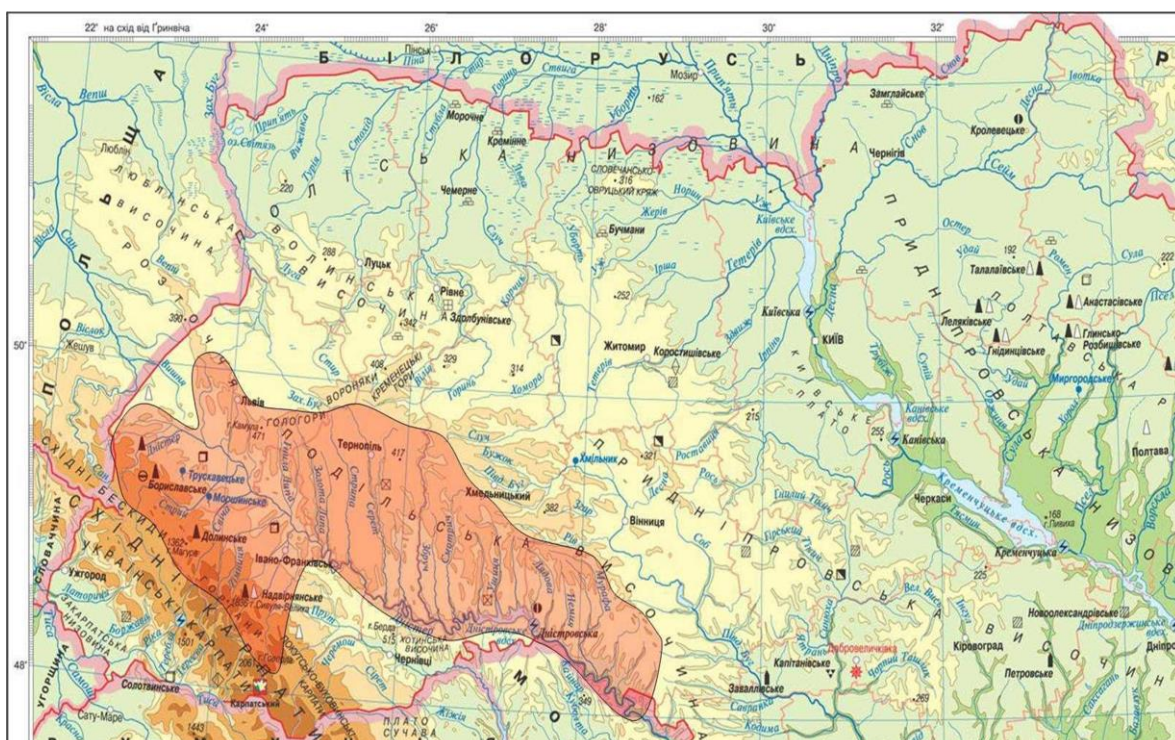


Рисунок 1.1– Район исследований.

Исследуемая часть бассейна Днестра может быть подразделена на три физико-географические провинции (рис. 1.2, табл. 1.1) каждая из которых имеет свои особенности в отношении рельефа, климата почвы, растительности и гидрологических особенностей.

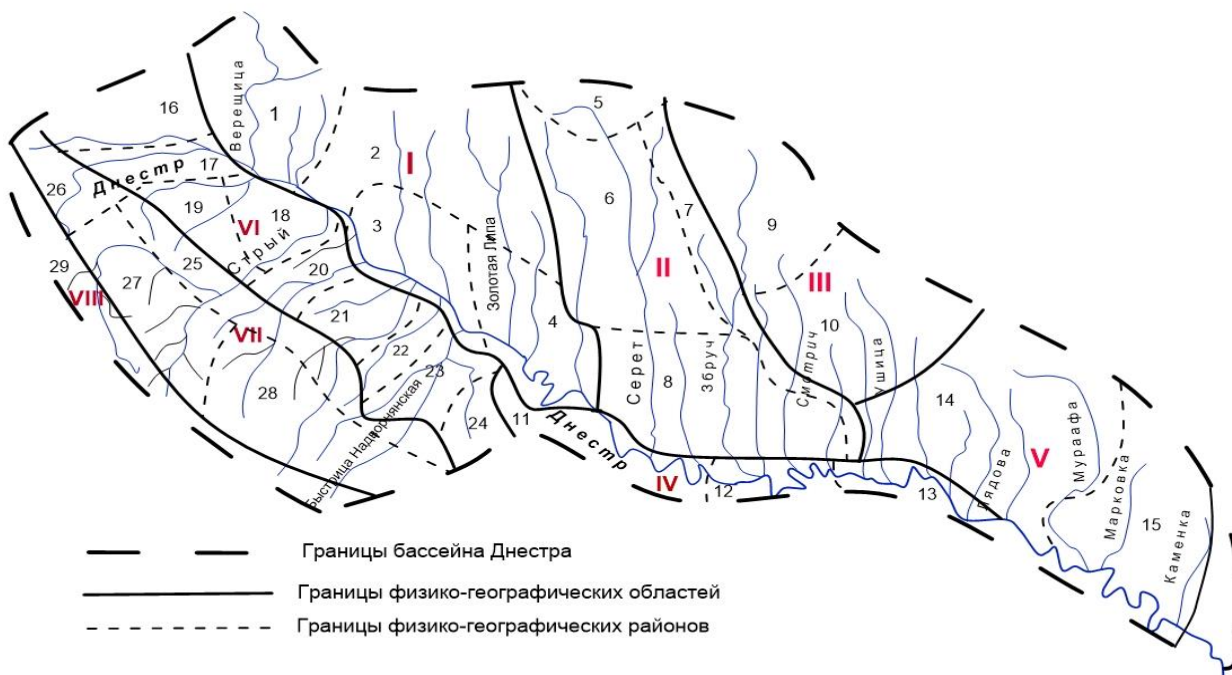


Рисунок 1.2 – Физико-географическое районирование исследуемой территории по [3,4] (названия областей и районов см. табл.1.1).

Таблица 1.1 – Физико-географическое районирование исследуемой территории по [3, 4].

Природная зона	Физико-географическая провинция	Физико-географическая область	Физико-географический район
Лесостепная зона (широколиственных лесов)	Западно-Украинская провинция	I. Расточье и Ополье	1. Щирецкий 2. Бибрско-Перемышлянский 3. Район Рогатинского Ополья 4. Район Приднестровского Ополья
		II. Западно-Подольская область	5. Вороняки 6. Тернопольский равнинный физико-географический район 7. Толтровый кряж 8. Западно-Подольское Приднестровье
		III. Северо-Подольская область	9. Авратинская возвышенность 10. Городокского-Хмельницкий
		IV. Прут-Днестровская область	11. Тлумач-Городенковский 12. Район Хотинской возвышенности 13. Кельменецкий
	Днестровско-Днепровская провинция	V. Приднестровско-Подольская лесостепная область	14. Могилевское Приднестровье 15. Ямпольское Приднестровье
Карпаты	Украинские Карпаты	VI. Область Предкарпатья	16. Санско-Днестровский 17. Верхнеднестровский 18. Стрыйско-Жидачевский 19. Дрогобычский 20. Присвичский 21. Ломницко-Болеховский 22. Прилуквинский 23. Быстрицкий 24. Быстрицко-Прутский
		VII. Область Внешних Карпат	25. Краевое низкогорье 26. Верхне-Днестровские Бескиды 27. Сколевские Бескиды 28. Скибовые (Внешние) Горганы
		VIII. Водораздельно-Верховинская область	29. Стрыйско-Санская вершина

Украинские Карпаты является сложно построенной горной страной альпийского орогенического пояса. Отдельные структурные элементы этого пояса вытянуты с северо-запада на юго-восток. Крайнее северо-восточное положение занимает внешняя антиклинальная зона, состоящая из ряда параллельных друг другу моноклинальных хребтов — скиб. Внешняя или Береговая скиба надвинута на Предкарпатский краевой прогиб, состоящий из внутренней, прилегающей к Карпатам, и внешней зон. В основании внешней зоны залегают палеозойские и мезозойские породы платформенного типа, что указывает на образование этой зоны в результате вовлечения в горообразовательные движения края платформы. В юго-восточной части внутренней зоны прогиба приподнятые ядра антиклинальных складок образуют хребты Покутских Карпат. Крайней юго-западной зоной Карпат является Выгорлат-Гутинский вулканогенный массив, образование которого связано с вулканической деятельностью.

В соответствии с данными работы [5] в Украинских Карпатах геосинклинальный цикл развития закончился в конце палеогена. Все тектонические движения и созданные ими структуры относятся к неотектоническому этапу. В неогене и четвертичном периоде, произошло несколько фаз складкообразования, образовалась сложная система складок, надвигов и разломов; суммарная амплитуда поднятий достигает 1500—2000 м.

В настоящее время большинство структур Карпат продолжают свою активность, наблюдаются смещения по разломам и надвигам. Скорость современных восходящих движений Карпатских гор составляет более 15 мм в год [5]. В Карпатах наблюдается довольно высокая сейсмическая активность, интенсифицирующая все гравитационные процессы.

Северо-Восточные склоны Карпат на всем протяжении Днестровского бассейна характеризуются выступами карпатских песчаников, поэтому в некоторых работах эта часть гор часто носит наименование песчаниковых Карпат. Выходы кристаллических пород здесь встречаются значительно реже, образуя лишь отдельные вершины или обособленные глыбы гранита. С северо-востока к Карпатским горам примыкает располагающаяся в пределах Предкарпатского прогиба и юго-западной окраины Русской платформы аллювиальная равнина, в рельефе которой чередуются котловины и террасированные междуречья. Равнина расчленена многочисленными долинами правых притоков Днестра.

Наиболее богаты реками и ручьями горные части бассейна Днестра, что обуславливается выпадением здесь большого количества осадков. Горные реки в большинстве случаев невелики (до 20 км длиной), но многоводны. Вследствие изрезанности хребтов Карпат и их отрогов площади бассейнов рек здесь также незначительны; наибольшие площади имеют притоки Днестра — Быстрица Тысьменская (1160 км²), Стрый (3060 км²), Свича (1490 км²), Ломница (1530 км²), Быстрица (2520 км²).

В соответствии с [5] густота речной сети с учетом рек длиной менее 10 км в среднем составляет 1 — 1,5 км/км². Карпатские реки имеют типичный горный

характер. Долины их прямые или слабо извилистые, у истоков часто приобретают вид глубоких ущелий с узким дном (1—3 м). В пределах гор они имеют – V образную, реже ящикообразную форму. Ширина их невелика (от 50—80 м до 0,8—2,0 км), склоны крутые и очень крутые, до отвесных, высотой 60—100 м; часто они сливаются со склонами гор и водоразделов и прорезаются мелкой гидрографической сетью. Местами прослеживается первая терраса шириной 40—300 м с крутыми уступами высотой 7—18 м, на некоторых реках кое-где наблюдается и вторая терраса, поднимающаяся над первой уступом 12—15 м. Пойма узкая (большой частью 50—200 м), на отдельных участках отсутствует, в паводки затопляется на несколько (1—5) дней слоем воды 0,4—4 м. Реки протекают в нешироких (1—10 м) руслах, скорость их течения находится в пределах 1—4,5 м/сек; в руслах имеется множество перепадов и порогов, дно галечное и галечно-каменистое, у истоков реки загромождены валунами; многие реки селеносны. Глубина потоков 5—30 см, редко достигает 0,8—1,0 м; берега высотой от 1—3 до 5—10 м, крутые и обрывистые, часто сливаются со склонами долины. Падение рек значительное, особенно в верховьях, где уклоны достигают нескольких десятков метров на километр.

По выходе с гор характер рек меняется: долины приобретают трапецеидальную форму, расширяются до 1,5—2,5 км, на отдельных участках достигая 4—6 км; склоны снижаются до 10—20 м и часто незаметно сливаются с окружающей равниной. Террасы прослеживаются на многих реках и расширяются до 0,8—1,5 км, обрываясь к пойме крутым уступом высотой 2—8 м. По склонам встречаются оползни и осыпи. Пойма, широкая (1,5—2 км) с ровной, изрезанной староречьями и старицами, в низовьях часто заболоченной поверхностью. Весной и летом во время паводков затопляется до 1—3 м на 7—12 дней. Ширина рек увеличивается до 40—80 м, местами до 100—250 м, глубины порядка 0,5—1,5 м, наибольшие — 2,0—4,5 м. Реки резко уменьшают падение и отлагают обильное количество выносимых с гор наносов; русла сильно разветвленные, нередко блуждающие, изобилуют пляжами и перекатами, дно галечное и песчано-галечное, берега крутые и обрывистые, размываемые. На заболоченной пойме русла рек канализованы.

На левобережье Днестра располагается Подольская возвышенность, соответствующая южной части Вольно-Подольской плиты (Западно-Подольская область, по табл.1.1) и юго-западной части Украинского кристаллического щита (Северо-Подольская и Приднестровско-Подольская лесостепная области). В состав докембрийских пород Украинского кристаллического щита входят разнообразные метаморфические и вулканогенные образования — кварциты, сланцы, граниты и прочие, обладающие значительной сопротивляемостью в отношении факторов денудации, и поэтому их выходы в дне и на склонах речных долин сопровождаются наличием порогов, каньоновидных долин, обрывистых склонов.

Область Западно-Подольской возвышенности имеет слабоволнистую поверхность, расчлененную глубоко врезанными речными долинами (глубина

долин в устьевых частях достигает 150 м), часто с довольно широким дном. Особенности современного рельефа определяются выраженностью структурных поверхностей, образованных неогеновыми породами, и элювиально-делювиальным характером четвертичных отложений, имеющих незначительные мощности на водораздельных пространствах и увеличенные мощности на склонах [5]. Западно-Подольскую возвышенность с северо-запада на юго-восток пересекается западной толтровой грядой шириной 10—15 км, наиболее характерной формой рельефа, которой являются отдельные неправильной формы вершины, сложенные рифовыми известняками.

Речные долины, пересекающие толтровую гряду, не меняют своих направлений, что может объясняться эпигенетическим характером этих долин, закладывавшимся еще тогда, когда толтровые известняки были погребены под более молодыми и менее устойчивыми к процессам денудации среднесарматскими отложениями.

Вдоль северного края Западно-Подольской возвышенности протягивается Гологоро-Кременецкая гряда, полого снижающаяся в южном направлении и круто обрывающаяся в северном направлении в виде уступа высотой более 150 м (до 220 м). Четвертичные отложения во многих местах гряды отсутствуют, в других местах они представлены делювиальными и пролювиальными образованиями.

В северо-восточной части Западно-Подольской возвышенности выделяются два разновысоких уровня—более низкий и менее расчлененный, отвечающий водораздельной равнине между долинами рек Горыни и Хоморы, и более высокий, и более расчлененный, в пределах которого берут начало притоки бассейнов Днестра, Южного Буга и Днестра.

В южной части Западно-Подольской возвышенности протягивается широкая террасовая равнина левобережья Днестра, поднятая над дном долины Днестра более чем на 100 м и интенсивно расчлененная долинами левых притоков Днестра. Эта равнина круто обрывается к каньонообразной долине Днестра.

Наблюдается общий уклон поверхности с севера на юг, что находит отражение в направлении долин левых притоков Днестра; только в восточной части возвышенности проявляется уклон на восток, а в пределах Гологоро-Кременецкого уступа — на север.

Северо-Подольская и Приднестровско-Подольская лесостепная области представляет собой расчлененную равнину, имеющую неравномерный по мощности покров элювиально-делювиальных лёссовых пород. Только севернее широты г. Винницы она переходит в расчлененную аккумулятивную равнину, покрытую водноледниковыми лёссовыми породами.

В каньонной части долины Днестра широко распространены врезанные меандры, образование которых связывается с тектоническими явлениями. Эти меандры приурочены к определенным участкам долины, образуя меандровые узлы, которые размещаются: 1) между устьями Золотой Липы и Стрыпы—

Коропещкий узел, 2) между устьями Серета и Збруча—Мельницкий узел, 3) между устьями Ушицы и Калюса—Ушицкий узел.

Основные левобережные притоки Днестра (Серет, Збруч, Жванчик, Смотрич, Ушица), как правило, имеют относительно выпуклую форму профиля. Исключение составляет профиль Гнилой Липы, имеющий вогнутую форму с Болотнянской, Верхне-Рогатинский и Нижне-Рогатинской деформациями, которые приурочены к местам пересечений долины разломами. Профиль р. Серет в верховье имеет вогнутую форму, в средней и нижней частях — выпуклую, что обусловлено разной сопротивляемостью размыву пород, залегающих в русле реки. На продольном профиле выделяются Заложицкая, Тернопольская, Гнезненская и Чортковская деформации. Заложицкая деформация приурочена к локальному поднятию пород верхнемелового возраста, Тернопольская — к поднятию девонских отложений, Чортковская — к разлому (уклон русла выше разлома 63,6 см/км, ниже разлома—130 см/км).

Река Збруч также имеет выпуклый продольный профиль (кроме верховья). На большей части своего протяжения долина Збруча приурочена к субмеридиональному разлому; на этом участке выделяются две относительные деформации—Сатановская и Шидковцовская. Сатановская деформация соответствует району прорыва долины через толтровую гряду; причины образования Шидковцовской деформации неясны. Нижняя часть долины носит признаки интенсивных молодых поднятий: увеличение выпуклости профиля, распространение врезанных меандр, повышенное залегание пород силурийского возраста.

На выпуклом профиле Жванчика выделяются Почапинцовская, Орининская, Лясковцовская и Симаковская деформации. Первая из них обусловлена прорывом реки через толтры, остальные образовались вследствие интенсивных неравномерных поднятий левобережья Днестра.

Аналогичную форму имеет продольный профиль Смотрича, на котором выделяются Купинская, Смотричская и Каменец-Подольская деформации. Смотричская деформация соответствует пересечению рекой толтровой гряды. На продольном профиле Ушицы выделяется Зиньковская относительная деформация, ограниченная двумя разломами, вызвавшая изменение уклонов русла от 127,0 до 54,5 см/км (выше деформации) и от 1777,7 до 155,0 см/км (ниже деформации) [5].

1.2 Климат

Орографическая неоднородность исследуемой территории во многом определяет большое разнообразие климатических условий. Особенно заметна в этом плане роль Карпатских гор. Они выступают аккумуляторами влаги, влияют на циркуляционное распределение воздушных масс — антициклонов и циклонов, теплых и холодных фронтов. С воздушными массами связаны режимы тепла и осадков, которые вызывают чередование засух и дождевых периодов и

сопровождаются явлениями пересыхания водотоков или бурными паводками и наводнениями, повышением или понижением уровней грунтовых вод, развитием эрозионно-аккумулятивных и селевых процессов и других явлений.

Особенности атмосферной циркуляции. Циркуляционные процессы над исследуемым регионом, занимающим на Европейском материке срединное положение, довольно сложные и разнообразные (по материалам сайта Львовского университета [6]). В средних слоях тропосферы здесь преобладает западный перенос воздушных масс. Режим циркуляции в нижних слоях тропосферы формируется под влиянием основных барических центров действия - Азорского максимума, Исландской и Средиземноморской областей пониженного давления. Общая картина атмосферной циркуляции резко меняется под действием сложных орографических условий.

Барический и ветровой режим. В холодный период (с октября по май) территорию Днестра захватывает мощный отрог Сибирского антициклона. Украинские Карпаты попадают чаще всего в северную часть антициклонов, поэтому здесь преобладает западный и юго-западный перенос. В теплый период года горы захватывает отрог Азорского максимума. Сопредельные области пониженного давления - Исландская и Средиземноморская - выражены в настоящее время слабее. Преобладающим является западный и северо-западный перенос воздушных масс. Таким образом, Карпаты на протяжении года находятся в полосе повышенного давления. Гребень этой полосы О. И. Воейков назвал "большой осью континента". На протяжении года в Карпатах преобладает антициклональная циркуляция. Здесь скрещиваются пути разных антициклонов. Зимой властвует восточносибирский антициклон, а летом - западный Азорский антициклон. Кроме того, наблюдаются вторжения северных арктических антициклонов. Антициклоны приносят континентальный воздух, поэтому погода в это время стоит безоблачная, ясная, тихая, солнечная. Зимой происходит резкое похолодание, весной и осенью - заморозки. Летом и весной интенсивно развиваются циклональные процессы. Зимой их количество уменьшается [6].

Непосредственно через Карпаты проходят южные средиземноморские циклоны, которые особенно активны зимой. В теплый период года растет повторяемость западных и северо-западных атлантических циклонов. В этот же время над горами формируются и местные серии циклонов. Циклоны приносят преимущественно морской воздух. Вторжение их вызывает резкие изменения погоды. Небо покрывают низкие тучи, дуют сильные ветра, зимой бывают частые густые снегопады и оттепели, летом – сильные дожди и грозы. Преобладают западные ветра. Особенно часто на исследуемую территорию заходит морской воздух умеренных широт, который формируется в умеренных и северных районах Атлантики. К бассейну Днестра он подходит мало трансформированным: очень насыщенный влагой, относительно теплый зимой и прохладный летом. Этот воздух приносит с собой прохладную погоду летом с частыми ливнями и бурями, а зимой вызывает потепление, оттепели и снегопады.

Большое распространение, особенно летом и весной, приобретает континентальный воздух умеренных широт, который поступает с восточными ветрами из центральных и южных районов Русской равнины. Этот воздух сухой, очень нагретый летом и охлажденный зимой. Из районов Средиземного моря в юго-западных потоках поступает морской тропический воздух, особенно часто осенью, а также весной и летом. Он приносит большое количество влаги, а осенью - возвращение теплой погоды с ливнями. Континентальный тропический воздух из районов Северной Африки поступает летом и весной. Он имеет высокие температуры и низкую влажность. При его вторжении стоит сухая, жаркая погода.

Иногда в зимние и весенние периоды из районов Баренцового моря далеко на юг прорываются волны холодного арктического воздуха, что вызывает резкие похолодания, а весной - заморозки. Таким образом, над исследуемым регионом взаимодействуют разные по своим свойствам воздушные массы, результатом чего является резкая активизация здесь циклонической деятельности.

Общая картина развития циркуляционных процессов значительно меняется и усложняется влиянием Карпатской горной системы, которая образует особую местную циркуляцию и свой резко дифференцированный климат. Влияние гор разнообразно. Прежде всего, горный барьер задерживает воздушные массы и меняет направление их движения. Большое значение при этом имеет ориентация орографических элементов и степень расчленения поверхности.

Западные, атлантические, воздушные массы движутся параллельно, вдоль горной системы, почти не задерживаясь ею. Юго-западные средиземноморские и северо-восточные арктические и континентальные массы воздуха, наоборот, движутся перпендикулярно расположению гор. При этом горный барьер имеет очень сильное влияние. Волны холодного северного воздуха лишь изредка прорываются в Закарпатье, вследствие чего зима там мягкая.

Средиземноморские циклоны, "ударяясь" о горный барьер, оставляют значительную часть своей влаги на его юго-западных склонах. Северо-восточные склоны получают влаги меньше. Интенсивная расчлененность Карпат речными долинами предопределяет развитие местной горно-долинной циркуляции. Долины принимают ветра разных румбов, меняют и подчиняют их своему направлению. Поэтому ветра в Карпатах могут иметь разные направления. В некоторых случаях они отображают ориентацию долин. Горно-долинные ветра летом имеют суточную периодичность. Днем они дуют вверх по долине, забирая с собой большое количество влаги. Поднимаясь, воздушные массы охлаждаются, влага конденсируется, образуя тучи, и во вторую половину дня выпадает дождь. Местные ветра способствуют повышению облачности и влажности воздушных масс. Зимой котловины в горах и узкие речные долины заполняются холодным плотным воздухом [6].

Характеристика основных метеорологических компонентов Украинских Карпат. Правобережные притоки Днестра протекают по горному краю Украинских Карпат. Этот край делится на область Предкарпатской

возвышенности, область внешних Карпат и верхнюю водораздельную область. Согласно схеме В. П. Алисова, Украинские Карпаты относятся к области континентально-европейского климата, основные черты которого определяются преобладанием атлантических и трансформированных континентальных воздушных масс. М. С. Андрианов [7] определяет климат Карпат как умеренно-континентальный с чрезмерным и достаточным увлажнением, неустойчивой весной, нежарким летом, теплой осенью и мягкой зимой.

От Предкарпатской равнины Карпаты отделяются годовой изотермой $6,5^{\circ}$, а от Закарпатской низменности 9° и в обоих случаях – январской изотермой -5° и июльской $+18^{\circ}\text{C}$. Среднегодовые температуры снижаются в Карпатах по направлению от периферии к осевым хребтам. Самые низкие температуры отмечены в высокогорных местностях. Наивысшие летние температуры отмечены в юго-восточной части, находящейся под влиянием воздушных масс, идущих с юго-востока Украины, и в юго-западной, испытывающей отепляющее влияние воздушных масс Большой Венгерской низменности. Годичные амплитуды температур достигают в среднем $20-25^{\circ}$, а среднесуточные – $15-20^{\circ}\text{C}$.

На юго-западном макросклоне высотные температурные градиенты всегда больше, чем на северо-восточном, причем годовая их разница составляет $0,31^{\circ}$ на 100 м поднятия. На северо-восточном склоне температурные условия более выравненные, т. е. с поднятием над уровнем моря температура снижается медленнее. Проявление барьерного эффекта видно также из сравнения радиационного баланса: в Предкарпатье он равен $2100 \text{ кДж/год} \cdot \text{м}^2$ [8].

Вертикальный градиент температуры увеличивается в Карпатах при переходе от холодного периода года к лету и от высших гипсометрических уровней к низшим. В январе на высоте 500–600 м он равен $0,45^{\circ}$, а на высоте 1100–1200 м – $0,3^{\circ}$; в апреле на тех же высотах – соответственно $0,70$ и $0,65^{\circ}$, в июле – $0,65$ и $0,30^{\circ}$; в октябре – $0,50$ и $0,40^{\circ}$ [9]. В зимний период, таким образом, разница в температурах на различных высотных уровнях несколько уменьшается, а климат с увеличением высоты становится менее континентальным. Об этом же свидетельствует снижение годовых колебаний температуры от $22-23^{\circ}$ в предгорьях до $17-20^{\circ}$ в горах. Утверждение о существовании в Карпатах температурных инверсий [7, 10, 11] имеет отношение, очевидно, лишь к зимнему периоду [12]. Многолетние исследования [9] свидетельствуют об отсутствии здесь стойких круглогодичных аномалий температуры.

Наиболее холодные районы Карпат отличаются, как правило, и наибольшим количеством атмосферных осадков, а теплые – оказываются сухими. К первым относится центральная часть северо-восточного макросклона, охватывающая бассейны Свищи, Ломницы, Быстриц Солотвинской и Надворнянской, ко вторым – реки бассейна Прута (р.Сирет и р.Сучава).

Карпаты являются регионом с достаточным и чрезмерным атмосферным увлажнением. Около 80 % общего количества осадков приходится на летнее время, максимум их при этом наблюдается на сгибе водораздельных хребтов

Горган, Свидовца и Черногоры и в некоторые годы на Полонинско-Черногорском хребте доходит до 1400–1500 мм. Значительная часть осадков выпадает в виде ливней с сильными грозами, но более типичны обложные морозящие дожди. Особенно дождливое лето наблюдается на полонинах, где из каждых трех дней – два бывают с дождем. Распределение среднегодового количества осадков в бассейне верхнего Днестра приведено на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Среднегодовое количество осадков в бассейне Днестра [3].

Зимние осадки выпадают преимущественно в виде снега, реже в виде дождя. Устойчивый снежный покров в низкогорьях держится обычно с начала декабря до конца марта. В высокогорье он устанавливается в октябре и удерживается до конца апреля – середины мая. Мощность снежного покрова больше на юго-западных склонах хребтов и нарастает по мере увеличения абсолютной высоты до 1000–1200 м, после которой изменяется мало. Над верхней границей леса она достигает 1 м, а в отдельные годы – 2–3 м. На гребнях хребтов и на наветренных склонах безлесных вершин после оттепелей и сильных ветров снежного покрова не бывает. Основная масса снега собирается на северо-восточных пригребневых склонах и водосборных воронках в виде навесов и карнизов. Они дают начало лавинам, уничтожающим лесной покров и формирующим механическую границу леса [11].

В тесной зависимости от температурного режима и количества осадков находится влажность воздуха. Среднегодовая относительная влажность воздуха колеблется в Карпатах в пределах 50–70 % в лесных поясах и 70–80 % в высокогорье.

Зима (период со среднесуточными температурами ниже 0°) в горах длится от 3,5–4 месяца на высоте 850–1000 м до 5 месяцев на высших гипсометрических уровнях. Зимний сезон характеризуется частыми оттепелями, во время которых даже в январе температура днем может превышать +10°. Чаще всего в зимние

оттепели температура колеблется от 0 до +5°. Промерзание почвы очень кратковременно или вообще не наблюдается. Абсолютные минимумы температур в горных долинах доходят до -37° и даже -42 °С (метеостанция Славское). Это случается 3–4 раза в десятилетие, а в предгорных долинах – менее 1 раза в десятилетие. Обычное снижение температуры наблюдается в пределах 10–14° мороза, а на больших высотах – до -20°. Наиболее холодный месяц – январь.

Весна в Карпатах длительная, затяжная (от 80 до 120 дней), с резкими колебаниями температуры. На высоте 1200–1300 м заморозки отмечаются еще в июне, а в марте – апреле теплые дождливые дни часто сменяются морозными со снегом. На каждые 100 м высоты начало весны запаздывает на 2 дня, а конец – на 8 дней. На зимние и весенние месяцы приходятся наибольшие скорости ветра [12].

Лето (период со среднесуточной температурой выше +15°) длится в горах 1–2,5 мес. На высоте более 900–1000 м нет устойчивого периода с температурой выше +15°. Изменения температур с увеличением абсолютной высоты летом происходят резче, чем в остальные времена года. Максимальные летние температуры достигают 30°, но наряду с этим в горах нередки похолодания и заморозки (17.06 1977 г.). На каждые 100 м высоты лето запаздывает на 8–9 дней и заканчивается на 5–6 дней раньше. Суточное количество осадков может достигать иногда 200–300 мм, а среднее количество обильных осадков составляет 40–50 мм.

Осень в Карпатах длится 3–3,5 мес. С поднятием на каждые 100 м она наступает на 5–6 дней раньше и заканчивается на 2–3 дня позднее. В целом осень теплая и более сухая, чем лето, и с более постоянным и плавным ходом температур, чем весна. Заметный переход к зиме происходит в октябре – ноябре, первые заморозки наблюдаются в августе – сентябре.

Оценивая климатические ресурсы Украинских Карпат, необходимо отметить, что в целом для растительного и животного мира они благоприятны. Режимы атмосферного и почвенного увлажнения не являются лимитирующими для растительности. Несмотря на значительное количество осадков, из-за высокого коэффициента стока реальная влажность почв избыточна лишь на днищах оврагов, склоновых ступенях и речных террасах. На южных и юго-западных крутых и каменистых склонах иногда имеет место даже недостаточное увлажнение [11, 12].

Климатические условия левобережья определяются, прежде всего, довольно высоким притоком солнечного тепла. Суммарная радиация за год составляет 4200–4600 кДж/м². Однако, значительная часть полученного тепла тратится на испарение. Именно различие между притоком радиационного тепла и затратами на испарение в области «Расточье и Ополье» (около 1500 кДж/м²) и на Приднестровско-Восточноподольской возвышенности (около 1200 кДж/м²) являются одной из главных предпосылок пространственной дифференциации температурного режима [11].

Средние температуры января меняются от -4°C на западе до -6°C на востоке, средние температуры июля - соответственно от 18°C до $21-22^{\circ}\text{C}$. В восточном направлении возрастает период с температурами выше 10°C и уменьшается продолжительность безморозного периода (на западе - 180-190, а на юго-востоке - 140-150 дней за год). Вторым фактором пространственной дифференциации климатических условий в пределах левобережья Днестра выступает распределение осадков, обусловленное трансформацией воздушных масс при преимущественно западном (атлантическом) перемещении воздуха: если в западной части лесостепи в среднем выпадает 500-600 мм, то на юго-востоке - лишь 300-400 мм. При этом характерным признаком климата здесь выступает нестабильность увлажнения - более влажные года чередуются с засушливыми, а восточная часть, к тому же, часто испытывает губительное влияние суховея (здесь каждый год наблюдается до 12 дней с суховеями). В юго-восточном направлении левобережья признаки континентальности климата усиливаются.

Микроклимат регионов формируется на фоне общих климатических условий под влиянием особенностей рельефа Подольского и Толтрового кряжей. Особенности орографии (гряда невысоких гор, поднимаясь на 30-50 м над окружающей средой и достигая абсолютных высот 350-400 м), с северо-запада на юго-восток 90- километровым валом защищает регион среднего Приднестровье от холодных северных ветров. Особые микроклиматические условия определяют количество осадков и температурный режим, который способствует произрастанию лесов. Защищая южную часть Хмельницкой области от северных и северо-восточных ветров, Толтры содействуют более мягкому термическому режиму "теплого" Подолья [10, 12]. Средняя температура умеренного сезона здесь выше, чем в центральной Подолии на $0,8^{\circ}\text{C}$, а его продолжительность длиннее на 10 дней. Особенно теплый микроклимат сформировался в долине реки Днестр и устьевых участках долин его левых притоков.

Ледостав на притоках Днестра начинается во второй половине декабря. Самая большая толщина льда достигает 30-40 см. Переход от зимнего режима погоды к весеннему происходит в середине марта, в южных районах - на 2-3 дня раньше, когда среднесуточная температура воздуха переходит через 0° к более высоким значениям [10]. Обычно в отдельные года бывают значительные отклонения в ту или другую сторону. Весна в среднем длится 2-2,5 месяца. Продолжительность периода с температурой выше 0° составляет 257-265 суток. Средняя дата последних заморозков весной приходится на 19-22 апреля. В апреле в среднем зарегистрировано 2-5 дней с суховеями. За начало летнего сезона принята дата перехода среднесуточной температуры воздуха через 15° . Согласно данным многолетних наблюдений лето наступает в конце мая и длится до первой декады сентября. Лето на левобережье Днестра умеренно теплое, лишь в отдельные дни среднесуточная температура превышает 20°C . Таких дней за летний период бывает мало: в среднем 23 на севере и до 36 дней на юго-востоке. В теплые года в южных районах насчитывается 65-70 таких дней, но это бывает

один раз в 25 лет. Характерной особенностью летнего сезона территории является то, что на смену теплой погоде и преимущественно сухой, часто приходят периоды, иногда продолжительностью до двух недель, с холодной (около 10°C) дождливой погодой. Часто это бывает в конце июня и первой декаде июля. Осадки летом носят преимущественно ливневой характер. Их количество по сравнению с зимними месяцами увеличивается втрое. Довольно часто ливни сопровождаются грозами, спутником которых является град. Частые сильные летние ливни обуславливают водную эрозию грунтов, причиняют сельскому хозяйству значительные убытки.

Началом осеннего сезона принято считать переход среднесуточной температуры воздуха через +10 °C к более низким температурам. Теплый предосенний период длится 24-25 дней, среднесуточная температура воздуха находится в пределах 10-15 °C.

1.3 Гидрогеология

В соответствии с гидрогеологическим районированием Украины, предложенным Ж.С. Камзист и О.Л. Шевченко [13], территорию бассейна Верхнего и Среднего Днестра можно разделить на Карпатскую гидрогеологическую область и Волыно-Подольский артезианский бассейн пластовых вод.

По геоструктурным признакам с учетом литологических особенностей пород и физико-географических условий территории, которые определяют условия формирования подземных вод, пополнение их запасов, циркуляцию и их химический состав, в Украинских Карпатах выделяется три гидрогеологических района второго порядка: Предкарпатский артезианский бассейн, гидрогеологический район Горноскладчатых – флишовых (флиш - мощная серия морских осадочных горных пород) Карпат и Закарпатский артезианский бассейн [13].

Предкарпатский артезианский бассейн. Он расположен в пределах Предкарпатского передового прогиба, границей которого на юго-западе является контур распространения пород Береговой скибы Карпат, а на северо-востоке – юго-западная окраина Волыно-Подольской плиты. В целом район бедный на подземные воды пригодные для питьевого и технического использования. Наиболее надежным источником водоснабжения могут служить воды аллювиальных отложений, развитые в долинах многочисленных рек Предкарпаття. Перспективы использования вод нижних водоносных горизонтов разные для разных частей бассейна, поэтому здесь выделяется два района третьего порядка: открытая часть Предкарпатского артезианского бассейна и закрытая часть бассейна. Граница между ними проходит по линии надвижки Скибовых Карпат на Предкарпатский прогиб. В закрытой части бассейна в соленосных отложениях миоцена находятся ценные минеральные воды, на базе которых функционируют большие курорты «Трускавец» и «Моршин».

Отличительная особенность Предкарпатского артезианского бассейна состоит в высокой минерализации подземных вод, которые формируются не только на больших глубинах, в зоне затрудненного водообмена, но и близ поверхности, которая связана с выщелачиванием солей из пород. Для бассейна характерно нарастание мощности кайнозойских отложений до тысячи метров в сторону горного сооружения.

На глубинах от 450 до 2700 м раскрываются подземные воды спорадического (спорадического - единичного, случайного) распространения, связанные с пластами и линзами песчаников, алевролитов и известняков, которые залегают в толщах водоупорных юрских аргиллитов. Обводнены также прослойки и линзы песчаников и алевролитов в толще отложения палеозоя и стрыйской свиты (свита – набор пластов горных пород, объединенных спецификой состава) [14]. В Предкарпатском бассейне по геологическому строению и характеру водообмена выделяются внутренняя и внешняя зоны. Граница между ними проходит по линии надвига Скибовых Карпат на Предкарпатский прогиб.

Гидрогеологический район Горноскладчатые Карпаты. Складчатые Карпаты бедны подземными водами. Основным источником водоснабжения являются воды поверхностных водотоков. По условиям залегания и пополнения подземных вод в четвертичных отложениях, а также в верхней зоне коренных пород, вся территория Карпатских горных сооружений в целом однотипная. Гидрогеологические условия отдельных участков отличаются по характеру глубинных вод, который определяется разными структурно-фациальными особенностями. В Складчатой области Карпат выделяется три района третьего порядка, которые совпадают с тремя геолого-тектоническими зонами: внешней антиклинальной, центральной синклинальной и внутренней антиклинальной [15].

Условия питания и дренирования подземных вод Карпатской гидрогеологической области. Область питания всех развитых водоносных горизонтов расположена в Горноскладчатой области Карпат, а в предгорных прогибах происходит аккумуляция инфильтрационных вод и формирования основных водоносных горизонтов.

В Скибовых Карпатах по условиям водообмена выделяются две зоны: активного и замедленного водообмена. Зона активного водообмена развита до глубин 400-500 м [13]. Гидравлической связи водоносных горизонтов содействует большое количество крупных и мелких тектонических нарушений. Подземные воды имеют значительные напоры, но водоносность пород большей частью небольшая. Дебиты источников составляют десятые и сотые доли литров за секунду. Глубже условия водообмена с поверхностью затрудняются, меняется химический состав и увеличивается минерализация вод.

Основное направление стока устойчивых водоносных горизонтов - юго-западный, к бассейну р. Тисы, и северо-восточный, в сторону долин Днестра и Прута. В особых гидродинамических условиях находятся водоносные горизонты, спорадично развитые среди глинистых отложений, которые заполняют Предкарпатский прогиб. Неглубокий врез эрозионной сети и

преобладание в разрезе водосодержащей толщи водоупорных глин обусловили довольно затрудненное питание и небольшую глубину современного дренирования, а значит, - малую мощность зоны интенсивного водообмена.

Водоносные горизонты в четвертичных отложениях находятся в сфере влияния физико-географических и климатических факторов. Пополнение их запасов происходит, в основном, за счет непосредственной инфильтрации атмосферных осадков, которая характеризуется наибольшей интенсивностью на площади предгорных прогибов с небольшими уклонами поверхности. В периоды паводков в толщу аллювиальных отложений поступают поверхностные воды, но это питание происходит в неширокой прирусловой полосе.

В Горноскладчатой области и предгорных частях прогибов запасы аллювиальных вод пополняются за счет перелива из водоносных горизонтов флишовых отложений в места прилегания к ним галечников. На отдельных участках питание водоносных горизонтов формируется за счет естественной разгрузки нижележащих водоносных горизонтов. Основная масса инфильтрационных вод аллювия дренируется речной и овражно-балочной сетью, и лишь незначительная часть их идет на пополнение запасов глубокозалегающих водоносных горизонтов.

В Предкарпатском бассейне питание водоносных горизонтов неогена происходит за счет атмосферных осадков, а также за счет переливания аллювиальных вод. Происходит это очень медленно и в незначительном количестве на участках выхода водосодержащих прослоек неогена под четвертичные отложения. Вследствие неглубокого вреза эрозионных систем зона современного дренирования подземных вод неогена, а значит и интенсивного водообмена, распространяется на небольшую глубину. Во Внешней зоне прогиба она составляет 100-150 м на северо-запад и во Внутренней зоне - до 100 м.

Основным источником современного пополнения подземных вод флишовых отложений горных Карпат является инфильтрация атмосферных осадков. Однако, вследствие резкой расчлененности рельефа и наличия глинистого слабопроникающего делювиального покрова, выпадающие осадки быстро стекают в долины рек, и лишь незначительная их часть внедряется по трещинам в флишовую толщу. Подземный сток составляет всего 5-8 % общего объема осадков [13]. Основная их масса по поверхности стекает в ручьи и реки и выносится за границы Карпат, чему содействует крутизна склонов и низкие фильтрационные свойства покровных суглинков. То есть условия для аккумуляции гравитационных вод в горных породах неблагоприятны. Питание формируется на водоразделах и склонах, а разгрузка - в долинах густо развитой сети рек и ручьев. Наиболее интенсивная циркуляция вод имеет место в верхней сильнотрещиноватой зоне. Отсюда по большим тектоническим трещинам подземные воды переходят в глубокие водоносные горизонты, которые залегают ниже уровня современной эрозии. Таким образом, основные ресурсы подземных вод формируются в зонах открытой трещиноватости - в приповерхностной зоне

экзогенной трещиноватости и зонах тектонической трещиноватости, а также, ограниченно, в аллювиальных отложениях рек.

Водоносные горизонты в меловых отложениях Предкарпатского прогиба находятся в условиях очень осложненного водообмена и запасы их не могут пополняться за счет инфильтрации атмосферных вод [15].

Водоносные горизонты в отложениях юры, триаса и палеозоя, которые залегают на больших глубинах, лишены в наше время возможности водообмена с поверхностью.

Волыно-Подольский артезианский бассейн расположен в северо-западной части Украины. Естественными границами бассейна служат на западе - Городоцкий разлом и контур развития сарматских отложений, на востоке - Украинский бассейн трещинных вод, на севере - Полеский вал, на юго-западе - Внешняя зона Предкарпатского прогиба, которая относится к складчатой области Карпат.

В пределах бассейна четко выделяются два гидрогеологических района второго порядка: Львовская палеозойская впадина вместе с Предкарпатским прогибом, которые охватывают центральную и западную части бассейна и Волыно-Подольская плита, занимающая восточную и северо-восточную части. Первый район характеризуется глубоким залеганием фундамента (5000 м) и мощной зоной соленых вод и рассолов. Львовская впадина является наиболее погруженной частью фундамента, которая характеризуется резким увеличением мощностей меловых и каменноугольных отложений.

Волыно-Подольская плита относится к области наклонного погружения кристаллического фундамента и характеризуется благоприятными условиями формирования ресурсов пресных подземных вод, зона которых на отдельных участках достигает 1000 м. В районах неглубокого залегания фундамента подземные воды разных горизонтов гидравлически связаны между собой и образуют, на отдельных участках, единый водоносный комплекс. В связи с этим, артезианский бассейн, приуроченный к Волыно-Подольской плите можно назвать инфильтрационным.

Северная половина Волыно-Подольского артезианского бассейна характеризуется четко выраженным инверсионным соотношением орографии и тектоники [16], и отличается резким несоответствием между его структурными границами и границами водообменных бассейнов морей и больших рек [17]. Именно в его границах расположены два региона (бассейны стока рек в моря) - Балтийский и Черноморский и пять провинций (водообменных бассейнов стока больших рек) - Висленская, Днепровская, Днестровская, Дунайская, Южнобугская.

Основная особенность поверхности Волыно-Подольского бассейна состоит в наличии сложного субширотного северного уступа Подольского поднятия, которое в качестве водораздела делит территорию на две области водосбора формирования поверхностных вод - северную и южную. В первом выдерживается главное направление стока рек на север (Западный Буг и притоки

Припяти: Турьи, Горыни и др.), во втором - на юг (Южный Буг, притоки р. Днестр).

По структурным и гидродинамическим особенностям в Волыно-Подольском артезианском бассейне можно выделить три водообменных бассейна: Волинский, Подольский и Буковинский [17]. Граница между первыми двумя проходит по водоразделу подземных вод, который совпадает с водоразделом между водосборными бассейнами рек Припять и Западный Буг, с одной стороны и р. Днестр - из другой. Граница между Подольским и Буковинским бассейнами проходят по водоразделу между бассейнами рек Днестр и Прут с учетом возможного смещения подземного водораздела на юг.

Большая глубина вреза долины Днестра в водоносные отложения (до 150-200 м) обусловила возникновение мощной депрессии уровневых поверхностей дренированных водоносных горизонтов зоны интенсивного водообмена. Многочисленные гидравлически раскрытые тектонические нарушения содействуют распространению дренирующего влияния реки на значительную глубину.

В Волинском водообменном бассейне глубина вреза речной сети, уклоны потоков и скорости движения подземных вод уменьшаются в северном направлении, на большей части площади отсутствуют миоценовые отложения, уклоны потоков и скорости движения подземных вод также уменьшаются в направлении на север [17, 18].

Буковинский водообменный бассейн расположен между прижатым к долине р. Днестр подземным водоразделом на севере и, структурной границей с Предкарпатским прогибом на юге. В связи с широким развитием в верхней части разреза миоценовых глин этот бассейн отличается наиболее неблагоприятными условиями питания и разгрузки подземных вод [18].

Условия питания и дренирование подземных вод Волыно-Подольского артезианского бассейна.

Отдельные части бассейна отличаются по характеру водосодержащих отложений, условиям питания, взаимосвязью и разгрузкой подземных вод всей толщи осадочных образований.

Восточная и северная части бассейна на протяжении почти всей истории его развития представляли собой стабильные области питания. Наличие выходов трещиноватых пород под водопроницаемые четвертичное и верхнемеловое отложения в северной части бассейна и непосредственно на поверхность в его южной (приднестровской) части, высокое гипсометрическое положение кровли этих пород обусловили здесь питание и накопление подземных вод. Отсутствие водоупоров привело к свободному поступлению вод в контактирующие толщи пород.

Особенности развития юго-западной, наиболее погруженной, части бассейна обусловили в ее границах нормальное для бассейнов платформенного типа залегание в виде этажей водоносных горизонтов с характерными для каждого из них условиями распространения, питания, циркуляции и потока подземных вод.

Для центральной, переходной части бассейна присущи особые условия питания и разгрузки подземных вод, которые определяются условиями залегания осадочного комплекса пород и наличием мощных верхнемеловых отложений.

Условия активного водообмена подземных вод в Волыно-Подольском бассейне в значительной мере определяют верхнемеловые отложения. В краевых его частях мощность верхнего мела небольшая (10-40 м в восточной части), к границам Галицко-Волинской впадины она возрастает до 50-70 м, превышая эту величину лишь на отдельных участках. В северной части бассейна мощность толщи верхнего мела меняется от 50 до 130 м, достигая лишь в его крайний северной части 280 м [13].

В пределах Волыно-Подольского артезианского бассейна можно выделить следующие гидродинамические зоны: 1) интенсивного водообмена; 2) значительного водообмена; 3) затрудненного водообмена; 4) очень затрудненного водообмена.

Зона интенсивного водообмена ограничивается глубиной развития трещиноватости пород, которая составляет 100-110 м в западной и центральной частях бассейна и 300-350 м - в северо-восточной [19]. Эта зона охватывает всю толщу осадочных образований, вплоть до кристаллического фундамента. То есть, на большей части бассейна существует гидравлическая связь между верхнемеловыми и нижезалегающими палеозойскими образованиями. Постепенно увеличиваясь в мощности (до 850 м и больше), толща мела в западной части бассейна приобретает характер водоупорного экрана, который надежно отделяет нижний слой подземных вод в образованиях палеозоя от верхнего слоя - в трещиноватой зоне верхнего мела и неогеновых отложений.

Вторая зона охватывает юрские и каменноугольные отложения. Она отделена от первой практически водоупорной толщей верхнего мела. Однако здесь, судя по коэффициентам метаморфизации вод, происходит значительный водообмен, который обуславливает выщелачивание солей морского генезиса.

Зоны затрудненного и очень затрудненного водообмена, развитые лишь в наиболее погруженной юго-западной части артезианского бассейна, охватывают образования девона, силура и все более давние осадочные отложения. Граница между этими зонами находится на глубине около 2000 м. Здесь существуют благоприятные условия для формирования и сохранения нефтяных и газовых месторождений.

1.4 Почвенный и растительный покров бассейна.

Грунтовый покров. География распространения разных типов грунтов в пределах бассейна Днестра тесно связана с формами мезорельефа. Здесь выделяют равнинную и горную территории, которые существенно отличаются по морфологии и влиянию на распространение и формирование грунтового покрова. В первую входит Подольская и Предкарпатская возвышенности, во

второй выделяют: лесолуговую гряду Предкарпатья и лесолуговую гряду Карпат с высотами 400 – 1300 м [20, 21].

Почвы Подольской возвышенности относятся к зоне Лесостепи (в пределах бассейна Днестра - к Западной Лесостепи).

К почвообразующим породам в Лесостепной зоне относятся четвертичные отложения и выходящие на поверхность продукты выветривания меловых мергелей, третичных известняков, песчаников, третичные пески и плотные балтские глины, а также продукты выветривания магматических пород.

Из четвертичных отложений наиболее распространены лёссы и лёссовидные породы различного генезиса, механического состава и разной степени карбонатности.

Лёссы залегают двумя—тремя ярусами на водно-ледниковых и лёссовых равнинах и одним ярусом незначительной мощности, а иногда и вовсе отсутствуют на эрозионно-денудационных равнинах. По механическому составу они бывают пылевато-легкосуглинистые (главным образом на водно-ледниковых лёссовых равнинах), пылевато-средне и даже легкие глины на остальных равнинах.

Аллювиальные и делювиальные отложения, в пределах левобережных притоков Днестра, часто выходят на поверхность. На них сформировались следующие типы грунтов: 1) черноземы типичные, которые отличаются значительной мощностью, хорошей гумусностью; 2) черноземы оподзоленные и темно-серые оподзоленные грунты на неоднородных почвообразующих породах; 3) серые-лесные; 4) светло-серые лесные и дерново-подзолистые на разных породах эродированные и несмытые; 5) черноземы карбонатные на плотных породах; 6) луговые грунты; 7) болотные и торфowo-болотные грунты [21, 22].

Черноземы разных типов распространены на слаборасчлененных водоразделах. Карбонатные черноземы приурочены к высоким лёссовым террасам. Черноземы оподзоленные и темно-серые оподзоленные грунты присущи расчлененным возвышенностям, причем черноземы занимают верхние, более пологие, участки склонов и междуречий, а темно-серые оподзоленные – более низкие элементы рельефа. Серые лесные почвы распространены в местах с сильно расчлененным рельефом [20, 21, 22]. Они расположены на средних частях склонов выше темно-серых оподзоленных почв. Светло-серые оподзоленные и дерново-подзолистые грунты близки по характеру и генезису. Первые приурочены к верхним пологим склонам денудационных равнин. Большинство из них поверхностно оглеены, имеет пылевато-легкосуглинистый гранулометрический состав, бедный на перегной и обменные основы. Поверхностное оглеение объясняется их незначительной водопроницаемостью. Эти грунты эрозионно неустойчивые.

Почти на всей территории Подольской возвышенности черноземы оподзоленные и темно-серые оподзоленные почвы обогащены кремнекислотой и отличаются более светлым цветом, несмотря на большее содержание гумуса, по сравнению с более глубокими горизонтами.

Реградированные почвы (сильно окультуренные земледелием оподзоленные почвы) распространены преимущественно в Винницкой области, где коэффициент увлажнения значительно меньше и менее выражена промываемость почв. Из реградированных почв здесь выявлены черноземы, темно-серые и серые оподзоленные почвы. Отличительным признаком реградированных почв является вторичное окарбоначивание иллювиальных горизонтов. Реградированные почвы приурочены к склонам, подвержены засухе и сильно перерыты.

Почвы Горнокарпатской системы вертикальных зон. Разделение Горнокарпатской системы на вертикальные почвенные зоны определяется тектоническим строением этой системы, в состав которой входят:

- 1) Закарпатская впадина, на месте которой образовались почвенные зоны Закарпатской низины и Закарпатского предгорья;
- 2) Карпатский передовой прогиб, в пределах которого образовалась почвенная зона Предкарпатья;
- 3) складчатая область Карпат и вулканические горы Карпат, прилегающие к Закарпатской впадине [21, 22].

На месте этих горных сооружений образовались лесолуговая и полонинная зоны Карпат. Все эти зоны связаны неразрывно единством происхождения и дальнейшей эволюцией, но каждая из них характеризуется своими особенностями геоморфологического и геологического строения, составом почвообразующих пород, климатом, растительностью и преобладающим типом почвы.

Почвообразующими породами в горнокарпатской системе являются четвертичные отложения и продукты выветривания третичных осадочных и вулканических пород. К ним относятся отложения: а) ледниковые и связанные с ними флювиогляциальные; б) аллювиальные и аллювиально-озерные; в) пролювиальные; г) элювиальные; д) осыпные и обвальные; е) оползневые; ж) делювиальные; з) элювиально-делювиальные. Большое значение имеют аллювиальные отложения карпатской гальки на древних и современных террасах, в составе природного дренажа они обуславливают образование глубоких дерновых оподзоленных почв. Под аллювиальными отложениями толщиной 4—5 м на пойменных террасах притоков Днестра существуют погребенные торфяники.

К грунтам Карпат относят бурые лесные и бурые лесные оподзоленные, буроземы-глеевые, дерново-буроземные, лугово-буроземные, горные подзолистые, горные луговые и торфо-болотные. В Предкарпатье распространены буроземы-подзолистые, в том числе оглеенные; дерновые оподзолистые разной степени оглеения; дерново-подзолистые поверхностно и глубоко оглеенные; дерново лугово-болотные и торфо-болотные [20, 21, 22].

На полонинах распространены дерново-буроземные почвы с неглубоким темным дерновым горизонтом (15—20 см). Здесь они бывают часто поверхностно оглеены под травянистым растением — белоусом, во многих местах — каменистые.

Горно-луговые почвы распространены на полонинах в широких понижениях под луговой травянистой растительностью с присутствием черники, брусники. Имеют темно-бурый гумусовый горизонт до глубины 40—42 см, глубже светло-бурый до 95 см. Горно-луговые и дерново-буроземные почвы полонии содержат перегноя 10—13% и больше.

Горные почвы на полонинах состоят из горизонта торфа глубиной 10—20 см на щебнистом элювии коренной породы (продукты выветривания подстилающих пород, оставшиеся на месте образования). Горные торфяники образовались на плотных водоупорных коренных породах, на плоских бессточных вершинах.

Бурые лесные почвы Карпат приурочены к хорошо дренированным склонам разной крутизны, занятыми древесной растительностью. С увеличением абсолютной высоты их гранулометрический состав становится более легким, они имеют разную мощность профиля. Большинство свойств этих грунтов обусловлено промывным режимом и влиянием древесной растительности. Проведенные почвоведомы исследования в пределах Верхнеднестрских Бескидов [23] показали, что бурым горно-лесным грунтам под лесной растительностью присуще очень высокое содержимое гумуса (11,6-15,1%), что втрое превышает его содержимое в пахотных землях (4,2%). Такое различие связано со значительным снижением поступления органического вещества в грунт и усилением микробной деятельности на пахотных землях (относительно лесных) [23]. При вырубке лесов и развитии процесса оглеения формируются буроземно-глеевые грунты. На нижних частях склонов и плоских водоразделах распространены довольно плодородные дерново-буроземные грунты. Ценными для сельскохозяйственного освоения являются дерново-буроземные и лугово-буроземные грунты высоких пойм и надпойменных террас [20, 21, 22].

Горно-луговые и оторфованные грунты приурочены к долинам рек, горных долин и понижений, занятых луговой растительностью и зарослями черники. Торфоболотные почвы особенно распространены в Предкарпатье на поймах Днестра и его притоков. В периферийной части пойм залегают лугово-болотные глубоко- и мелкопогребенные торфяно-глеевые почвы, в центральной части поймы распространены низинные торфяники.

С точки зрения влияния эрозии на грунты как одного из факторов современного рельефообразования в бассейновых системах, главную роль играют механическая стойкость и водопроницаемость грунтов. Чем менее структурны грунты, тем больше смыв. В горах грунтовый покров меняется поясно - с повышением высоты. В связи с этим различаются и условия склонового стока на разных высотах. Наиболее стойкими к эрозии грунтами являются черноземы, которые имеют сравнительно крепкую структуру и значительную водопроницаемость [20, 21, 22]. Меньшей стойкостью к эрозии характеризуются подзолистые грунты. Зона развития менее стойких к смыву грунтов (подзолистых) отвечает области доминирования сравнительно стойких к эрозии материнских пород. И, наоборот, грунты, относительно стойкие к эрозии, образованы большей частью на породах, которые легко размываются.

Растительность. В формировании флоры бассейновых систем верхнего и среднего Днестра принимали участие северные и юго-восточные виды, которые пришли сюда в послеледниковый период с далекого севера и северо-востока, а также горные виды, которые переместились на восток с гор Средней Европы [22]. Как отмечает ряд авторов [23, 24], в доагрокультурное время большая часть территории бассейна была покрыта лесами. В течение исторического периода освоения территорий Верхнего и Среднего Днестра самые большие изменения испытали лесные ландшафты предгорий. Вследствие огненно-подсечной системы хозяйствования возникали большие лесные пожары. Это привело, прежде всего, к уменьшению в составе древостоев хвойных лесных видов, таких как пихта, сосна, можжевельник, а также твердолиственных, которые имеют тяжелые и массивные семена – дуба, бука. Им на смену в группах, которые возникали на пожарищах, приходят породы, семена которых легче переносятся ветром на значительное расстояние – граб, клен, береза, осина, вяз и т.п. Сегодня на территории Верхнего и Среднего Днестра леса сохранились лишь на 35-40% площади, остальная ее часть освоена под пашню – 20 %, луга -20%, застройку, дороги, трасы электропередач –6%; редколесьем и кустарниками занято – 5% .

Лесная растительность на равнинной и предгорной частях бассейна Верхнего Днестра представлена видами широколиственных и смешанных лесов, такими как дуб обыкновенный, граб, реже сосна обыкновенная и бук. Дубовые и дубово-грабовые (вторичные) леса встречаются небольшими массивами в бассейнах реки Верещицы, в северной части Верхнеднестровской низменности, на междуречье Быстрицы-Тысменицы (рис. 1. 4). Буковые леса появляются в горной части бассейна на высоте 300-400 м над уровнем моря.



Рисунок 1.4 – Корни букового леса удерживают почву. Фото авторов

Наиболее распространена группа пихто-еловых формаций в пределах горной части Днестра. Чистые насаждения пихты обычно не являются естественными. Еловые леса образуют в горах верхний лесной пояс (900-1350м), опускаясь иногда до высоты 500 м. При этом на большей части занятой ими территории верхняя граница елового леса в Карпатах имеет антропогенное

происхождение [24]. Именно в Карпатах сосредоточено 20% всей площади Украины, покрытой лесами [25]. В карпатских лесах доминируют пихта (41% общего древостоя) и бук (35%), меньшее распространение имеют дуб (9%), ель (5%), граб (4%), а также широколиственные породы.

В высотном распределении растительности Карпат довольно выразительно прослеживается несколько поясов: предгорный дубовый (на высотах 400-700 м), низкогорный буковый (прослеживается на разных склонах от 500-700 до 1200-1450 м), верхний горный пихтовый (верхняя граница достигает 1350-1500 м), субальпийский кустарниково-луговой (распространенный на высотах 1200-1500 м, временами - 1650- 1850 м) и альпийский преимущественно травяной (имеет фрагментарное распространение на высотах свыше 1850 м).

Отдельно следует отметить приполонинные леса [26]. Они растут на высоте свыше 1000 м над уровнем моря в полосе чрезмерного увлажнения с суммой осадков 1400-1600 мм в год. Именно здесь создаются благоприятные условия для формирования паводков, селевых потоков, снеговых лавин, сильных воздушных течений. Приполонинные леса выполняют, прежде всего экологические функции и нуждаются в комплексной программе сохранения и постоянного использования. По данным исследователя В. Кричфалушия [26], в пределах бассейновых систем Карпатской части Днестра площадь этих лесов составляет лишь 0,99 тыс. га, что равно 1,6 % от всей площади лесных насаждений бассейна.

69% лесных площадей в Карпатской части бассейна Днестра относится к 2-й группе, и имеют преимущественно сырьевое значение. Остальные 31% - леса принадлежат к 1-й группе, которая играет природоохранную роль. На часть молодняков в 1-й группе лесов приходится 26%, а в 2-й группе почти половина — 48% [27]. Луговая растительность среди травяных формаций в пределах бассейновых систем Верхнего Днестра занимает господствующее место. В равнинной части бассейна больше пойменных и меньше низменных и межречных лугов. В предгорье и на склонах гор особенно распространены послелесные луга, а вершины гор покрыты лугами. Гидрологическая и гидроэкологическая роль луговых формаций несколько ниже, чем леса. Болотная растительность встречается в пределах Верхнеднестровской равнины и в долинах притоков Днестра.

Растительность регулирует плоскостной смыв, особенно при сомкнутом растительном покрове, который препятствует делювиальному перемещению материала. Лесная растительность содействует увеличению проницаемости грунтов за счет образования пустот в почве от отмерших корней деревьев, а наличие лесной подстилки обеспечивает быстрое просачивание воды. Поверхностные воды, которые формируются на безлесных и частично залесенных водосборах, имеют более высокую минерализацию, чем на водосборах, покрытых лесом [28]. В.В. Стецюк и Г.И. Рудько в своей работе «Экологическая геоморфология и охрана недр» [29] пишут о роли растительного покрова как геодинамическом факторе, который является относительно постоянным в пространстве и времени, имеет своеобразные геодинамические свойства. Развитие рельефа, по их мнению, является результатом борьбы между

стабильностью растений и мобильностью потоков вещества и энергии. Растительность с ее определенными механическими свойствами, выступает как фактор разрушения пород и одновременно с этим как аккумулятор влаги. Она является также фактором рассеяния поверхностного стока и концентрации энергии подземных водных потоков, имеет хорошо выраженную зависимость от литологического состава пород и уровня подземных вод и т.п. [30].

Значительная протяженность территории левобережья Днестра с севера на юг и с запада на восток обуславливает большое разнообразие природных условий и, следовательно, естественного растительного покрова. Причинами, вызывающими закономерную смену одних типов растительности другими в широтном направлении, являются климатические условия — соотношение ресурсов тепла и влаги. В зависимости от величины этого соотношения рассматриваемая территория располагается последовательно в широколиственно-лесной и лесостепной зонах.

Как отмечает Г. Щербань, за историческое время, лесистость зоны уменьшилась с 50 до 15% [25]. Большей частью лесные массивы встречаются в речных долинах и балках, в то время как водораздельные пространства преимущественно представляют собой распаханые степные ландшафты (типичная степная растительность сохранилась лишь в заповедных местах). Довольно распространена в лесостепной зоне и луговая растительность, представленная почти исключительно пойменными лугами.

Луга описываемой территории занимают приустьевую и отчасти центральную части пойм с дерновыми и луговыми почвами. Наиболее распространенными среди них являются формации лисохвоста лугового, овсяницы луговой, райграса высокого и душистого колоска.

Луга лисохвостника характерны для пойм всех рек. Особенно большие площади их сосредоточены в пойме верхнего Днестра. Травостой лисохвоста высокий (80—100 см), густой (90—100%). Кроме доминанта, в его состав входят двукисточник тростниковидный, осока стройная, мятлик болотный, калужница болотная, лютик ползучий и др.

Райграсники менее распространены, чем предыдущие. Особенно много их в пойме Гнилой Липы. Травостой их высокий (70—90 см), среднегустой (70—90%). Образует его райграс высокий с примесью ежи сборной, трищетинника лугового, овсяницы луговой, нивяника обыкновенного, клевера лугового, лядвенца рогатого и др. [25].

Болотистые луга приурочены к межгрядным понижениям притеррасной и отчасти центральной частей поймы, а также к старым руслам. На отдельных отрезках пойм, преимущественно в верхнем течении рассматриваемых рек, они могут занимать почти всю пойму. Почвы под этими лугами переувлажненные, болотные, поэтому выпас на них ведет к разрыву дернины. Наиболее распространенными среди болотных лугов являются формации двукисточника тростниковидного, осоки стройной и манника водяного.

1.5 Распределение карста по территории бассейна и его влияние на сток

Согласно определению «Википедии» **карст** (от нем. Karst, по названию известнякового плато в Словении) — совокупность процессов и явлений, связанных с деятельностью воды и выражающихся в растворении горных пород и образовании в них пустот, а также своеобразных форм рельефа, возникающих на местностях, сложенных сравнительно легко растворимыми в воде горными породами — гипсом, известняком и каменной солью.

Карст характеризуется комплексом поверхностных (воронки, карры, желоба, котловины, каверны и др.) и подземных (карстовые пещеры, галереи, полости, ходы) форм рельефа. Переходные между поверхностными и подземными формами являются карстовые колодцы, естественные туннели, шахты или провалы. Карстовые воронки или иные элементы поверхностного карста, через которые в карстовую систему уходят поверхностные воды, называются “поноры”.

Карст левобережья. Карстовые явления в горных и равнинных ландшафтах описываемой территории отличаются широким развитием на сравнительно больших площадях и размещением отдельных форм в эрозионной сети. От крупных и сложных карстовых котловин — поплав — до микрорельефа, вызванного трещиноватостью, пористостью и кавернозностью. Все многообразие карстовой морфологии подчеркивает важнейшую черту влияния карста на поверхностный сток — его постоянную готовность поглощать этот сток.

Крайняя неравномерность распространения карстовых явлений на огромных пространствах объясняется рядом причин. К их числу относятся прежде всего частая ограниченность размеров площадей выходов карстующихся пород на дневную поверхность или под маломощный слой рыхлых покровных отложений, местами значительное расчленение рельефа на этих выходах, быстрое увеличение мощностей некарстующихся покровных отложений при малой глубине эрозионных врезов.

Своеобразие гидрографии в карстовых районах Подолии, частые потери поверхностного стока, рост неудобных для сельскохозяйственного использования закарстованных территорий, наличие крупных карстовых пещер в Приднестровье, необходимость предохранения горных выработок от возможных прорывов карстовых вод.

Большинство карстовых районов располагается в лесостепной и частично в степной зонах. Здесь поверхностный сток в гидрографической сети постоянно, а в эрозионной периодически во время снеготаяния и дождевых паводков подпитывает в карбонатных и сульфатных толщах трещинно-карстовые воды. Минимальный сток на отдельных закарстованных водосборах в процессе подпитывания подземного стока может теряться, увеличивая тем самым продолжительность пересыхания рек даже в районах, достаточно обеспеченных подземным питанием. В соответствии с классификацией, приведенной в

“Ресурсах поверхностных вод СССР” [5] на рассматриваемой территории можно выделить следующие районы (рис. 1.5).

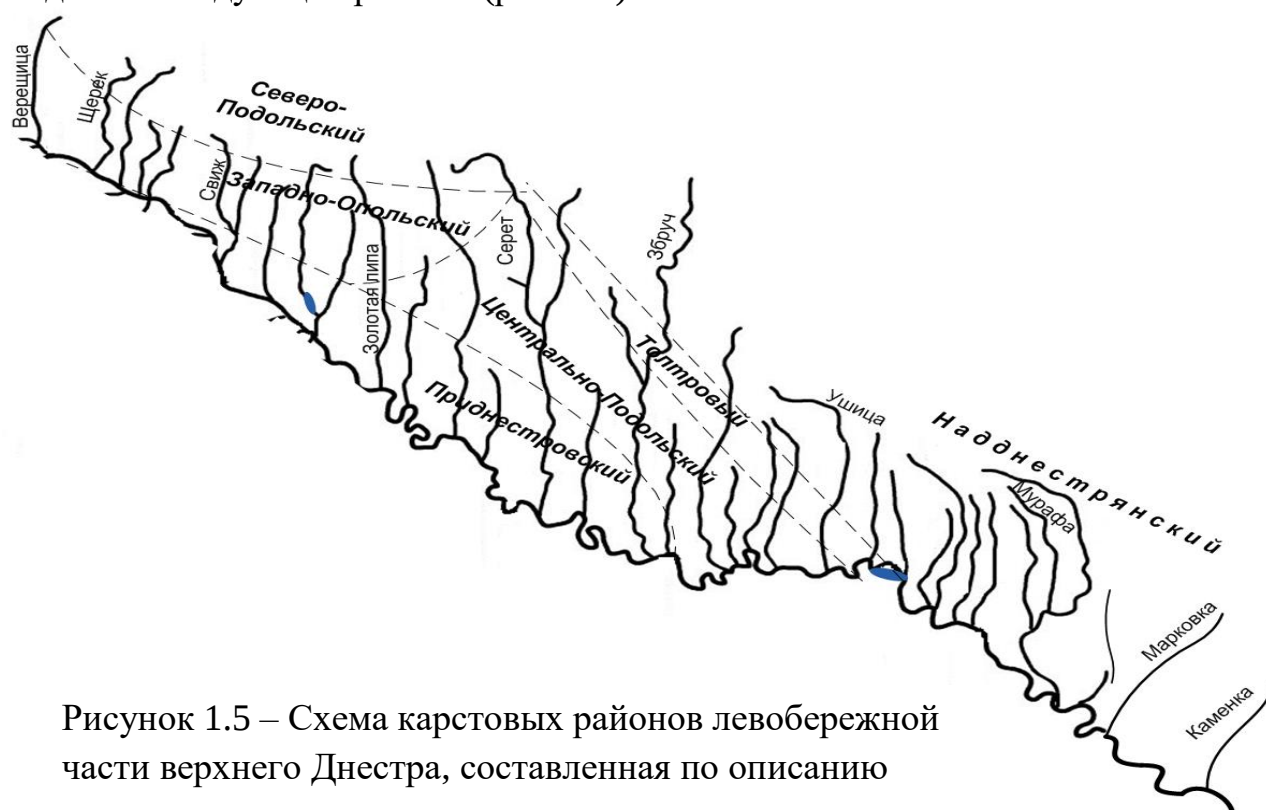


Рисунок 1.5 – Схема карстовых районов левобережной части верхнего Днестра, составленная по описанию

Северо-Подольский район располагается в зоне Днестровско-Бугско-Припятского водораздела. Местами карстующиеся отложения выходят на дневную поверхность, как в гидрографической сети, так и на возвышенных водораздельных участках Гологор и Вороняков вдоль северного края Подольской возвышенности. Неравномерно размытая и закарстованная поверхность меловых пород и избыточная обводненность зон тектонической трещиноватости дополняются в этом районе наличием многочисленных карстовых источников и существованием потоков, исчезающих в трещинных понорах (как в долине р. Серет).

Частичное поглощение, а иногда и подпитывание поверхностного стока на отдельных участках верховьев рек, врезанных в мело-мергельную толщу (верховья Збруча, Серета, Стрипы, Золотой Липы, Свиржа, Луча, Зубры, Щерека), дополняется аналогичными явлениями в известняках, во многих местах перекрывающих мел. Кроме этого, трещинно-карстовый сток в известняках часто следует вдоль понижений на поверхности мела и обеспечивает водой источники, выходящие либо на контакте этих толщ, либо подпитывающие делювий склонов.

Западно-Опольский район располагается частично в верховьях и главным образом в средних течениях рек Щерека, Зубры, Луги, Свиржа, Гнилой Липы, Золотой Липы, Коропца. Местами гидрографическая сеть вскрывает здесь толщу с белым мелом в основании. Менее глубоко врезанная эрозионная сеть зачастую располагается своими днищами в ратинских и литотамниевых известняках.

Холмистый рельеф местами террасированных междуречий обладает значительным расчленением. Поэтому выположенные поверхности имеют

незначительные площади и поверхностный карст наблюдается здесь только на небольших участках. В их числе, например, находится участок с воронками в литотамниевых известняках на правом берегу р. Свижа у с. Глибович, многочисленные конусообразные и блюдцеобразные воронки на плоских поверхностях местных водоразделов междуречья Нараевка—Золотая Липа и др.

Расчлененность рельефа уменьшает возможность развития крупных суходолов или замкнутых понижений. Тем не менее, потери поверхностного стока в гидрографической и эрозионной сети и в некоторой степени в карстовых микроводосборах определяются самими условиями выхода карстующихся пород на дневную поверхность. Подпитывание стока трещино-карстовыми водами имеет место в речных долинах, врезанных, в частности, в мело-мергельную толщу [5].

В работах УкрНИГМИ, проведенных в 60-х годах прошлого столетия, при анализе данных по стоку рек левобережья Днестра—от Верещицы до Золотой Липы — было установлено, что значение модуля минимального стока для Верещицы и Свижа в среднем в три раза меньше значений модулей для остальных рек [5]. На этом основании авторы допускали неоднородность обеспеченности стока подземным питанием, возрастающим в целом с запада на восток.

Центрально-Подольский район занимает обширную территорию равнинных плато Подолии, крайне слабо расчлененных древними ложбинами и вскрываемых все глубже современными долинами субмеридиональных левых притоков Днестра — Золотой Липы, Стрыпы, Серета и Збруча в их средних течениях.

Различные карстопроявления приурочены к древней гидрографической и современной эрозионной сети, а также к междуречьям и верховьям малых притоков рек разных порядков. При этом явления потерь поверхностного стока, а также подпитывания трещинно-карстовыми водами встречаются вдоль гидрографической и эрозионной сети в разных сочетаниях, до створов, где врез долин начинает углубляться в толщи некарстующихся отложений, залегающих под известняками. Отток вод, подпитываемых слабыми восходящими источниками, может носить постоянный или периодический характер.

Полевые гидрографо-карстологические обследования ряда водосборов в бассейне р. Серета, проведенные УкрНИГМИ и Чортковской ГС, подтверждают наличие естественной зарегулированности рек со снижением максимальных расходов, повышением стока в межень, увеличением времени прохождения паводков. Здесь обнаруживается несомненное влияние карста на режим уровней и расхода. Эти явления отражают влияние карстовой составляющей стока, которая равна 50—65% общего стока. Она определяет увеличение длительности весеннего половодья, снижение его максимальных расходов, уменьшение объема стока вдоль течения реки. Так, модули максимального стока на р. Серет в 2—3 раза меньше, а сток в межень в 2—5 раз больше, чем на реках в некарстовых районах. [31]. В верхней части водосбора р. Серет (Северо-Подольский карстовый район) до с. Городище модуль стока равен 6,0 л/сек км²,

в среднем течении (с. Городище — г. Чортков)—3,5 л/сек км² и в приустьевой части —достигает значения 1,59 л/сек км². Доля подземного стока для бассейнов рек Гнилой Липы, Золотой Липы, Стрипы, Серета, Збруча, Жванчика составляет 30 % от общего годового стока, [5, стр.22].

Приднестровский район охватывает устьевые участки рек Шерек, Зубр, Луг, Свирж, Гнилая Липа, Нараевка, Золотая Липа, Коропец, средние и нижние течения Стрипы, Серета, Ничлавы и устье Збруча.

В карстующиеся породы этого района поступают воды поверхностного стока гидрографической и эрозионной сети и воды атмосферных осадков, собирающиеся в микроводосборах карстовых форм.

Толтровый район хотя не благоприятствует широкому развитию карстовых микроводосборов, однако возможности поглощения транзитного стока вполне достаточны для обводнения зон трещиноватости и развитых вдоль них полостей. Последние могут быть сухими, как в карьере у с. Иваново на Серете, или обводненными, как в районе с. Гримайлово на западном склоне Луканской гряды.

Надднестрянский район охватывает бассейны левобережных притоков Днестра: Збруч, Жванчнк, Смотрич, Мукша, Ущица, Калюс, Батыг, Лядова, Немия, Мурафа, Русава, Марковка и Каменка. Верховья и частично средние течения этих рек вместе с эрозионной сетью избирательно вскрывают слоистую средне-сарматскую толщу ракушняковых и первично кавернозных известняков.

На водоразделах поверхностные карстовые явления не наблюдаются. В то же время об избирательном развитии трещинных полостей в отдельных пачках и пластах карбонатных пород свидетельствуют крупные источники напорных вод (Бездонный в с. Поскутинцы, источники у г. Мурафы и др.) и высокое содержание в водах многих из них бикарбоната кальция, который осаждается на выходах в виде мощных туфовых накоплений [32]. По мнению авторов этой работы, при входе речных долин и балок в карбонатную толщу расходы рек уменьшаются; однако после вскрытия ими подземных потоков трещинно-карстово-пластовых вод расходы рек в среднем течении заметно увеличиваются.

Анализ гидрологических данных позволил различным авторам [5, 31, 33] выявить несоответствие стока рек среднему зональному, зависящему от климатических условий лесостепной зоны. В соответствии с их данными модули стока Мурафы и Марковки почти вдвое превышают модули стока других рек района (соответственно 3,31 и 3,85 против 1,8—2,0 л/сек км²). Минимальные модули высоки на западе и востоке, но избирательно уменьшены у Жванчика и Мукши, что подчеркивает внутрибассейновые различия в условиях подземного питания. Высокие значения минимальных расходов в верховьях и среднем течении Марковки, в частности, позволяют предположить, что около 40% ее стока обеспечиваются притоком подземным вод. Для Каменки этот показатель

повышается до 50%, в связи с дренированием карстовых вод из пересекаемой ею известняковой гряды [5].

Карст речной сети Предкарпатья. Водосборные бассейны правобережных притоков Днестра сложены в основном из некарстовых пород [5, 31, 34]. Русла рек врезаны в глинистые, песчано-глинистые и песчаные породы. Почти все правобережные бассейны относятся к Прикарпатскому карстовому району, который располагается во внутренней зоне Предкарпатского прогиба. На этой сравнительно узкой полосе развиты соленосные отложения с линзами калийной и каменной соли. Выходы этих дислоцированных толщ у Стебника, Болехова, Долины, Межречья, а также в районе Калуша, Тростянца, Нижнего и Верхнего Струтина прикрыты угловатыми обломками песчаников и глин, сцементированных солями [5].

Правая сторона бассейна р. Быстрицы Надворнянской попадает в Покутско-Буковинский район. Карстующейся породой здесь следует считать верхнетортонский гипс с мощностью, местами достигающей 50 м. Здесь на гипсах, как правило, лежит почвенный горизонт, местами — древние галечники, перекрытые лёссом.

В связи с падением гипсов в сторону, противоположную направлениям временного стока в овражных системах, открытых к Днестру получается несоответствие границ поверхностных и подземных водосборов. Поглощенные трещинами и понорами в верховьях атмосферные осадки стекают в гипсовых породах в сторону Днестровско-Прутского водораздела, уменьшая эродирующую способность потоков.

1.6 Характеристика хозяйственной деятельности в бассейне Днестра

Основными видами хозяйственной деятельности в пределах исследуемой территории являются земледелие, животноводство, добыча полезных ископаемых подземным, открытым и буровым способами, разработка месторождений строительных материалов, лесопользование, водопотребление, промышленная переработка сырья, транспорт, строительство, мелиорация, рекреация и нагрузка от жилищного и промышленного строительства [35, 36].

В земледельческом отношении равнины Подолии и Предкарпатья, являются наиболее освоенными территориями в пределах бассейна Верхнего и Среднего Днестра, в значительно меньшей степени используются горные территории. Самый большой процент пахотных угодий приходится на бассейновые системы рек расположенных в Хмельницкой и Винницкой областях. В этих областях под пашню занято 70-80 % от всей площади бассейна [3]. В пределах Тернопольской и Львовской областей распаханность несколько ниже и достигает только 60 %. Наиболее высокая распаханность угодий в

бассейнах р. Быстрица, Щирец, Серет, Ушица, Лядова, Марковка. В пределах Верхнеднестровской низменности процент распаханых земель составляет 40-50 % от всей площади бассейна. Наименее задействованы в сельском хозяйстве земли Карпат.

Основными проблемами земельных ресурсов в районе исследования является уменьшение содержания питательных веществ в грунтах, водная эрозия грунтов и недостаточное внимание к рекультивации используемых земель. Особенностью Карпатского полеводства является то, что оно осуществляется на склонах значительной крутизны. Проведенные на Горно-карпатской исследовательской станции эксперименты показывают, что лишь за осенне-весенний период из вспаханного поля смывается до 200 куб. м грунта с 1 га [37]. По результатам исследований [35] установлено, что модуль смыва со склонов, занятых под полевыми севооборотами составляет 4,2-12,8 т/га за год в равнинных бассейнах, 17-53 на возвышенностях и 67-97 т/га в год в горах.

По результатам мониторинга [38] в последнее время наблюдается уменьшение площадей сельскохозяйственных угодий. Это происходит в основном, за счет отвода земель на государственные и общественные нужды. В отдельных хозяйствах до 40 % земель не используется по назначению, бывшая пашня пустует или используется как пастбище. Кроме этого, за последние годы значительно уменьшились показатели фактической урожайности культур. Это, в частности, наблюдается в тех хозяйствах, где урожайность культур зависит от состояния и использования мелиоративной сети.

Влияния сельского хозяйства на формирование стока воды и гидроморфологические процессы состоит в изменении состояния растительного покрова. Ежегодная пахота грунта, изменение покрытия грунта растениями в разные фазы их развития и после сбора урожая меняют коэффициент стока и содействуют интенсивному развитию эрозийно-аккумулятивных процессов на водосборах, формированию значительного количества наносов, и их аккумуляции в реках.

В свою очередь, интенсивные эрозионные процессы на склонах водосборов способствуют возникновению и развитию овражно-балочной сети, которая, меняя морфологические особенности рельефа, влияет на условия стокоформирования и режим стока наносов в реках. Кроме того, возделывание грунта техникой служит причиной деградации грунтового покрова, ухудшения водно-физических свойств и т.п. Несколько меньший эффект оказывают пастбища, основное влияние которых проявляется в изменении условий стокоформирования через ухудшение водно-физических и структурных свойств грунтов вследствие многолетнего выпаса скота.

Техногенное воздействие (влияние промышленных и сельскохозяйственных технологий, транспорта, а также объектов военного назначения, способные вызвать нарушения жизнедеятельности населения, функционирования объектов экономики, систем государственного управления, окружающей природной среды [39]) на речные системы наблюдается в пределах: 1) Роздольского серного бассейна; 2) Старо-Самборского, Бориславско-Оровского, Долинско-Надворнянского и нефте-газоносных бассейнов; 3) Дрогобич-Стебникского, Долинско-Калушского и Солотвиньского соленосных

бассейнов; 4) Щирецко-Роздольского бассейна гипсового и цементного сырья; 5) Тернопольского (в бассейне р.Серет) и Хмельницкого (бассейн р.Ушица) месторождений известняка; 5) Трускавецкого и Моршинского бассейнов минеральных вод. Существенно влияют на состояние рек и развитие опасных экзогенных процессов гравийно-галечные карьеры, большинство из которых используется не санкционировано. К неблагоприятным для условий формирования стока и качества воды последствиям работы горнодобывающих предприятий относятся: карьеры, представляющие собой угрозу жилищному хозяйству, магистральным и инженерным коммуникациям и активизирующие карстовые процессы; поступления промышленных и токсичных отходов в поверхностные водотоки и грунтовые воды. Большое количество месторождений полезных ископаемых в бассейне Днестра приходится на: природный газ, нефть, камень природный, известняки и песчано-гравийные смеси. По объемам добычи преобладает известняк и цементное сырье. Согласно прогнозам, сделанными О.В. Пылыпович на основе расчета балансовых запасов в бассейне верхнего Днестра следует ожидать активного развития карьерно-добывающей отрасли по цементному сырью, соли калийной и песчано-гравийным смесям [38, 40, 41].

Забор аллювиальных отложений с пойменно-русловых комплексов. Этот вид хозяйственной деятельности нарушает динамическое равновесие в системе “русло – пойма – склон” [35, 36]. Самые большие объемы карьерных разработок находятся в центральной Подолии, где этот показатель достигает 812 м³/год на 1 км² [42]. Значительно меньше добыча в Предкарпатье. В горах карьеров почти нет за исключением бассейнов р.Сколе и Яблонька.

Забор аллювия из русел и пойм имеет неконтролируемый характер и сопровождается развитием необратимых русловых деформаций, а также других опасных гидрогеоморфологических процессов, которые приводят к разрушению мостов, трубопроводов, железнодорожных и автомобильных путей, “зависанию” в воздухе водозаборных и водосбросных сооружений, понижению уровня воды в русле и т.п. На большинстве карьеров не ведется природоохранная работа предупредительного или рекультивационного характера.

Эколого-геоморфологическая суть проблемы состоит в значительном превышении объемов добычи в карьерах гравия над объемами поступления наносов с верхних звеньев речных систем. Так, например, на реке Стрый, в нижней части его течения лишь 5 карьеров забирают ежегодно из русла 4,5 млн. м³ отложений, что приблизительно в 20 раз превышает величину их поступления с верхней частиводосбора. Подобная ситуация наблюдается также на других реках: Днестр (до г. Самбор), Свича, Ломница, Луква, Быстрица Солотвинская и Надворнянская [42, 43, 44]. Неконтролируемый забор русловых отложений приводит к нарушению поверхностного пласта ложа русла, понижению базиса эрозии и способствует снижению степени стойкости русла к регрессивной эрозии. Яркой иллюстрацией этих процессов являются разновременные продольные и поперечные профили рек Быстрица Солотвинская и Быстрица Надворнянская [45]. Другим примером влияния русловых карьеров на состояние русел может послужить река Стрый, забор гравия

из которой спровоцировал резкое снижение уровня воды в русле (при одинаковых расходах в районе г. Стрый) и изменение режима стока наносов. Так, в 1997 – 1998 годах русло реки в районе Нового Крапивника было полностью лишено донных наносов и подвергалось интенсивной донной эрозии.

Разработки полезных ископаемых в бассейнах рек отрицательно сказываются на гидрогеологическом и гидрологическом режиме рек территории. В частности, добывающие работы вызывают понижение уровней грунтовых вод, перехват поверхностного стока, осушение болот и прудов, способствуют интенсификации растворения толщ растворимых пород (гипсов, ангидритов, известняков, солей), изменению полей напряжения в массивах горных пород, деформации земной поверхности, в том числе дамб, провалам поверхности, сдвигам горных пород и т.п.

Лесозаготовка. Массовая вырубка лесов исследуемой территории началось в XVIII ст., а на протяжении XIX столетия подавляющее большинство первобытных лесов в доступных местах было вырублено [26]. Вырубка практиковалось на огромных площадях, которые простилались от речных долин к верхней границе леса. Это обусловило активизацию геоморфологических процессов – плоскостной и линейной эрозии горных грунтов, селевых потоков, катастрофических наводнений и ветровалов [29]. Дальнейшая практика искусственного создания монокультур пихты в горах и дубовых лесов на предгорье вызвала возникновение других нежелательных вредных экологических процессов – массовых поражений древостоев корневыми гнилями, энтомовредителями и т.п. Это привело к ухудшению биологической стойкости лесных экосистем, особенно искусственного происхождения. По исследованиям М.Голубца [46], на северо-восточном макросклоне Украинских Карпат и Предкарпатья общий запас фитомассы в коренном биогеопокрытии уменьшился с 820,9 млн. т до 146,4 млн. т.

Значительную антропогенную нагрузку лесные экосистемы испытали в прошлом столетии в послевоенный период. В бассейнах некоторых горных рек площадь леса уменьшилась до 30%, что является критической границей для существования леса в условиях горных водосборов.

Несмотря на то, что заготовка древесины на сегодняшний день соответствует поставленным перед лесными хозяйствами нормам и требованиям (бассейновые системы Карпат покрыты лесом больше чем на 35%), большая часть объема рубок приходится на сплошные санитарные рубки. Эти рубки приводят к активизации экзогенных геоморфологических процессов, их интенсивное локальное проявление в бассейнах рек приводит к увеличению темпа денудации в пределах водосборов и заилению водотоков.

Строительство гидротехнических сооружений. Среди этой группы факторов самое большое влияние на гидрологический режим в долинах Днестра и его притоков имеет сооружение дамб обвалования и берегоукреплений. Наличие дамб сказывается прежде всего на скорости течения, расходах и уровнях воды, расходах наносов и мутности воды в период наводнения и паводков. Очень малое междамбовое пространство является характерной особенностью дамб в долине Днестра и его притоков. Последствия строительства таких сооружений как дамбы

обвалования проявляются преимущественно в периоды повышенной водности (паводки 10% и 1% обеспеченности). По данным исследований А. В. Гушли при паводках 10% обеспеченности за счет зажатия русла происходит уменьшение площади живого сечения потока, возрастает его глубина и скорость течения, а также мутность стока. При паводках 1% обеспеченности еще более возрастает расход наносов, мутность потока и его транспортирующая способность. Кроме того, увеличивается скорость поднятия воды в русле, растет энергия потока, его способность к размыванию, вследствие чего возрастает риск разрушения берегов и прорыва дамб. Примеры развития таких опасных процессов как прорыв дамб обвалования и их геоморфологических следствий имели место в бассейне верхней Вислы в июле 1997 года [47].

Водопользование. Этот вид антропогенного влияния на эколого-геоморфологическое состояние рек в бассейне Днестра главным образом представлен водозабором из русел рек и сбросом в русла отработанных вод и часто имеет существенное влияние на гидрологический и гидроэкологический режим рек. Проявляется он через изменение расходов воды, водного баланса водосбора, загрязнение поверхностных и подземных вод и т.п. О масштабах влияния водопользования на гидрологический режим Днестра дает представление табл. 1.2.

Таблица 1.2 – Среднегодовое водопотребление в бассейне Днестра по административным областям [48].

Забрано пресной воды, млн.куб.м			Использовано, млн.куб.м					Потери на транспорт ировку, млн. куб.м
Всего	В том числе с поверхн остных водных источни ков	Из подземных водных источнико в	Всего	В том числе промышлен ность	с/х	Коммуна льное хозяйство	Друг ие	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
р. Днестр								
610,61	446,88	163,74	460,27 9	76,526	141,4 03	229,719	12,6 3	112,386
Черновицкая обл.								
31,12	28,48	2,637	23,97	0,164	5,182	18,42	0,20 4	8,99
Ивано-Франковская обл.								
94,10	87,163	6,937	83,82	39,82	21,73	21,64	0,63	8,569
Львовская обл.								
173,40	62,82	110,60	120,00	17,85	48,63	48,85	4,67	39,07
Тернопольская обл.								
55,20	29,73	25,47	45,67	4,241	24,83	15,18	1,41 9	6,60

Хмельницкая обл.								
29,74	21,13	8,613	16,18	2,902	4,985	7,809	0,48	4,70
Винницкая обл.								
8,45	4,05	4,40	8,14	1,68	4,026	2,120	0,31	0,31

До 2009 г. объемы забора воды в бассейне Днестра ежегодно уменьшались. Это подтверждают данные работы [48] и данные по отдельным областям [49]. Динамику водопотребления в бассейне Днестра можно проследить на примере Тернопольской области (табл. 1.3).

Таблица 1.3 – Объемы воды, забранной из природных источников Тернопольской области [49].

Годы	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
млн. м ³	88,4	78,9	76,8	78,1	70,2	69,2	72,7	79,4

Примерно 80 % объемов воды, указанной в таблице 1.3 были забраны из бассейна Днестра. Остальные 20 % из бассейна Днепра (р. Горынь) и небольших притоков Южного Буга.

По данным государственной статистической отчетности по форме 2-ТП (водхоз) в 2010 году безвозвратное водопотребление составило 238,04 млн. м³, сброшено в природные водные объекты 299,719 млн. м³ оборотных вод.

В системах оборотного водопотребления в 2009 году использовано 1929,13 млн. м³.

Максимальное использование воды в оборотных системах установлено в Ивано-Франковской области и составляет 1640 млн. м³/год (85,01%).

Среди самых больших водопользователей в верховье необходимо выделить г. Львов, г. Тернополь, Бурштинскую ТЭС (Ивано-Франковская обл.).

На Днестре расположено больше десяти водозаборов питьевого водообеспечения. Самые большие проблемы возникают на водозаборах питьевого водообеспечения Борислава, Стрия, Ивано-Франковска, Черновцов, Могилев-Подольского, но наиболее сложная ситуация на водозаборе снабжающем питьевой водой г. Одессу.

В 2010 году в водные объекты бассейна Днестра сброшено 247,938 млн. м³ оборотных вод. Количество загрязненных вод составило 49,88 млн. м³, нормативно-чистых без очистки 97,79 млн. м³, нормативно очищенных после очистки 100,261 млн. м³, недостаточно очищенных - 26,49 млн. м³.

Самое большое количество сброса загрязненных сточных вод осуществляют Ивано-Франковская -16,81 млн. м³ и Львовская - 8,77 млн. м³ области. Основные источники загрязнений бассейна Днестра предприятия нефтехимической, нефтедобывающей промышленности, коммунального хозяйства. Самое большое количество загрязняющих веществ сбрасываются в Ивано-Франковской, Львовской и Одесской областях.

Некоторое улучшение качества сбрасываемых вод, за последние годы, удалось получить при проведении известкования прудов и выполнении ряда

гидромелиоративных работ в рыбных хозяйствах. Это дало возможность улучшить качество воды и привело к изменению категории качества сточных вод с «загрязненных» к «нормативно чистым», в целом ряде рыбных хозяйств.

1.7. Гидрологическая изученность рек региона

Первые исследования Днестра относятся к 1759 и 1769 гг., когда польскими властями были произведены измерения глубин реки с целью устранения препятствий для судоходства и сплава, а также для устройства водного соединения Днестра с Бугом и Саном. После первого раздела Польши эти исследования были продолжены австрийским правительством и привели к составлению в 1812 г. проектов канала, соединяющего Сан с Днестром [50].

Однако систематические и полные исследования Днестра были начаты несколько позже, а именно в верхней части его течения с 1884 г., а в средней и нижней, от устья Збруча, — с 1882 г. Поводом для начала систематических исследований Карпатской части бассейна явились катастрофические паводки 1867 и 1884 гг., нанесшие громадные убытки в ряде округов, расположенных в верхней части Днестра. В 1885—1886 гг. Львовским наместничеством был разработан проект регулирования 13 основных карпатских рек —от Малой Вислы на западе до Быстрицы на востоке, в который входила также регулировка Днестра на участке от г. Розвадова до с. Журавно.

В последующие годы, по данным работы [50], велись исследования, уточняющие и дополняющие полученные ранее данные. В 1901—1902 гг. в межень были произведены измерения расходов воды на всем участке Днестра от г. Розвадов до г.Залещики, охватившие также и некоторые притоки. В связи с отнесением Днестра к судоходным рекам, начиная от г. Розвадова, в 1905 г. было произведено подробные изысканиям и гидрометрическим наблюдениям на верхнем Днестре с целью разработки генерального проекта систематической регулировки Днестра для целей судоходства.

Систематические исследования Днестра ниже устья Збруча начались в 1882 г. В. М. Лохтиным. Эти исследования имели целью улучшение судоходных свойств реки и производились в шесть отдельных приемов, охватив все протяжение Днестра от бывшей австрийской границы до устья. Изыскания были весьма подробными и тщательными. На всех участках была выполнена съемка реки произведены промеры, продольная нивелировка реки и берегов, измерения скоростей течения. Проводились также гидрометрические наблюдения и измерения расходов воды. Следует отметить, что попутно с производством съемочных работ 1884—1896 гг. В. М. Лохтиным для Днестра были впервые выполнены весьма обстоятельные гидрологические исследования. Его работы по Днестру являются первыми классическими гидрологическими исследованиями.

Помимо указанных исследований, в период с 1884 до 1912 г. производились неоднократные частные исследования отдельных перекатов, заключавшиеся в съемках и других работах на отдельных участках имевшие

целью улучшение перекаатов. По некоторым перекаатам имеется целый ряд съемок, последовательно отображающих изменения русла, происходившие на них из года в год.

В 1924—1934 гг. производились съемки, буровые работы, гидрометрические и гидрологические исследования, имевшие целью регулирование Днестра и его рукава — Турунчука. Эти исследования были вызваны угрозой превращения Турунчука в основное русло Днестра.

Регулярные уровневые наблюдения на верхнем Днестре были начаты с 1850 г., когда были открыты первые четыре станции. В последующие 28 лет число станций на верхнем Днестре увеличилось еще на 2 станции—в г. Галиче и с. Розвадове; тогда же были открыты первые две станции на притоках — в Конюшках Семеновских (ныне с. Луки) на Стрвионже (р. Стрвяж) и в г. Стрые на р. Стрый. В 1878 г. на верхнем Днестре число станций увеличивается уже до 11. К этому времени начались наблюдения и на нижнем Днестре, где первым был организован водпост в Могилеве, открытый в 1877 г., и затем в Бендерах, открытый в 1878 г. В 90-х годах XIX века сеть измерений продолжала расти в основном за счет создания постов на нижнем Днестре и на притоках. К концу 1900 г. гидрологическая сеть состояла из 65 станций, из которых 28 были расположены на Днестре и 37 — на его верхних, преимущественно карпатских притоках [50].

Развитие работ по ограничению стока в верховьях и начало мелиоративных исследований в плавневом участке повлекли за собой открытие еще ряда станций, количество которых к началу войны 1914—1918 гг. составило по всему бассейну 93 действующих единицы. В дальнейшие годы, в результате охвативших значительную часть бассейна военных действий, гидрометрическая сеть бассейна очень резко уменьшилась и к 1919 г. свелась всего лишь к 4 действовавшим в течение всего года станциям. После организации Гидрометеорологической службы УССР началось постепенное возобновление сети, причем в первую очередь оно шло за счет основных, ранее действовавших постов, а затем и открытия новых. В конце двадцатых годов прошлого столетия впервые начинают производиться уровневые наблюдения на подольских притоках. В это же время устанавливаются первые посты (если не считать кратковременных наблюдений 1914—1916 гг.) на бессарабских реках. К 1936 г. восстановленная и вновь организованная сеть станций в бассейне Днестра состояла из 139 водомерных постов. В 1941 из 148 постов 37 были созданы на главной реке (Днестр) [51].

Вскоре после начала второй мировой войны гидрометеорологическую службу, которая до этого была подчинена Совету Министров, было переподчинено Вооруженным Силам СССР. Во время войны большинство постов были закрыты, а по тем, которые функционировали, имеются обрывочные сведения.

После окончания войны сеть постов начала постепенно восстанавливаться. В следующие два десятилетия гидрометеорологические наблюдения достигли

наибольшего за свою историю развития. В 1967 г. в бассейне Днестра действовало 110 постов.

В этот период были разработаны и распространены основные виды гидрометеорологических измерительных приборов, которые используются и до сих пор. Их разработчиками были преимущественно научно-исследовательские институты, а производителями - заводы в Ташкенте, Тбилиси, Риге.

В 80-х годах прошлого столетия разработано большинство нормативных документов относительно выполнения гидрометрических наблюдений. Методическое руководство за гидрологическими наблюдениями выполнял УкрНИГМИ (г. Киев) и Государственный гидрологический институт (г. Ленинград). В эти же годы проведены научные исследования относительно оптимального расположения пунктов наблюдений.

В 1988 г. по указанию Госкомгидромета бывшего СССР в Украине, как и в других республиках, осуществлено довольно значительное (приблизительно на 20%) сокращение сети, которое вместе с тем имело цель повышения заработной платы ее работникам. Оперативность выполнения этой меры привела к тому, что сокращение сети далеко не всегда оказалось обоснованным [51].

На 01.01.2010 г. на реках Украины действовало 375 гидрологических постов, подчиненных Государственной гидрометеорологической службе из них 64 находилось в бассейне Украинской части Днестра. Из всего количества действующих в Украине постов только 25 оборудованные установками ГР-64 и ГР-70, которые позволяют производить дистанционные измерения расходов воды [51].

Оценка гидрологической информации. Если в отношении уровня режима изученность рек бассейна Днестра может быть признана удовлетворительной, то в части измерений расходов воды сведений недостаточно.

Систематических измерений расходов воды, как на Днестре, так и на его притоках до второй мировой войны почти не производилось. До 1929 г. на верхнем Днестре имели место лишь спорадические измерения расходов в ряде пунктов, преимущественно» при низких уровнях, с целью получения данных о нарастании расхода по длине реки. Систематические наблюдения с 1924 г. по 1930 г. проводились только в Чайковичах, Розвадове и Залещиках, а также в с. Луки (р. Стрвяж). В качественном отношении наблюдения, в особенно произведенные в прошлом веке, имеют ряд недостатков. Часть станций на Днестре и на притоках не имеет увязанных наблюдений за весь период. Многие посты, в особенности на карпатских притоках, неоднократно разрушались паводками, возобновлялись или переносились на другое место, причем обычно в этих случаях сохранялась преемственность отсчетов путем внесения поправки [50]. Такие переносы иногда делались на расстоянии до 1—3 км, что, особенно в горных условиях, при значительной изменчивости гидравлических характеристик на небольших участках реки, не позволяло считать идентичными наблюдения на старом и новом постах. На данные наблюдений целого ряда постов оказывала влияние значительная изменчивость русел на участках

размещения постов; величина размывов и повышений дна после прохождения сильных паводков, в некоторых случаях даже на небольших реках, измерялась метрами. Систематические деформации русла на Днестре вызывались также производимыми регулировочными работами.

Из постов, расположенных в устьевых участках притоков, некоторые находятся в подпоре р. Днестра. В зоне подпора от нижележащих плотин расположено также несколько постов на подольских притоках.

Наблюдения на отдельных постах являются сомнительными, не подтверждающимися ходом уровня на соседних постах, ориентировочными или недостаточно точными, о чем имеются указания при их опубликовании [51].

Хотя сеть наблюдений гидрометслужбы Украины на протяжении 90-х годов прошлого столетия почти не сокращалась, кое-где уменьшился объем измерений; ухудшилось качество данных. Указанные изменения произошли, прежде всего, по объективным причинам, а именно - недостаточное финансирование, которое повлияло, на возможность обновления приборной базы, тарирования приборов, количество производимых инспекций. Больше половины самописцев уровня воды, которые были установлены на постах, вышли из строя. Максимальные расходы часто (прежде всего, в Карпатах) измеряются с использованием поплавков или же вычисляются по формуле Шези [51].

Ухудшилось качество данных и при определении стока наносов и их крупности. Пробы донных отложений иногда отбирают близ берега, без применения соответствующего оборудования.

Вместе с тем, есть и определенные положительные сдвиги. Это касается, в частности, наблюдений на реках Карпат. Прохождение двух значительных паводков на реках (в ноябре 1998 г. и марте 2001 г.) содействовало увеличению внимания к региону со стороны государства.

Работы на гидрологических постах бассейна Днестра в организационно-методическом отношении подчиняются двум гидрологическим станциям (Стрый, Чортков). Все данные получаемые по гидрологической сети, проходят проверку и обобщение в центральной геофизической обсерватории Гидрометеорологической службы Украины.

Список постов на р. Днестр и его притоках в табл. 1.4. Схема постов приведена на рис. 1.6.

Таблица 1.4 – Морфометрические характеристики постов верхней части р. Днестр до 2010 г.

	Река	Пункт	Годы наблюдения	Площадь (км ²)	Средняя высота бассейна (м)	Средний уклон реки, ‰	Расстояние от устья
1	Днестр	С.Стрелки	1895-2010	384	620	10,1	1317
2	Днестр	Г.Самбор	1946-2010	850	570	6,5	1278
3	Днестр	Пгт.Роздол	1963-2010	5700	400	3,2	1191

4	Днестр	С.Журавно	1895-1946 1972-2010	9910	480	2,8	1159
5	Днестр	Г.Галич	1895-2010	14700			1117
6	Днестр	Г.Залещики	1895-2010	24600			936
7	Днестр	С.Жванец	1945-1982	34300			
8	Днестр	Днестровская ГЭС	1980-2010	40500			677
9	Днестр	Г.Могилев- Подольский	1950-2010	43000			630
Правые притоки Днестра							
10	Быстрица	с.Озимина	1954-2010	206	520	9,1	35
11	Тысьменица	г.Дрогобыч	1941-2010	250	390	21	24
12	Стрый	с. Матков	1955-2010	106	860	15,3	203
13	Стрый	с.Завадовка	1961-2010	740	800	7	159
14	Стрый	Г.Турка	1907-1961	897	780	6	
15	Стрый	С.Ясеница	1984-2010	1020	760	5,6	135
16	Стрый	С.Новый Крапивник	1953-1985	1140	760	5,3	
17	Стрый	С.Сопот	1983-1993	1325	760		
18	Стрый	Пгт. Верхнее Синевидное	1951-2010	2400	760	4,7	78
19	Завадка (пр.р.Стрый)	С.Рыков	1983-2010	100	800		10
20	Яблонька (пр.р.Стрый)	Г.Турка	1954-2010	140	790	13,2	1
21	Рыбник (пр.р.Стрый)	С.Майдан	1983-2010	138	840	28	3
22	Рыбник (пр.р.Стрый)	С.Рыбник	1949-1984	159	830	27,7	
23	Опор (пр.р.Стрый)	Г.Сколе	1956-2010	733	820	13,8	14
24	Славска (пр.р.Опор)	Пгт.Славское	1954-2010	77	860	38	1
25	Рожанка (пр.р.Опор)	С.Ружанка	1954-1988	89	850	29	
26	Головчанка (пр.р.Опор)	С.Тухля	1955-2010	130	810	21	0,4
27	Орава (пр.р.Опор)	Х.Святослав	1945-2010	204	860	15,2	1
28	Свича	Х.Мысловка	1955-2010	201	1000	24	86
29	Свича	С.Заречное	1953-2010	1280	730	10	25
30	Лужанка (пр.р.Свича)	С.Гошев	1949-2010	146	660	26,7	2
31	Сукель (пр.р.Свича)	С. Тисов	1959-2010	138	770	26	37
32	Ломница	С. Осмолода	1957-2010	203	1200	23,7	95
33	Ломница	С.Перевозец	1954-2010	1490	760	10,6	16
34	Чечва (пр.р.Ломниц а)	С.Спас	1956-2010	269	820	12,6	29

35	Дуба (пр.р.Чечва)	С.Дуба	1963-1982	35	610	32,7	
36	Луква	С.Боднаров	1954-2010	185	480	8,4	23
37	Быстрица- Надворнянска я (пр.р.Быстриц а)	С.Пасечна	1957-2010	482	1000	19,5	60
38	Быстрица- Надворнянска я (пр.р.Быстриц а)	С.Черниев	1984-2010	679	740		14
39	Ворона (пр.р.Быстриц а Надворнянска я)	Г.Тысьменица	1962-2010	657	710	4,6	14
40	Быстрица Солотвинская (пр.р.Быстриц а)	С.Гута	1949-2010	112	1100	44,6	65
41	Быстрица Солотвинская (пр.р.Быстриц а)	Г. Ивано- Франковск	1983-2010	777	700		4
42	Быстрица	С.Ямница	1959-1988	2450	890	10,8	
Левые притоки Днестра							
43	Стрвяж	Г.Хыров	1964-2010	353	500	9,1	64
44	Стрвяж	С.Луки	1957-2010	910	400	4	6
45	Верищица	Г. Комарно	1957-2010	812	310		16
46	Щерек	Пгт. Щирец	1946-2010	307	300		19
47	Зубра	С. Дымовка (Верхнедор.)	1954-1975	212	330		
48	Свиж	Пгт. Букачевцы	1957-2010	465	310		4
49	Гнилая Липа	Г. Рогатин	1950-1988	467	340		
50	Гнилая Липа	Пгт.Большовц ы	1945-2010	848	320		10
51	Золотая Липа	Г. Бережаны	1946-2010	690	360		78
52	Ценевка приток Зол.Липы	С. Полуторы	1953-1977	217	360		
53	Золотая Липа	С. Задаров	1955-2010	1390	360		14
54	Коропец	Г. Подгайцы	1946-2010	227	380		51
55	Коропец	С. Коропец	1949-2010	476	370		3
56	Стрыпа	Х. Каплинцы	1946-2010	411	370		118
57	Стрыпа	Г. Бучач	1963-2010	1270	360		33
58	Гнезна (приток р.Серет)	С. Плебановка	1954-1988	1100	340		
59	Серет	Г. Городище	1946-1964	606	360		

60	Серет	Пгт. Великая Березовица	1961-2010	939	360		175
61	Серет	Г. Чертков	1898-1913 1923-1929 1945-2010	3170	350		77
62	Ничлава	С. Срелковцы	1955-2010	584	300		29
63	Гнилая (при ток р.Збруч)	С. Лучковцы	1963-1988	414	320		
64	Збруч	Г. Волочиск	1957-2010	712	320	1,1	205
65	Збруч	С. Завалье	1960-2010	3240	310	0,9	22
66	Жванчик	С. Кугаевцы	1947-2010	229	320	2,3	70
67	Жванчик	С. Ластовцы	1954-2010	703	208	2,0	5
68	Смотрич	С. Купин	1937-2010	799	310	1,6	111
69	Смотрич	С. Цыбулевка	1931-2010	1790	300	1,3	21
70	Мукша	С. Малая Слободка	1954-2010	302	280	4,0	14
71	Студеница	С. Голозубенцы	1971-2010	296	203		42
72	Ушица	С. Зиньков	1937-2010	525	300	2,5	79
73	Ушица	С. Кривчаны (Тымков)	1931-2010	1370	290	1,8	35
74	Батыг	С. Замехов	1950-1988	94,1	290	5,7	
75	Калюс	Пгт. Новая Ушица	1951-2010	259	280	4,0	29
76	Лядова	С. Жеребиловка (Лядова)	1963-2010	652	280	2,5	20
77	Немия	С. Озаринцы	1963-1988	359	260	3,4	
78	Мурафа	С. Кудиевцы-Белая	1963-2010	70	330	4,7	150
79	Мурафа	Белянская ГЭС	1959-1972	2400	260	1,9	12
80	Марковка	С. Марковка	1950-1971	59,7	260	6,4	
81	Марковка	С. Слобода-Подлесовская	1951-2010	615	240	3,8	19
82	Каменка	С. Каменка	1950-1975	378	230	4,7	



Таблица 1.5 – Распределение постов по продолжительности наблюдений

Продолжительность наблюдений, лет	10-30	31-50	>50
Доля постов, %	9	49	42

Таблица 1.6 – Распределение постов по площади водосборов

Площадь водосбора, км ²	<100	101-2000	2001-10000	10000-50000
Доля постов, %	4	80	10	6

Анализ таблиц 1.5 и 1.6 показывает, что 91 % рядов наблюдений имеют продолжительность более 30 лет, а 84 % бассейнов рек относятся к категории малые и 16 % к категории средние.

Для подтверждения правильности величин стока, которые публикуются в “Государственном водном кадастре”, в центральной геофизической обсерватории выполняются сравнения средних месячных, средних годовых и экстремальных значений расходов воды на участках и в гидрографических узлах рек.

На реках с одним гидрологическим постом, оценивание стока осуществлялись сравнением модулей стока по территории с учетом степени надежности кривых расходов воды.

По результатам анализа (например, за 2010 г.) установлено, что среднегодовые расходы воды и модули хорошо увязываются. Однако, имеют место случаи, когда водность рек меняется с нарастанием площади водосбора иначе, чем известные закономерности общего порядка. Своеобразие пространственного изменения водности отдельных рек обусловлена влиянием следующих причин и факторов.

1. Разнообразие физико-географических условий создает разные типы водного режима. Правые притоки р. Днестр (включая Быстрицу) имеют горный характер с возможными паводками на протяжении всего года, как от дождей, так и от таяния снега в горах.

Левые притоки р. Днестр ниже р. Стрый имеют равнинный характер с выраженным весенним половодьем и низкой меженью.

Кроме весеннего половодья равнинные реки могут иметь паводки в любую пору года, в том числе и зимой, что обуславливается оттепелями.

2. На некоторых реках проводится забор воды с одного бассейна и сброс в другой, но сведения о количестве воды, которая забирается недостаточно полные.

3. На величину стока влияет закарстованность в бассейнах многих рек (потери стока не определены).

4. Для большинства рек существенное влияние на суточный ход стока и его распределение в период межени оказывает работа малых ГЭС, мельниц и прудов с суточным регулированием стока.

В отдельных случаях по этой причине возможна невязка максимальных расходов воды по длине реки и в гидрографических узлах по величине и по дате.

5. Русла многих рек зарастают водной растительностью.

6. Вследствие многолетней хозяйственной деятельности русла отдельных рек засорены разными механическими отходами, которые приводят к непостоянным подпорам на постах.

7. Отсутствие приборов на некоторых постах приводит к измерению расходов воды при высоких уровнях поверхностными поплавками, что снижает качество учета стока воды.

8. Ввиду трудностей измерения расходов воды при высоких уровнях, в отдельных случаях, допущена экстраполяция кривых к высшему уровню, что снижает качество данных о самых больших расходах воды. Значительная экстраполяция кривых принята только в случае незначительной продолжительности периодов применения экстраполированной части кривой.

В 2010 г. выявлены следующие невязки величин стока:

- невязка стока по длине р. Днестр на участке г. Залещики – г.Могилев-Подольский объясняется регулирующим влиянием водохранилища Днестровской ГЭС;

- невязка стока в узле р.Днестр возле с.Роздол в течение года объясняется трансформацией паводочной волны и аккумуляцией воды на пойме;

- невязка стока в узле р. Днестр возле г. Галич за январь, апрель, август –ноябрь объясняется забором воды на технические нужды Калушского ЗАО “Луко́р” и Бурштынской ГЭС;

- невязка стока в узле р. Днестр возле г.Залещики за февраль обусловлена более интенсивным формированием дождевых паводков в предгорьях чем в горах;

- невязка стока в узле р. Днестр – Днестровская ГЭС за март-июнь, август-декабрь объясняется регулирующим влиянием водохранилища Днестровской ГЭС;

- невязка стока по длине р. Стрый за март-май, август, сентябрь, ноябрь, декабрь на участке Завадовка – пгт Верхнее Синевидное объясняется перераспределением паводочного стока и влиянием работы Яворской ГЭС;

- невязка стока в узле р. Стрый возле с.Ясеницы за март, ноябрь объясняется перераспределением паводочного стока и влиянием работы Яворской ГЭС;

- невязка стока в узле р. Стрый возле пгт Верхнее Синевидное в течение года обусловлена забором воды на промышленные нужды пгт Верхнее Синевидное и влиянием работы Яворской ГЭС;

- невязка стока в узле р. Опор возле г. Сколе за март, август-ноябрь обусловлена забором воды на промышленные нужды города;

- невязка стока по длине р. Быстрица-Надворнянская на участке между с. Пасечное и с. Черниев за март, июль-декабрь обусловлена

интенсивным забором воды с реки на промышленные и бытовые нужды г. Ивано-Франковск и г. Надворная.

Выводы по 1 разделу. Бассейн Днестра может быть подразделен на три характерных района, каждый из которых имеет свои особенности в отношении рельефа, климата почвы, растительности и гидрологических особенностей. Карпатский, Подольский и равнинный – прилегающий к Черному морю, который в данной работе не рассматривается.

Карпатский район, в пределах которого расположены бассейны правых притоков Днестра и верховья самого Днестра. Карпатские реки имеют среднюю высоту бассейна 600-800 м т.е. относятся к категории горных (более 500 м). По выходе с гор характер рек меняется: долины приобретают трапецеидальную форму, реки резко уменьшают падение и отлагают обильное количество выносимых с гор наносов.

Западно-Подольская область имеет слабоволнистую поверхность, расчлененную глубоко врезаемыми речными долинами. Основные левобережные притоки Днестра протекают на высотах от 400 до 200 м поэтому в верхнем течении их можно отнести к предгорным (предгорные 300-500 м), а в нижнем течении к равнинным.

Весной и летом в бассейне Днестра преобладает континентальный воздух умеренных широт, который поступает с восточными ветрами из центральных и южных районов Русской равнины. Этот воздух сухой, очень нагретый летом и охлажденный зимой. Часто летом и осенью из районов Средиземного моря в юго-западных потоках поступает морской тропический воздух. Он приносит большое количество влаги и осенью обеспечивает возврат теплой погоды с ливнями. Зимой значительное влияние оказывает приток морского воздуха умеренных широт, который формируется в северных районах Атлантики. Этот воздух вызывает потепление и снегопады.

Карстовые явления в горных и равнинных ландшафтах описываемой территории отличаются широким развитием на сравнительно больших площадях и размещением отдельных форм в эрозионной сети. Это обуславливает значительное влияние карста на сток рек бассейна особенно левобережных притоков Днестра.

Среди антропогенных факторов самое большое влияние на гидрологический режим в долинах Днестра и его притоков имеет сооружение водохранилищ, изменение лесистости водосбора и водозабор на хозяйственные нужды с малых рек. Наличие дамб сказывается прежде всего на максимальных расходах, расходах наносов и мутности воды в период наводнений и паводков.

Систематические наблюдения начались на большинстве постов с 1950 г. Количество постов постепенно увеличивалось до 110 в 1967 г., а затем начало уменьшаться до 64 на 2010 г. (в Украинской части бассейна). Наблюдения на отдельных постах являются недостаточно точными и имеют пропуски, о чем имеются указания в водных кадастрах.

2 РЕЧНЫЕ НАНОСЫ

2.1 Основы теории формирования наносов.

По определению Г.И. Шамова, данному в 1954 г., “речными наносами называют сыпучие минеральные частицы, переносимые потоком и образующие современные отложения в речных руслах”. Сыпучесть речных наносов является характерным отличием их от ранее образовавшихся осадочных отложений, находящихся в какой-то степени в цементированном состоянии [52]. В более современной трактовке речные наносы определяются как: твердые частички, которые перемещаются потоком, и образуют русловые и пойменные отложения [53].

Речные наносы в зависимости от характера движения в речном потоке делятся на взвешенные и влекомые. Такое деление весьма условно, поскольку все передвигаемые потоком наносы в отдельные моменты времени в зависимости от крупности частиц и скорости потока находятся во взвешенном состоянии или, подпрыгивая, перекачиваются по дну. Скачкообразный переход наносов с одного состояния в другое называется – сальтацией.

Применение к стоку наносов термина «твердый сток», как это часто употребляется в гидрометрии, является неудачным, поскольку в это понятие включаются минеральные частицы и растворенные в воде органические и неорганические вещества. Учет последних составляет отдельную задачу, которая в настоящую работу не входит.

Взвешенные наносы. Результаты наблюдений за стоком взвешенных наносов речных потоков показывают, что основная масса их (от 40 до 90%) состоит из частиц крупностью менее 0,05 мм.

Остальную часть взвешенных наносов составляют частицы крупностью от 0,05 до 0,50 мм и как исключение до 1 мм.

Основная масса наносов поступает в реку с бассейна вместе со склоновым стоком воды в периоды половодья и дождевых паводков, а также в результате русловой эрозии — размыва берегов.

Перенос речным потоком во взвешенном состоянии наносов, с удельным весом примерно в 2,6 раза больше удельного веса воды, возможен только при наличии вертикальных перемещений водных масс.

Первая попытка объяснить причину взвешивания потоком наносов была дана Дюпюи (1848 г.), положившим в основу своих выводов характер распределения скорости потока по вертикали. Дюпюи считал, что поскольку скорости потока от дна к поверхности возрастают, на верхнюю сторону любой

взвешенной песчинки действует большая продольная скорость, чем на нижнюю.

Учитывая, что согласно уравнению Бернулли, большим скоростям соответствует меньшее давление, Дюпюи приходит к заключению, что на твердую взвешенную частицу всегда должна действовать сила, направленная снизу-вверх, противодействующая ее весу. Несостоятельность теории Дюпюи подтверждается наличием весьма малых градиентов скорости в отдалении от дна, явно недостаточных для создания разности давлений для перемещения вверх наносов. Взвешивающая сила по теории Дюпюи фактически может действовать только при начале отрыва частицы от дна, когда скорость потока снизу частицы равна нулю. В этом случае подъемная сила будет пропорциональна квадрату обтекающей частичку скорости.

Более обоснованная схема расчета взвешивания потоком наносов была предложена Кеннеди (1895 г.). Кеннеди процесс взвешивания объяснял наличием вертикальных составляющих скорости и для определения средней скорости потока - u , при которой происходит взвешивание частиц, предложил использовать формулу:

$$u = kh^n, \quad (2.1)$$

где h - глубина потока, коэффициент k Кеннеди предложил принимать равным 0,548, а показатель степени $n = 0,64$.

Ласей предложил изменить формулу Кеннеди и вместо глубины использовать гидравлический радиус - R . В этом случае формула приобретает вид

$$u = cR^m. \quad (2.2)$$

Значение c колебалось у разных авторов от 0,4 до 0,65, а показатель степени от 0,5 до 0,71.

Основным недостатком этих формул было то, что они не учитывали крупности наносов, шероховатости русла и ряда других параметров.

Связь между гидравлическими и геометрическими размерами частиц установлена Стоксом при выводе уравнения для скорости падения одиночной частицы в стоячей воде. Эту скорость падения называли гидравлической крупностью.

Исходя из условий равномерного падения частицы в жидкости Стокс допустил равенство силы тяжести – F_T и силы сопротивления – F_c (рис 2.1).

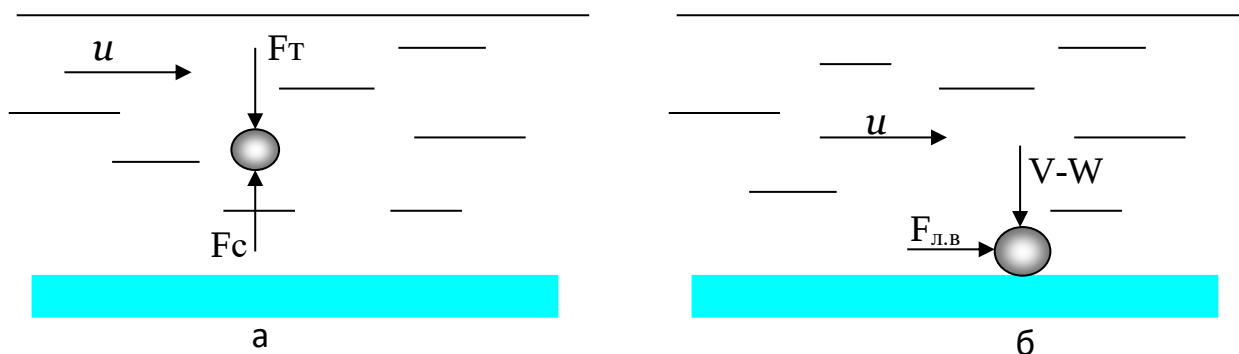


Рисунок 2.1 – Схема сил действующих на частицу а) при вычислении гидравлической крупности; б) на частицу донных наносов

Сила сопротивления $F_c = 6\pi r \rho v w$, где r – радиус сферической частицы, ρ – плотность воды, v – кинематическая вязкость, w – скорость падения частицы.

Сила тяжести $F_T = \frac{4}{3}\pi r^3(\rho_n - \rho)g$, где ρ_n – плотность наносов. Из равенства этих сил находим скорость падения (гидравлическую крупность)

$$w = \frac{2r^2 g}{9v} \left(\frac{\rho_n}{\rho} - 1 \right). \quad (2.3)$$

Формула Стокса применима лишь при ламинарном режиме обтекания, что соответствует диаметру частиц меньше 0,125 мм. При больших размерах частиц используются другие формулы. Например, при устойчивом турбулентном режиме обтекания (соответствует $d > 1,5$ мм) можно использовать формулу В.М. Гончарова

$$w = 33,1 \sqrt{\left(\frac{\rho_n}{\rho} - 1 \right) d}. \quad (2.4)$$

Количество взвешенных наносов, которые река переносит через живое сечение в единицу времени, называют расходом взвешенных наносов (кг/с). Суммарное количество наносов, которое река переносит через живое сечение за определенный промежуток времени, называют стоком взвешенных наносов за этот период. Количество наносов в 1 м³ воды, называют мутностью (г/м³).

Расчету стока наносов (мутности рек) посвящены работы многих гидрологов. Наибольшее распространение получили теории движения взвешенных наносов В. М. Маккавеева и М. А. Великанова.

В. М. Маккавеев вызванное пульсациями перемещение элементарных объемов воды и количества движения отождествлял с переносом содержащихся в воде инородных частиц. Подобное отождествление позволило Маккавееву выразить перемещение в турбулентном потоке частиц наносов дифференциальным уравнением, описывающим перенос количества движения. По аналогии с «молекулярной диффузией», данная теория взвешивания наносов в турбулентном потоке получила название диффузионной теории.

М. А. Великанов в своих работах по теории движения наносов исходил из поля средних скоростей и накладывающихся на него беспорядочных, случайных «пульсаций скорости, для которых используются им методы математической статистики. Движение наносов в потоке М.А.Великанов рассматривает независимо от перемещений водных масс, т. е. пользуется системой уравнений, составленных отдельно как для жидкой фазы, так и для твердой. Эта теория названа гравитационной.

Обе теории выведены для плоского равномерного потока и содержат в себе ряд допущений, ограничивающих их применение в расчетной практике.

М. А. Великанов в 1944 г., выдвигая новую гравитационную теорию взвешивания в потоке наносов, отмечает, что в процессе взвешивании наносов нельзя игнорировать влияние взвешенных частиц на кинематическую структуру потока и не учитывать работу, затрачиваемую потоком на поддержание тяжелых частиц во взвешенном состоянии.

При наличии взвешенных частиц поток должен непрерывно производить работу по их подъему. Если при равномерном движении однородной жидкости положительная работа силы тяжести полностью расходуется на работу силы сопротивления, то при наличии наносов некоторая часть работы должна идти на поддержание их во взвешенном состоянии. По данным Мосткова [54] на транспорт наносов р.Амударья затрачивается до 20 % энергии жидкого потока, Гончаров [55] считает, что энергетические затраты на транспорт наносов невелики и не достигают 10 %. Экспериментальные исследования, проведенные в 1971 г. Д.И. Гринвальдом [56] показали, что эта величина для р. Днестр может достигать существенных величин и колеблется от 2 до 19 %. М.А.Великановым составляется уравнение работы отдельно для жидкой фазы потока и твердой. При интегрировании полученного основного уравнения М.А. Великановым вводится ряд упрощающих допущений, которые позволили получить формулу для расчета средней мутности потока

$$S_{\text{ср}} = \frac{0,16}{\beta(1+0,2\beta)}, \quad (2.5)$$

где

$$\beta = 0,21 \frac{w}{i\sqrt{ghi}}. \quad (2.6)$$

Здесь i – поверхностный уклон воды.

Кроме упомянутой формулы вида (2.5) существуют другие формулы этого автора, а также формулы В. М. Маккавеева, А.В. Караушева и др. В качестве общего итога можно отметить, что имеющиеся теоретические результаты не являются строгими в отношении научной обоснованности

методов расчета движения наносов, но позволяют получить ценные для различных практических расчетов результаты.

Исходя из расчетов мутности, можно рассчитать транспортирующую способность потока. Способность потока переносить вместе с водой наносы называют его транспортирующей способностью. Она характеризуется граничной мутностью $S_{гр}$, а именно наибольшим значением мутности, которое может иметь река при данных условиях. Е.А. Замарин для расчета граничной мутности (транспортирующей способности) предложил формулу:

$$S_{гр} = 0,22 \frac{u}{w_0} \sqrt{\frac{Riu}{w}}, \quad (2.7)$$

где w_0 – приведенная гидравлическая крупность, w – средневзвешенная гидравлическая крупность.

Донные наносы. Расчет донных наносов сводится к двум основным соотношениям: расчету начальной скорости движения и определению расходов донных наносов. Существует большое количество формул, которые позволяют определить начало движения донных наносов. К ним относится формула Дюбуа (1879 г.), Гончарова (1938 г.), Леви (1948 г.) и др.

Г.И. Шамовым [52] была предложена формула, полученная на основе динамического равновесия. Сила лобового воздействия на находящуюся на дне частицу приравнивалась силе трения (Рис. 2.1. б).

Сила лобового воздействия ($F_{л.в.}$) на частицу в форме шара выражается уравнением

$$F_{л.в.} = \xi \frac{\rho}{g} (u_d - u_n)^2 \frac{\pi d^2}{4}, \quad (2.8)$$

где ξ – коэффициент обтекания зависящий от формы частицы, u_d – донная скорость потока, u_n – скорость движения частицы наносов, ρ – плотность воды, d – диаметр частицы.

Сила трения

$$F_{тр} = (V - W)f, \quad (2.9)$$

где f – коэффициент трения, V – вес частицы в неподвижной воде

$$V = (\rho_n - \rho) \frac{\pi d^3}{6}; \quad (2.10)$$

ρ_n – плотность наносов, W – подъемная сила потока согласно формуле А.И.Лосиевского

$$W = \frac{k\rho}{g} (u_d - u_n)^2 \frac{\pi d^2}{4}, \quad (2.11)$$

где k – коэффициент, учитывающий подъемную силу потока.

Предельная донная скорость потока $u_{п.д.}$, при которой частицы прекратят передвигаться по дну (без учета инерции частицы), определяется как

$$u_{п.д.} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{f\left(\frac{\rho_n}{\rho}-1\right)}{(\xi+kf)}} gd. \quad (2.12)$$

Используя ряд таких упрощений как принятие постоянным отношения плотности наносов к плотности воды и перехода от донной скорости к средней и от скорости прекращения движения частицы к скорости начала движения частицы автор [52] получил выражение для средней скорости потока, при которой начнется движение частиц

$$u_0 = 4,6d^{\frac{1}{3}}h^{\frac{1}{6}}, \quad (2.13)$$

где h – глубина потока.

Формулы для определения расходов донных наносов делятся на три группы. К первой относятся формулы, выражающие расход наносов через силу лобового воздействия (Дюбуа, Егiazарова). Ко второй группе формулы в которые входят расход воды и уклон (Чанга, Штраубе, Шоклича). К третьей выражающие расход наносов от скорости потока (Леви, Лопатина, Гончарова).

При выводе своей формулы Г.И. Шамов стремился придать ей наиболее простой вид, выразив расход наносов – G через гидравлические элементы потока доступные непосредственному измерению. Исходя из этих предпосылок, автор представляет расход в виде функции

$$G = f(u, h, d). \quad (2.14)$$

Используя для расчета параметров большое количество экспериментальных данных в конечном виде, автор получает формулу:

$$G = k \left(\frac{u}{u_{0.н}} \right)^3 (u - u_{0.н}) \left(\frac{d}{h} \right)^{0,25} \text{ кг/сек м.} \quad (2.15)$$

Здесь $u_{0.н}$ – предельная скорость, при которой прекращается движение наносов $u_{0.н} = \frac{u_0}{1,2}$. Коэффициент k для неоднородного состава наносов меняется в пределах от $1,5D$ до $3\sqrt[3]{D^2}$, где D – наибольший диаметр передвигаемых частиц. Для однородных наносов $k = 0,95\sqrt{d}$.

Поскольку формула дает расход донных наносов по вертикалям (на ширину 1 м), для получения полного расхода необходимо провести интегрирование элементарных расходов по ширине русла. При этом необходимо учитывать, что у берегов, как правило, скорости потока меньше предельных скоростей при которых может происходить движение донных наносов. В этом случае для определения зоны передвигающихся донных наносов необходимо учитывать во времени распределение скоростей, глубин и состава донных наносов по ширине реки.

Правильное использование рек, даже в их природном состоянии невозможно без изучения процессов размыва и отложения наносов. Очень важно знание режима стока наносов во время проектирования гидротехнических сооружений на реках. Недостатки изученности стока наносов могут привести к значительным ошибкам, например, при расчете времени заиления водохранилищ.

2.2 Обзор исследований стока наносов.

Изучение современного стока наносов имеет практическое значение для разработки мероприятий по регулированию и стабилизации геоморфологических процессов при разных видах хозяйственной деятельности.

Для решения задачи определения количества наносов существуют два принципиальных пути: теоретический и эмпирический. **Теоретическое решение** рассматриваемой задачи выполняли А.В.Караушев [57], К.В.Разумихина [58] и др. В основу их теоретических расчетов положена формула транспортирующей способности. Расчет годового стока взвешенных наносов К.В.Разумихина рекомендует выполнять по отдельным периодам: для зимней межени, подъема и спада весеннего половодья, летне-осенней межени. Как отмечает сама автор, надежные результаты можно ожидать только для периодов спада весеннего половодья и межени. Для подъема половодья, когда через поперечное сечение русла проходит значительная доля наносов, расчет дает занижение в 2-4 раза по сравнению с измеренными. Связано это с тем, что в период половодья решающая роль в формировании стока наносов принадлежит бассейновой эрозии, а рассматриваемый метод базируется на анализе транспортирующей способности руслового потока.

Следующий шаг в теории описания процесса формирования стока речных наносов выполнил Г.И.Швебс. Он предложил генетическую формулу, записанную по аналогии с генетической формулой стока воды при условии, что время добегания воды и наносов равны [59]. Однако полученные им аналитические выражения не имеют строгого решения.

Созданная Г.И.Швебсом школа эрозионоведения нашла свое продолжение в работах С.А. Антоновой [60], А. А. Светличного С.Г., Чорного [61] и др.

Н.И. Россинский и В.К. Дебольский [62] при аналитическом расчете мутности предложили начальную эпюру мутности разбивать на источники и сводить задачу к расчету сокращения (осаждения) недостатка насыщения потока наносами. Используя изложенную авторами методику расчета можно определять интенсивность размывов дна (или отложений) в каналах или речных участках.

Теорию генетического формирования стока наносов продолжил развивать в своей работе Н.И. Алексеевский [63]. На основании его теории можно выделить в составе наносов две составляющие. Одна из них связана с

внешними, другая - с внутренними источниками формирования стока наносов. Внешние генетические составляющие стока наносов представляют собой часть общего переноса минеральных частиц, связанную с развитием совокупности процессов выветривания в пределах водосборного бассейна. Роль внутренних механизмов изменения стока наносов на участке реки сводится к увеличению или уменьшению содержания в потоке минеральных частиц различного диаметра. Изменение их содержания является следствием возникновения, направленного массообмена в системе поток - русло.

Несмотря на рассмотренные в работе [63] теоретические аспекты массообмена в системе поток - русло практически ценные результаты получаются в результате эмпирических расчетов и имитационного моделирования.

В настоящее время большее развитие получили **эмпирические методы определения стока наносов**. Все эти методы можно разбить на три группы: методы построения карты мутности, методы построения карт эрозионных коэффициентов и методы получения эмпирических формул стока наносов, связывающих его с основными определяющими природными факторами.

Наиболее распространенным является метод **построения карт мутности**, предложенный в 1939 г. Г. В. Лопатиным. Его первая карта средней многолетней мутности рек Европейской территории СССР была опубликована в 1941 г. На карте Г.В Лопатина было выделено всего 8 зон мутности. В 1949 г. автором была опубликована карта средней мутности всей территории СССР. В связи с расчетом заиляемости водохранилищ на малых реках Б.В. Поляковым была предложена зависимость для переходного коэффициента от зон мутности на карте к мутности на малых реках площадью менее 300 км². Позднее была опубликована работа Г.И. Шамова, в которой представлен новый вариант карты средней мутности рек СССР и поправочных коэффициентов [52].

Вопросу формирования карт мутности рек Украины посвящены многолетние исследования Н. И. Дрозда и З.А.Горецкой. В 1966 году ими была опубликована первая карта мутности рек Украины [64]. Позднее карта уточнялась З.А.Горецкой [65] для Карпат и Днепро-Молочанского междуречья. Авторы предложили формулу для расчета значений среднегодовой мутности при отсутствии наблюдений.

В 1972 году К.Н.Лисициной на основе использования региональных карт получена уточненная карта мутности СССР, отличительной особенностью которой является более полное использование наблюдений по малым рекам [66].

Сток речных наносов - процесс, довольно заметно реагирующий на изменение уровня хозяйственной деятельности. Как показали исследования, выполненные С.А. Антоновой для большинства рассматриваемых рек в 1965 г. отмечен переход к новым условиям формирования наносов [60]. В связи с этим в работе решалась задача построения карты средней мутности рек, отражающей природную и хозяйственную ситуации на водосборах рек. Вместе

с тем, необходимо было выявить характер произошедших антропогенных изменений стока взвешенных наносов.

В основу решения поставленной задачи С.А. Антоновой был положен анализ карт мутности, полученных для двух расчетных периодов: с начала наблюдений по 1965 год и с 1960 по 1980 год. Для их построения использованы материалы наблюдений по 155 пунктам, расположенным на малых и средних реках с площадью водосборов не более 50 тыс. км².

Выделение границ регионов проводилось на основе комплексного анализа природных условий с привлечением схем физико-географического, геоморфологического, гидрологического районирования, карты расчлененности овражно-балочной сетью.

По данным С.А. Антоновой [60] в Карпатах средняя мутность рек сравнительно невелика, благодаря значительной залесенности водосборов, хотя для небольших водотоков бассейна р. Днестр и р. Прут характерно формирование селей. За исключением рек Притиссенской низменности, входящих в регион мутности 50-100 г/м³, все остальные реки отнесены к региону 100-250 г/м³.

Сравнительный анализ карт мутности, соответствующих двум расчетным периодам (до 1965 и с 1960 г. по 1980 г.) показал, что наиболее устойчивыми к антропогенному воздействию на процессы формирования стока наносов оказались реки, протекающие по Украинскому Полесью и Приднепровской низменности. Распределение мутности во второй расчетный период осталось практически неизменным, отмечается лишь незначительное смещение к югу границ регионов 20-50 г/м³ и 50-100 г/м³.

В работе [60] отмечено, что более заметные изменения произошли в центральной и особенно горной частях Украины. Так, например, значительное увеличение мутности отмечается в бассейнах Карпатских рек. Здесь в период с 1960 года уже отсутствует регион мутности 50-100 г/м³, охватывавший ранее реки Закарпатья, но вместе с тем большее распространение получил регион мутности 250-500 г/м³. Кроме того, произошло увеличение мутности (до 1220 г/м³) в средней части бассейна Днестра. Причина, вызвавшая эти изменения - резкое возрастание интенсивности денудационных процессов в результате вырубки лесов на склонах, увеличения доли распахиваемых площадей.

Уменьшение средней мутности отмечается на большинстве равнинных рек и особенно значительное - на реках Приазовья и бассейна Северского Донца. Связаны эти изменения, как правило, с аккумуляцией наносов водохранилищами, довольно многочисленными на рассматриваемой территории.

Таким образом, составленные С.А. Антоновой карты мутности позволили получить оценку стока взвешенных наносов неизученных рек Украины, более приближенную к реальным условиям, чем предшествующие карты. Кроме того, ее карты дают качественную и количественную характеристику антропогенных изменений стока наносов для различных регионов исследуемой территории [60].

В 2004 г. в книге А.В. Яцыка была опубликована обновленная карта мутности рек составленная по данным наблюдений на 170 постах 100 рек Украины [67].

В Российской федерации карты мутности рек составляются и публикуются в различных документах практически регулярно. С одним из последних вариантов можно ознакомиться в работе [68]. Из-за невысокой точности метод построения карт мутности может служить преимущественно для ориентировочной оценки.

Метод определения наносов по зависимости, устанавливающей связь со стоком воды и с показателями рельефа использовали В.Г. Глушков, В.М. Маккавеев, Б.В. Поляков и др. Влияние всех остальных природных факторов этот метод учитывает косвенно, посредством некоторого обобщенного коэффициента, называемого многими авторами эрозионным и определяемого обратным расчетом, исходя из известной величины R .

Впервые зависимость подобного рода получена В.Г. Глушковым, а затем преобразована Б.В. Поляковым [69] к виду:

$$R = \alpha \cdot 10^4 Q \sqrt{I}, \quad (2.16)$$

где R – расход наносов; I - уклон водотока; α - коэффициент, характеризующий подстилающую поверхность (эрозионный коэффициент), Q - расход воды в реке.

Распределение эрозионного коэффициента подчиняется закону географической зональности. Б.В. Поляковым была составлена карта изолиний для европейской части СССР и Кавказа и установлена связь между α и характеристикой почвы. Эрозионные коэффициенты определены и районированы многими исследователями для различных регионов, например, И.А. Кузником [70] - для Поволжья, Г.Н. Хмаладзе [71] - для Армении, В.В. Сластихиным [72] - для Молдавии, К. Н. Лисицыной [73] для рек Северного Казахстана и Европейской территории союза.

Дальнейшее развитие этого метода шло на основе детальных региональных проработок условий формирования наносов. В результате, с целью уточнения расчетных зависимостей менялись показатели степени при Q , I , а также вводились дополнительные параметры. Так А.Н. Агаронян [59] включил показатель, зависящий от площади леса, озер и болот (территорий, где наносы практически не формируются).

К.Н. Лисицина [73] для территории Казахстана предложила определять модуль взвешенных наносов как произведение эрозионного коэффициента бассейна на продольный уклон реки в степени n .

С.А.Ахундов [74] оперирует уже мутностью потока и ставит ее в зависимость от параметра

$$\left(\frac{F^{1.5}}{W} \right)^{1.6}, \quad (2.17)$$

где F – площадь водосбора, W - объем стока воды. Выражение (2.17) названо физико-географическим параметром.

Г.И. Швевс предложил использовать эрозионный параметр, который должен характеризовать интенсивность смыва и размыва на водосборе и учитывать, по возможности, поступление продуктов этого процесса в речную сеть [74]. Для его получения используется метод прямой оценки условий, определяющих формирование склоновых наносов, а не обратный расчет, как в работах, рассмотренных выше. Для определения эрозионного параметра была предложена карта изолиний [75].

Третий метод предполагает разработку региональных эмпирических формул связи мутности, расхода или модуля стока взвешенных наносов с основными факторами, в числе которых главное внимание уделяется уклону реки или водосбора.

Принципиальная возможность подобного решения была изложена еще Г.В. Лопатыным [76]. При этом, многообразие природных условий, особенностей проявления эрозионных процессов учитывается, в отличие от рассмотренных выше формул, посредством районирования исследуемой территории. Далее для каждого из выделенных районов находится свое уравнение регрессии. Сюда можно отнести схемы районирования европейской территории СССР, выполненные Н.Н. Бобровицкой [77], К.Н. Лисициной и В.И. Александровой [78].

В работах Н.Н. Бобровицкой [77] в качестве предикторов, определяющих формирование годового стока наносов, рассматривались: норма годового стока воды, средневзвешенный уклон, модуль годового расхода 1 % обеспеченности, процент распаханности, лесистости, длина водотока, площадь водосбора, закарстованность, густота речной сети, процент зарегулированности стока и ширина водосбора. Поиск оптимальных предикторов при помощи метода пошаговой регрессии показал, что статистически значимым является только показатель стока воды.

К.Н.Лисициной и В.И.Александровой при районировании Европейской территории и Сибири в качестве гидрологических показателей эрозии использованы годовой модуль стока воды и тип водного режима, а в качестве геоморфологических показателей брались продольный уклон русла реки, средневзвешенная высота водосбора, густота речной и овражно-балочной сети, состав коренных и почвообразующих пород. Сельскохозяйственное освоение территории учитывалось долей распаханной площади, другие хозяйственные мероприятия - путем выделения однородных по антропогенным условиям районов. Для территории Средней Азии эрозионное районирование выполнено Л.Г. Ткачевой [79], Грузии - Р.В.Диаконидзе [80].

Для территории Украины зависимости стока наносов от природных условий получены З.А. Горецкой [65]. В качестве основных факторов, определяющих формирование стока наносов, приняты: модуль стока воды, средневзвешенный уклон реки и глубина речной долины. Последняя, как считает З.А. Горецкая, обуславливает интенсивность эрозионных процессов на

части водосбора, непосредственно примыкающей к гидрографической сети. Противоэрозионная устойчивость почв, также оказывающая влияние на сток наносов, учтена посредством районирования территории по характеру четвертичных отложений. Ею выделено 4 района. К I району отнесены Украинское Полесье и Приднепровская низменность, ко II району - вся остальная равнинная территория за исключением горной части, к III и IV районам - территория Украинских Карпат.

Зависимости, установленные методом множественной линейной регрессии, имеют вид:

$$\text{I район} \quad M_R = 1,2M_Q + 0,166h - 4,91 \quad (2.18)$$

$$\text{II район} \quad M_R = 10,6M_Q + 6,96I_P + 0,625h - 41,7 \quad (2.19)$$

$$\text{III район} \quad M_R = 7,17M_Q + 5,21I_P - 2,23F_{\text{л}} - 0,44H + 181,3 \quad (2.20)$$

$$\text{IV район} \quad M_R = 4,74M_Q + 154 \quad (2.21)$$

где M_R - модуль стока наносов; M_Q - модуль стока воды; I_P - продольный уклон, h - средняя глубина речной долины; H - средняя взвешенная высота водосбора; $F_{\text{л}}$ - процент залесенности водосбора.

Для рек Украинских Карпат С.Г. Кочубей с успехом использовал степенную зависимость стока наносов от расхода и параметра характеризующего особенности формирования стока наносов в определенном районе [81]. Причем автор пришел к выводу, что данная зависимость, для рек Украинских Карпат имеет более тесную связь, чем зависимость $R = aN$ которую использовал в своих работах В.П. Светицкий [82]. Под N В.П. Светицкий понимал мощность потока, рассчитываемую как $N = Q\Delta H$, где ΔH - превышение средней высоты бассейна над створом измерений наносов.

В книге А. В. Яцыка [67] для расчета стока наносов рек Украины предлагается использовать формулы, составленные З.А. Горечкой, как наиболее надежные и обоснованные.

Экспериментальные исследования современного стока наносов в приустьевой части Днестра выполнялись Ю.Д. Шуйским и А.А. Стояном [83, 84]. Авторы отметили, что частицы до 0,01 мм проходят через Дубосарское водохранилище и оседают до приустьевого участка. Средний годовой сток взвешенных наносов Днестра перед Днестровским лиманом изменяется от 2021 до 4751 тыс. т/год. Это значительно меньше, чем наблюдается в районе поста «Бендеры» (почти в 250 км выше по течению).

Общие закономерности стока наносов рек Украины и Днестра рассматривались в работах В.И. Вишневого, И.П. Ковальчука, Є.В. Василенко, В.В. Гребеня, О.В. Пыльпович, А.Б. Михнович, З.А. Розлач и др.

В работе [85] при изучении стока наносов последних десятилетий отмечено их некоторое снижение, которому, по мнению автора, способствовало уменьшение хозяйственной деятельности и выравнивание внутригодового распределения стока, обусловленное глобальным

потеплением. Зависимость сезонного распределения стока наносов от фаз водности рассмотрена в работе С.В. Василенко, В. В. Гребеня [86]. Так, для территории Юго-Восточного района Крымского полуострова при многоводной фазе максимум стока наносов приходится на весенний сезон, а в маловодную фазу - на зимний. Внутригодовое распределение стока воды и наносов левобережных притоков Днестра исследовано В. В. Гребенем [87]. По его данным весенняя часть твердого стока за период 1983-2000 гг. по сравнению с периодом до 1982 г. уменьшилась на 12,5 %, для других сезонов установлен рост до 4,8 % летом и осенью. Такое перераспределение стока наносов по сезонам объясняется изменениями климатических характеристик – теплой мягкой зимой и влажным летом. Весеннее половодье становится нечетко выраженным, без значительного роста водности.

Пылыпович О.В. в результате хронологического анализа изменений денудации бассейновых систем выделила два характерных периода [38, 40, 41]. Первый, длившийся с 1963 по 1980 год, характеризуется экстремально высокими показателями стока взвешенных наносов для бассейновых систем Карпат, и связан, прежде всего, с интенсивной вырубкой леса в конце 60-х, середины 70-х годов. Второй 1980-2005 гг., характеризуется уменьшением интенсивности денудации водосборов карпатских притоков Днестра и некоторым увеличением интенсивности денудации в бассейновых системах Предкарпатья.

И.П. Ковальчук и А.Б. Михнович провели глубокий и многогранный анализ динамики стока речных систем верхней части Днестра [43]. Авторы проанализировали причины и экологические последствия многолетнего изменения стока наносов. Кроме того, они признали рациональным продолжение исследований по изучению наносов Днестра при удлинении ряда наблюдений.

А. Г. Ободовский и З.А. Розлач выполнили исследования вертикальных деформаций русел рек с учётом анализа зависимостей между основными морфодинамическими параметрами русла [88]. Это позволило установить определённую закономерность в тенденциях развития вертикальных русловых деформаций в бассейне Верхнего и Среднего Днестра. Правобережные Карпатские притоки и сам Днестр характеризуются превалированием эрозионных процессов в руслах рек, сопряжённых с их размывами. Что касается левобережных Волыно-Подольских водотоков, то фоновым процессом в их руслах является аккумуляция, т.е. отложение наносов. Осуществлена оценка динамики крупности руслоформирующих наносов и определена устойчивость русел рек бассейна [89]. Установлено, что в руслах рек правобережных приток наблюдается увеличение крупности донных наносов, что касается левобережных рек-притоков, на них зафиксировано уменьшение среднего диаметра руслового аллювия.

P. Griffiths, R. Hereford, and R. Webb [90] исследовали наносы рек, проходящих через пустынные районы США. Интенсивность и периодичность наносов определяли по отложениям наносов на дно и содержанию Цезия-137 в

этих слоях. Установлена периодичность в колебаниях стока, которая составляла от 2,6 до 7,3 лет (средняя 4,7 года). По графику хронологического хода интенсивности наносов выделяют влажные и засушливые периоды (рис. 2.2). Интервал с 1942 по 1978 гг. выделен как засушливый период, который потом вновь сменяется влажным.



Рисунок 2.2 – Интенсивность отложения наносов на реках, протекающих через пустыню Мо́аве (штаты Невада и Калифорния). Анализ основан на данных 52 станций [90].

В работе [90] также отмечается, что на исследуемой территории количество наносов уменьшается при увеличении площади водосбора рек и основная их часть образуется в зимний период, когда выпадает наибольшее количество осадков.

Х. Lu, D. Higgitt [91] используют в качестве предпосылки для своих расчетов исследования D. Alford [92], которые не обнаружили увеличение твердого стока рек Таиланда, несмотря на интенсивную вырубку лесов (1950-1990 годы) и развитие земледелия. Авторы анализируют динамику стока наносов реки Янцзы, годовой сток которой оценивается в 280 млн. т [91]. Для привязки к периодам хозяйственного развития Китая весь период наблюдений был разбит на три. 1956-1967 (период великого прыжка), 1968-1977 (культурной революции) и 1978-1987 (ответственности за реформы). Анализ данных по периодам был проведен не совсем корректно, без разбивки рек по площадям водосборов. Можно отметить лишь главный вывод, что автор отмечает тенденцию к увеличению стока наносов.

J. L. Guyot, N. Filizola, J. Quintanilla, J. Cortez [93] исследовали сток наносов на притоках Амазонки. Диапазон расходов на исследуемых реках колебался от 4 до 100 000 м³/с. Для аппроксимации экспериментальных данных авторы использовали логарифмические и степенные зависимости наносов от расхода воды. Так например для реки Rio Madeira (створ в городе Vista Alegre,

Бразилия), использовалась зависимость $R = 0.00783Q^{1.73}$, где R сток наносов (т/день), Q - расход воды в диапазоне от 7000 до 80000 м³/с.

Аналогичные обширные исследования наносов в 90-х годах прошлого столетия были проведены Fazli Ozturk для рек Турции [94], David Archer для рек Кении [95], где тоже использовалась степенная зависимость, D. M. Hicks, J. Hill, U. Shankar для рек Новой Зеландии [96] и др.

В Италии после 2005 г. широкое распространение получило моделирование стока наносов в зависимости от различных эрозионных параметров [97] или геоморфологических и эрозионных [98].

Оценка распределения твердого стока рек Японии приведены в работе К. Оно и др. [99]. В работе отмечается, что сток наносов в реках Японии в значительно большей степени зависит от размыва русла, чем от эрозии поверхности почв. Приводятся данные о наличии 5-7 летней цикличности в стоке наносов, прогнозируется рост наносов на 17-18 % в первой половине XXI века и до 22 % во второй половине века.

Изменения стока наносов при вырубке леса исследовалось в работе Maruyappa, L. и др. [100]. На исследуемых реках Малайзии лесозаготовительные работы увеличивают содержание наносов в 3-5 раз в зависимости от уровня воды в реке.

При исследовании наносов рек Новой Зеландии J. Hoyle, M. Hicks, H. Roulston традиционно используют регрессионные модели и чаще всего рекомендуют расчетные зависимости либо от слоя стока, либо от максимальных расходов [101, 102]. Для некоторых рек учет только этих предикторов описывает 95 % дисперсии стока наносов. В расширенных моделях используется также связь с уклоном водосбора, процентом пахотных земель, пастбищ, урбанизированных территорий и т.п. Для большинства рек наблюдается ниспадающий тренд стока наносов.

Широкий обзор используемых моделей для расчета стока наносов и эрозии почв приведен при публикации результатов международной гидрологической программы UNESCO [103, 104, 105, 106]. В этом сборнике работ приведены современные наиболее часто используемые модели от простейших регрессионных [103] до логических, теоретических, гидромеханических и гидродинамических [105]. Двух мерные стохастические модели нашли применение при изучении влияния растительности на эрозию почв и сток наносов [106]. Комбинированные модели, использующие теоретические и практические элементы, могут оказаться перспективными, но их применение ограничено сложностью решений во многих практических случаях [104].

Регрессионные модели расчета стока наносов от среднегодового расхода на реках провинции Ардабила (Иран), по данным работы А. Е. Ouri и А. Ghorbani дают коэффициенты корреляции от 0,8 до 0,9 [107]. К наиболее значимым факторам формирования стока наносов рек этого региона являются среднегодовой и максимальный расходы.

Исследованию самой проблематичной реки с точки зрения наносов посвящена работа [108]. В работе исследуются взвешенные наносы и крупные (0,08-0,1 мм) наносы, а также наиболее эффективные способы защиты водохранилищ от заиления.

Факторы, влияющие на сток наносов в бассейне крупнейшей реки Колумбии (р. Магдалена) определяли в работе [109]. В работе исследовались 32 реки площадью от 320 до 59 600 км². Годовой модуль твердого стока на этих реках изменяется от 128 до 2200 т/км². На основании статистического анализа авторы приходят к выводу, что среднегодовой сток описывает 51 % дисперсии искомых данных, два фактора – среднегодовой и максимальный сток 58 %. Наиболее значимые, по мнению авторов, шесть факторов которые в разных комбинациях описывают от 75 до 89 % дисперсии. Для бассейна р. Магдалена — это поверхностный сток, осадки, интенсивность осадков, средняя высота бассейна, средний расход воды, уклон поверхности. Одновременно в регрессионных моделях используются до четырех факторов. Анализ временных рядов (от 10 до 25 лет) показал, что в 68 % бассейнах наблюдается повышение стока наносов, а в 32 % снижение наносов.

2.3 Характеристика материалов наблюдений за стоком взвешенных наносов

Недостаточность исходных метеорологических данных не дала возможности предшествовавшим исследователям [38, 44, 52, 57, 60, 75, 81 и др.] всесторонне изучить роль различных факторов в формировании стока взвешенных наносов.

К настоящему времени уже накоплен обширный материал стационарных наблюдений за стоком взвешенных наносов, хотя не всегда качество этих материалов можно считать удовлетворительным. По данным Киевской и Харьковской гидрометобсерваторий, точность определения стока взвешенных наносов составляет ± 20 -30%, при этом в большинстве случаев данные следует считать заниженными [111]. Согласно результатам исследований, проведенных К.В.Разумихиной и Е.С.Семеновой, средние ошибки измерения величин расходов взвешенных наносов, тех лет, немного меньше и составляют от 5% до 25% [111].

Первые наблюдения за стоком наносов на Украине были начаты в 1919 г. на Днепре в связи с проектированием ГЭС им. В.И.Ленина. В 1934 г. открываются наблюдения на р.Жванчик и т.д. Эти наблюдения были непродолжительными и отличались невысокой точностью измерений.

Систематические стационарные наблюдения начали осуществляться лишь в послевоенные годы: в 1946-1950 годах они проводились на 38 постах рек Украины и только 3 на Днестре. Широко разворачиваются наблюдения за

стоком наносов начиная с 1960 года. Количество постов в то время достигло максимального значения, а с 1980-х годов стало уменьшаться.

При выполнении настоящей работы использованы материалы наблюдений за стоком наносов гидрометеорологической службы Украины за весь имеющийся период наблюдений по 2010 г. включительно. Наблюдения на постах начали осуществляться в разные годы и по ряду причин некоторые были закрыты. Список постов, на которых проводились наблюдения за наносами приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Годы наблюдений за стоком наносов на гидрологических постах в бассейне Днестра (номера в таблице соответствуют номерам в табл. 1.3).

№	Река	Пункт	Годы наблюдений	№	Река	Пункт	Годы наблюдений
1	Днестр	С.Стрелки	1964-2010	5	Днестр	Г.Галич	1947-2010
2	Днестр	Г.Самбор	1950-2010	6	Днестр	Г.Залещики	1949-2010
3	Днестр	Пгт.Роздол	1966-2010	7	Днестр	С.Жванец	1964-1982
4	Днестр	С.Журавно	1976-2010	9	Днестр	Г.Могилев-Подольский	1951-1960 1965-2010
Правые притоки Днестра							
10	Быстрица	с.Озимина	1958-2010	24	Славска (пр.р.Опор)	Пгт.Славское	1964-1977
12	Стрый	с. Матков	1964-1977	25	Рожанка (пр.р.Опор)	С.Ружанка	1964-1977
13	Стрый	с.Завадовка	1962-2010	26	Головчанка (пр.р.Опор)	С.Тухля	1965-2010
14	Стрый	Г.Турка	1954-1961	27	Орава (пр.р.Опор)	Х.Святослав	1976-2010
16	Стрый	С.Новый Крапивник	1970-1984	29	Свича	С.Заречное	1964-2010
17	Стрый	С.Сопот	1984-1993	30	Лужанка	С.Гошев	1966-2010
18	Стрый	Пгт. Верхнее Синевидное	1951-2010	31	Сукель	С. Тисов	1966-2010
20	Яблонька	Г.Турка	1965-1977	33	Ломница	С.Перевозец	1962-2010
22	Рыбник	С.Рыбник	1965-1984	37	Быстрица-Надворнянская	С.Пасечна	1968-2010
23	Опор	Г.Сколе	1960-2010	42	Быстрица	С.Ямница	1961-1988
Левые притоки Днестра							
46	Щерек	Пгт. Щирец	1965-1998	65	Збруч	С. Завалье	1976-2010

50	Гнилая Липа	Пгт.Большовцы	1963-1998	67	Жванчик	С. Ластовцы	1964-2010
51	Золотая Липа	Г. Бережаны	1963-2010	68	Смотрич	С. Купин	1955-2010
55	Коропец	С. Коропец	1966-2010	70	Мукша	С. Малая Слободка	1954-1995
60	Серет	Пгт. Великая Березовица	1977-1998	76	Лядова	С. Жеребиловка (Лядова)	1970-2010
61	Серет	Г. Чертков	1948-2010	82	Каменка	С. Каменка	1960-1975
64	Збруч	Г. Волочиск	1977-1998				

Для подтверждения правильности величин стока взвешенных наносов, опубликованных в “Государственном водном кадастре”, в центральной геофизической обсерватории выполнялись сравнения среднемесячных значений расходов наносов по длине реки и оценка тесноты связи между среднегодовыми расходами взвешенных наносов и расходами воды для продолжительно действующих постов. При этом учитывались обобщения многолетних данных справочника “Государственный водный кадастр (Многолетние данные в режиме и ресурсах поверхностных вод суши)”, а также изменения естественного режима рек.

В результате такого анализа авторы пришли к выводу, что опубликованные среднедекадные расходы взвешенных наносов, характеризуются ошибкой в пределах «+, -» 20% за исключением ниже приведенных случаев.

Перечень постов, на которых погрешность измерения стока наносов превышает среднюю.

Пост № 9. (по табл. 2.1.) р. Днестр – г. Могилев–Подольский. Естественный сток наносов изменен влиянием плотины Днестровской ГЭС в 47 км выше поста и плотины буферного водохранилища расположенной в 27 км выше.

Пост № 51. р. Золотая Липа – г. Бережаны. Естественный ход стока наносов изменен сбросами из прудов рыбного хозяйства и сбросами сточных вод города.

Пост № 55. р. Коропец – пгт. Коропец. Естественный ход стока наносов изменен сбросами из водохранилища Велесневской ГЭС в 15 км выше поста.

Пост № 61. р. Серет – г. Чортков. Естественный ход стока наносов изменен сточными водами г.Чортков и влиянием Скородинской ГЭС в 18 км выше поста.

Пост № 65. р. Збруч – с. Завалье. Естественный ход стока наносов изменен работой Кудриньской ГЭС в 6.0 км выше поста.

Пост № 68. р. Смотрич – с. Купин. Естественный ход стока наносов изменен влиянием работы водной мельницы в 1.5 км выше поста и прудов рыбного хозяйства.

Пост № 76. р. Лядова – с. Жеребиловка. Естественный ход стока изменен сбросами промышленных вод Вищеольчедаивского сахарного завода в 16 км выше поста.

Расходы взвешенных наносов вычислены для большинства постов по результатам ежедневных наблюдений мутности с учетом переходных коэффициентов от единичной мутности к средней мутности потока. Невязка расходов наносов по длине рек в отдельные месяцы объясняется локальным выпадением осадков, зарегулированностью рек и аккумуляцией наносов в водохранилищах.

Продолжительность периода наблюдений на разных постах неодинакова и колеблется от 10 до 64 лет (табл.2.2).

Таблица 2.2 – Распределение количества постов по периодам наблюдений

Число лет наблюдений	15 и меньше	16-30	31-49	50 и более	Общее количество
Количество постов	7	7	19	8	41
% от общего количества постов	17	17	47	19	100

Большинство постов (66 %) имеют продолжительность наблюдений более 30 лет. Такой процент постов с длительным периодом наблюдений позволяет с большим основанием подойти к вопросу динамики стока в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки. Однако пункты наблюдений распределены неравномерно (рис. 2.2), большая их часть сосредоточена на водосборах с площадью 500-1000 км² (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Распределение количества постов по площадям водосбора

Площадь водосбора, км ²	200 и меньше	200-500	500-1000	1000-2000	более 2000
Количество постов	8	8	11	4	10

Количество постов, %	19	19	28	10	24
----------------------	----	----	----	----	----

Очень плохо освещены наблюдениями по стоку наносов реки с площадью более 1000 км², значительная часть из которых расположена на главной реке. Недостаточно освещен наблюдениями район левых притоков Днестра от р. Верещицы до р. Золотой Липы и ниже р. Лядовой.

На правобережных притоках, в горной части от р.Ломницы до р.Быстрицы, в районе, который играет важную роль в формировании жидкого и твердого стока, имеются лишь два действующих поста.

Таблица 2.4 – Распределение количества постов по высотам водосборов

Средняя высота водосбора, м	200-300	301-400	401-600	601-800	более 800
Количество постов	4	13	4	10	10
Количество постов, %	10	32	10	24	24

Несмотря на то, что Днестр относится к рекам с высокой степенью изученности стока наносов (на р.Днестр 1 пост приходится на – 2027 км²; на р.Днепр 1 пост на – 15405 км²; на р.Южный Буг 1 пост на – 7963 км², на р.Дунай 1 пост на – 2022 км²) сеть имеющихся постов наблюдений явно недостаточна и не отвечает Европейским показателям [112] (в Словакии 1 пост на – 116 км²).

Недостаточная изученность стока наносов, особенно в пределах предгорий правобережья, и равнинно-возвышенного левобережья Днестра ставят перед исследователями задачу по разработке методов пространственной интерполяции результатов наблюдений на неизученные речные бассейны.



Рисунок 2.3 – Схема расположения постов, на которых измеряются наносы.

2.4 Сток взвешенных наносов на левобережных притоках Днестра

При проектировании и эксплуатации водохозяйственных и гидротехнических сооружений, автомобильных и железных дорог, систем водоснабжения, а также при разработке мероприятий по борьбе с наводнениями необходимо иметь достоверные сведения многолетних наблюдений по твердому стоку основных рек. Эти данные содержатся в «Ресурсах поверхностных вод СССР» и гидрологических ежегодниках государственных водных кадастров, а также в других источниках [5, 51, 113]. В исходных данных часто отсутствуют данные за один или несколько месяцев наблюдений в этот год, а соответственно и среднее значение за исследуемый год. Из-за этого прерывается ряд наблюдений, и колоссальный объем работ теряет свою значимость. В связи с чем восстановление отсутствующих значений является крайне необходимым.

Сведений о режиме стока наносов значительно меньше, чем о стоке воды, как по количеству створов, так и по продолжительности наблюдений. В результате при решении различных практических задач очень часто прибегают к косвенным методам расчета характеристик твердого стока.

Наиболее обширные и детальные исследования условий, а также общих закономерностей формирования стока взвешенных наносов проводились в 50-70-е годы прошлого века. К наиболее известным относятся монографии Г. Н. Хмаладзе [71], Ю. Н. Иванова [114]. Вопросу формирования стока наносов рек Украины посвящены многолетние исследования Н. И. Дрозда [31, 64], Г. И. Швебса [75], З.А. Горецкой [65] и других авторов, в которых взвешенные наносы изучались на разных реках бывшего Советского Союза.

Детальные исследования взвешенного стока представлены в работах Г. Н. Хмаладзе для рек Армении, Грузии, Черноморского побережья Кавказа. Автором выполнено восстановление расходов взвешенных наносов с использованием пяти методов. В первом случае расчет проводился по связям среднегодовой мутности со средней высотой водосборов. Во втором была использована карта территориального распределения значений эрозионного коэффициента. В третьем рассмотрены кривые связи $R = a \cdot Q^n$, где R — расход взвешенных наносов; Q — расход воды в реке; a — традиционно называют коэффициентом размываемости [71]; n — показатель степени, (табл.2.5). Четвертый метод базируется на построении связей между стоком взвешенных наносов и площадью водосбора. В пятом методе среднегодовой расход взвешенных наносов определяется по уравнениям множественной

регрессии включающим три предиктора – сток взвешенных наносов, сток воды и площадь водосбора.

На основе анализа предложенных подходов автор пришел к выводу, что наилучшим из всех вариантов расчета является зависимость расходов взвешенных наносов от расхода воды. Это подтверждается наименьшими по сравнению с другими вариантами расчета значениями среднеквадратического отклонения $\sigma = \pm 19,8\%$.

Изучению характеристик твердого стока горных притоков Днестра посвящена работа С. Г. Кочубей [81], в которой предлагается восстанавливать значения взвешенных наносов с помощью степенной зависимости $R = a \cdot Q^n$. Значения коэффициентов a и n для рек различных регионов приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Значения параметров a и n для различных рек и районов

Район	Автор	Диапазон изменений a для разных рек	n
Реки Армении	Г. Н. Хмаладзе	0,0018 - 0,58	0,46 - 1,69
Реки Черноморского побережья Кавказа	Г. Н. Хмаладзе	0,011 - 0,113	1,24 - 1,67
Реки бассейна Сыр-Дарьи	Ю. Н. Иванов	$3,5 \cdot 10^{-7}$ - 0,0126	2,0 - 4,0
Реки Украинских Карпат	С. Г. Кочубей	0,030 - 0,374	1,06
Река Rio Madeira (приток Амазонки)	J. L. Guyot и др.	0,00783	1,73

Авторы работ указывают, что для некоторых водотоков при построении связей среднемесячных расходов воды с расходами взвешенных наносов наблюдаются «петли», появление которых объясняется большим поступлением наносов в начальный период паводков или половодья, по сравнению с периодом спада.

Данные табл. 2.5 показывают значительную изменчивость параметров не только в пределах различных водосборов, но и по времени для одной и той же реки. Кроме того, авторы при построении зависимости $R = a \cdot Q^n$ использовали данные за все месяцы наблюдений, хотя её характер может существенно меняться в зависимости от сезона. Обобщая полученные сведения, можно сделать вывод о целесообразности использования в расчетах взвешенных наносов на реках бассейна Днестра степенной зависимости $R = f(Q)^n$.

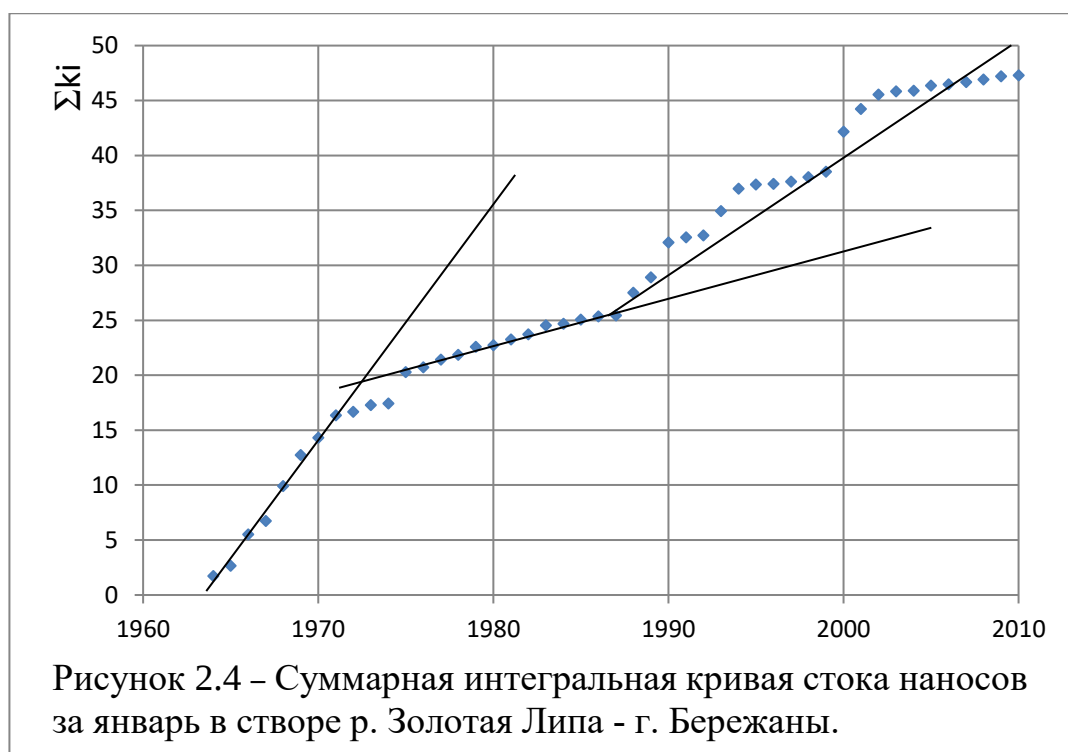
По всем рекам, протекающих в пределах исследуемой территории выбраны посты с продолжительными периодами наблюдений и отсутствием данных за некоторые месяцы (табл. 2.6).

Таблица 2. 6 – Перечень постов с пропусками в имеющихся рядах наблюдений стока наносов.

№	Река	Пункт	Месяц и год, за который отсутствуют значения стока наносов
46	Щерек	пгт. Щирец	январь, февраль, март 1965; ноябрь, декабрь 1991; январь, февраль, март 1992
50	Гнилая Липа	пгт. Большовцы	январь 1963; июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 1998
51	Золотая Липа	г. Бережаны	январь 1963
55	Коропец	с. Коропец	январь, февраль 1966
64	Збруч	г. Волочиск	июнь, июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 1998
65	Збруч	с. Завалье	январь, февраль 1976
67	Жванчик	с. Ластовцы	январь 1964
70	Мукша	с. Малая Слободка	август 1955; август 1962
76	Лядова	с. Жеребиловка	январь, февраль 1970

При восстановлении данных возникает некоторое противоречие. С одной стороны, чем больше объем выборки, тем точнее вычисляются параметры статистического распределения и определяются расчетные гидрологические характеристики, так как их случайные погрешности обратно пропорциональны длине ряда. С другой стороны, на водность рек и соответственно на сток наносов влияет хозяйственная деятельность и колебания климата, что сокращает пригодный для восстановления период. Этот период можно оценивать по однородности ряда.

Квазиоднородные периоды можно выделять используя метод суммарных интегральных кривых [115], пример построения которых показан на рис. 2.4.



Как видно из рисунка, первый “перелом” линии происходит в 1972 году, а второй в 1987 г. Эти “переломы” могут быть признаком того, что однородность ряда нарушена. По выделенным периодам была проведена оценка однородности рядов с использованием критериев Стьюдента и Фишера.

Расчетное значение критерия однородности средних (критерий Стьюдента) составляет 2,86, а критическое значение равно 2,3. На уровне значимости 0,05 средние не относятся к одной генеральной совокупности. Это в свою очередь означает, что для восстановления, пропущенного в январе 1963 г. значения стока наносов необходимо использовать только период 1963-1971 гг. Коэффициент корреляции между средним расходом воды и стоком наносов за этот период составляет 0,89, а за весь период 1963-2010 гг. его значение равно 0,2.

В результате исследования связи среднего за год расхода взвешенных наносов с годовыми и максимальными значениями стока воды получены корреляционные отношения, характеризующие степенные зависимости указанных величин (табл. 2.7.), из которой следует, что в качестве основного расчетного предиктора следует использовать средний годовой расход воды.

Таблица 2.7 – Величина достоверности - R^2 при аппроксимации стока наносов степенной функцией максимальным и средним расходом воды

Река - пост	месяц	макси-мальный	средний
Щерек – пгт. Щирец	март	0,55	0,78

Щерек – пгт. Щирец	декабрь	0,60	0,52
Гнилая Липа – пгт. Большовцы	июль	0,13	0,38
Гнилая Липа – пгт. Большовцы	декабрь	0,12	0,39
Мукша – с. Малая Слободка	август	0,51	0,73
Жванчик – с. Ластовцы	январь	0,58	0,81
Збруч – с. Завалье	февраль	0,52	0,57

Для восстановления значения стока наносов за январь 1963 на р. Золотая Липа использовалась зависимость, описываемая уравнением вида

$R = 0,0299 \cdot Q^{1,264}$, график которой представлен на рис. 2.5.

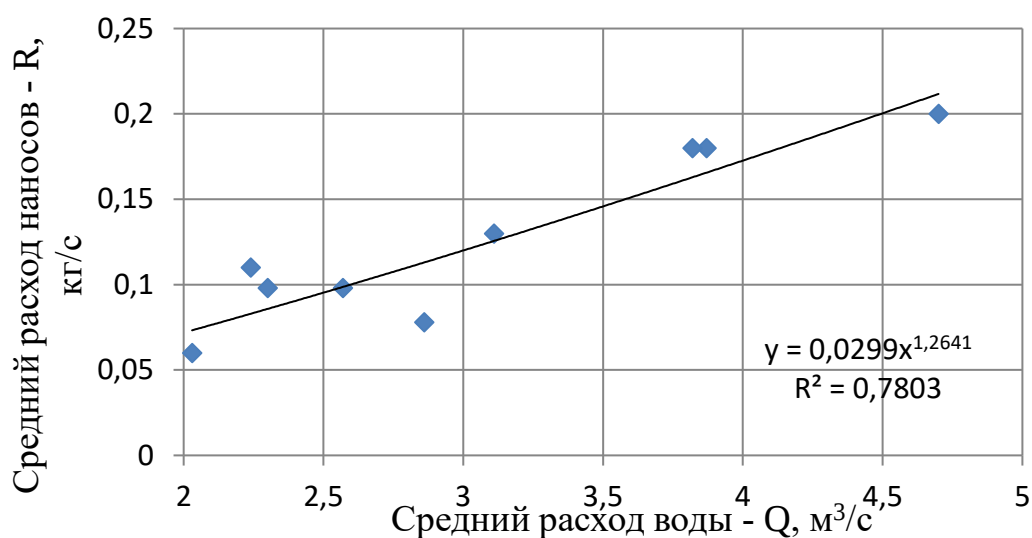
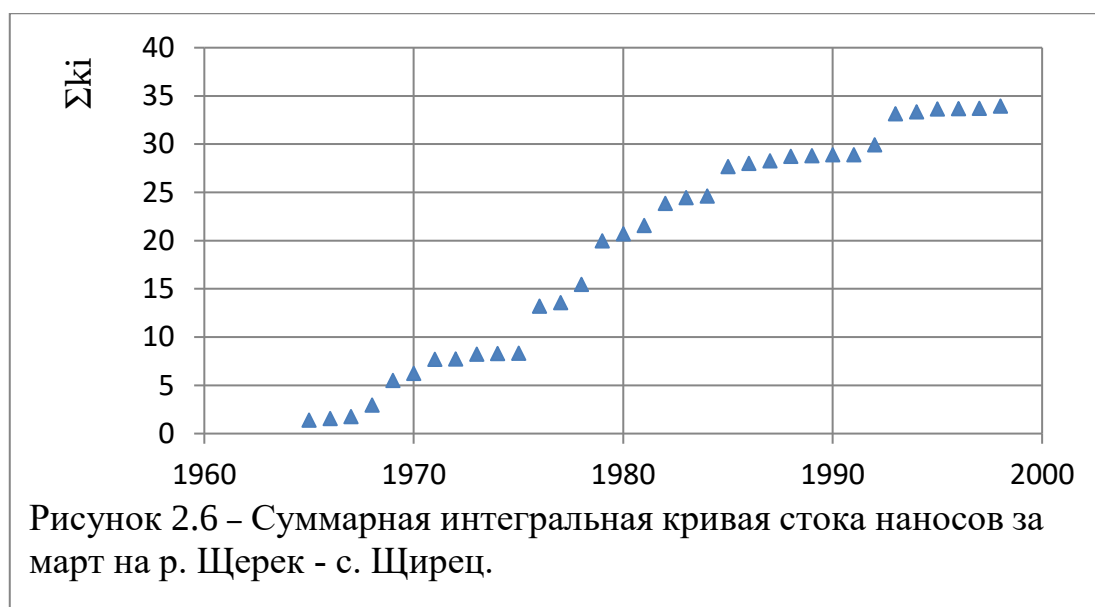


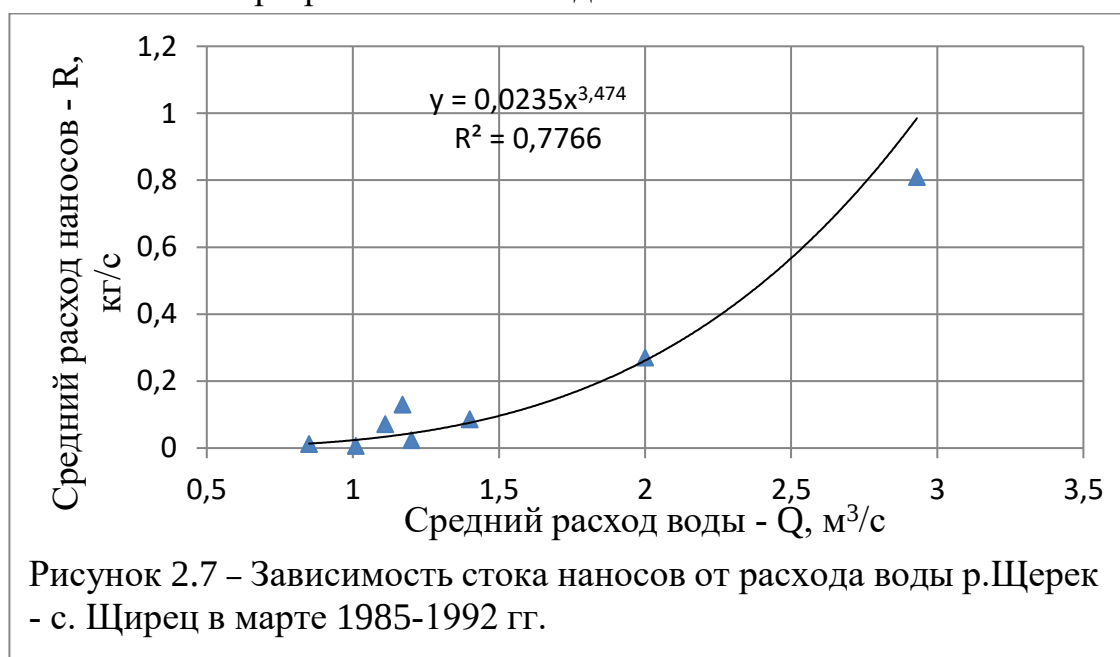
Рисунок 2.5 – Зависимость стока наносов от расхода воды р.Золотая Липа - г. Бережаны в январе 1963-1971 гг.

Восстановленное значение, рассчитанное по описанной выше методике равно 0,098 кг/с, которое в двое больше, чем предложенное в работе [116], когда восстановление происходило за период 1963-2003 гг.

Аналогично этим произведено восстановление данных в другие месяцы на разных постах. В качестве примера на рис. 2.6 показана суммарная интегральная кривая стока наносов за март на р. Щерек - с. Щирец и зависимость стока наносов от расхода воды в марте 1985-1992 гг. на рис 2.7.



Корреляция стока наносов от стока воды на р. Щирец в марте за весь период наблюдений составила 0,68, а за период 1985-1992 гг. 0,88. В этом случае восстановленное ранее [116] значение практически совпало с восстановленным по разработанной методике.



Другие уравнения и восстановленные значения сведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8 – Полученные уравнения связи и коэффициенты корреляции стока наносов и воды для некоторых постов.

№ по табл. 1.4	Река - пост	Месяц и год	Уравнение связи	Коеф. корреляции	Восстановленное значение, кг/с
46	Щерек - пгт. Щирец	март 1965	$R = 0,0236 \cdot Q^{2,42}$	0,81	0,86
		март 1992	$R = 0,0235 \cdot Q^{3,47}$	0,88	0,27
		декабрь 1991	$R = 0,0199 \cdot Q^{0,86}$	0,78	0,025
50	Гнилая Липа - пгт. Большовцы	январь 1963;	$R = 0,031 \cdot Q^{1,2}$	0,62	0,03
		июль 1998	$R = 0,0244 \cdot Q^{0,9}$	0,75	0,26
51	Золотая Липа – г. Бережаны	январь 1963	$R = 0,0299 \cdot Q^{1,26}$	0,58	0,098
55	Коропец - с. Коропец	февраль 1966	$R = 0,063 \cdot Q^{1,26}$	0,80	0,42
64	Збруч – г. Волочиск	июнь 1998	$R = 0,0153 \cdot Q^{2,38}$	0,85	0,23
65	Збруч – с. Завалье	февраль 1976	$R = 0,0159 \cdot Q^{1,14}$	0,62	0,13
67	Жванчик – с. Ластовцы	январь 1964	$R = 0,088 \cdot Q^{3,9}$	0,68	0,022
70	Мукша – с. Малая Слободка	август 1955;	$R = 0,515 \cdot Q^{1,55}$	0,68	0,51
		август 1962			0,12
76	Лядова – с. Жеребиловка	январь 1970	$R = 0,013 \cdot Q^{4,0}$	0,79	0,025

Для всех рек наблюдается значительное уменьшение расхода взвешенных наносов (рис. 2.8-2.12). Эту тенденцию можно объяснить с одной стороны возрастающим количеством прудов и водохранилищ, которые обустраиваются в бассейнах рассматриваемых рек и формирует антропогенную нагрузку на водные ресурсы. С другой стороны снижения промышленного производства с 90-х годов прошлого века и рациональное природопользование вносит свой вклад в снижение наносов. Так, на р. Золотая Липа – г. Бережаны значительный вклад в сток наносов вносят сбросы с



На р. Серет – г. Чортков естественный ход стока наносов также изменен сбросом сточных вод г. Чортков и с 1958 г. влиянием Скородинской ГЭС, расположенной в 18 км выше поста. Но как видно из рис. 2.9 резкое повышение стока наносов наблюдалось даже после завершения строительства ГЭС во время паводков 1969 и 1979 гг. Следует отметить, что после 1979 г. в бассейне этой реки не наблюдалось столь интенсивных паводков. Так, в 1956, 1969 и 1979 гг. максимальные расходы воды были равны соответственно 313, 305 и 272 м³/с, а следующий по величине максимальный расход был зафиксирован во время паводка 2003 г. и составлял всего 113 м³/с.



Примером выраженного антропогенного влияния на сток наносов может служить график хронологического хода расходов взвешенных наносов р. Смотрич – с. Купин (рис. 2.10), на котором отчетливо видно последствия создания в начале 80-х годов пруда водяной мельницы, расположенной в 1.5 км выше поста.

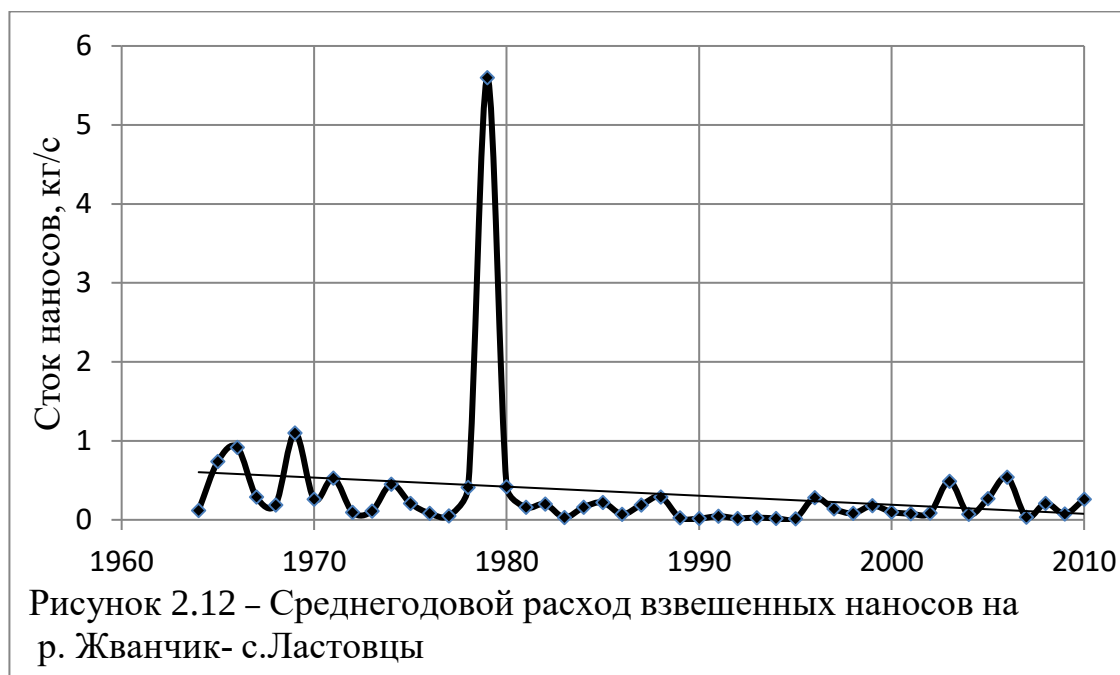


Одной из немногих рек, не претерпевших существенных антропогенных изменений и на которой ведутся наблюдения за стоком наносов является р. Жванчик (рис.2.11).



Рисунок 2.11 – Р. Жванчик в районе с. Ластовцы

Однако и здесь проявляется тенденция к изменению стока наносов (рис. 2.12).



В результате анализа тенденции изменения стока наносов на Подольских притоках Днестра можно прийти к выводу, что все реки характеризуются трендом, указывающим на уменьшение стока наносов. Основной причиной этого является отсутствие за последние 30 лет паводков, которые имели место в 1956, 1969, 1979 гг. Другой по важности причиной можно считать воздействие большого количества водохранилищ на реках, в которых оседает значительная часть наносов и которые снижают максимальные расходы на реках. По данным [117] на притоках Днестра только в пределах Тернопольской области обустроено 24 водохранилища и 770 ставков. Третья причина – уменьшение сброса неочищенных сточных вод, которые также повышали содержание наносов в реках. Так, по данным экологического паспорта Тернопольской области сбросы неочищенных стоков в поверхностные водные объекты уменьшились с 3,63 млн м³ в 2003 г, до 2,81 млн м³ в 2005 г и до 2,5 млн м³ в 2010 г.

2.5 Сток взвешенных наносов на правобережных притоках

Характер стока наносов, которые переносят правые притоки Днестра, в первую очередь обусловлен водным режимом, характерным для горных рек. Верхние правые притоки Днестра – Стрый, Свича, Ломница, Быстрица и др. – берут начало на северо-восточных склонах Украинских Карпат. По выходе с гор реки вступают в полосу предгорий, сложенных песчано-известняковыми

отложениями. Транзитные наносы горных рек частично аккумулируются в нижнем течении. Местные же водотоки обладают небольшой транспортирующей способностью, вследствие чего мутность этих водотоков здесь ниже, чем в прилегающих горных районах. Горные реки юго-восточных склонов Карпат, несмотря на формирование бурных паводков переносят относительно мало взвешенных наносов. Местами этому препятствует значительная облесенность склонов речных долин, недостаток в продуктах водной эрозии мелкозема. Это деление не охватывает всего многообразия стока наносов. Здесь на небольших водосборах возможно образование и прохождение селевых паводков и потоков, с других же водосборов стекают воды с малым количеством наносов.

Для рек, стекающих с Карпатских склонов, был произведен отбор ряда постов, с наиболее продолжительным периодом наблюдений за стоком взвешенных наносов [5, 113], но наличием пропусков в наблюдениях (табл. 2.9).

Таблица 2.9 – Перечень постов на Карпатских притоках Днестра с пропусками данных по стоку наносов в отдельные месяцы

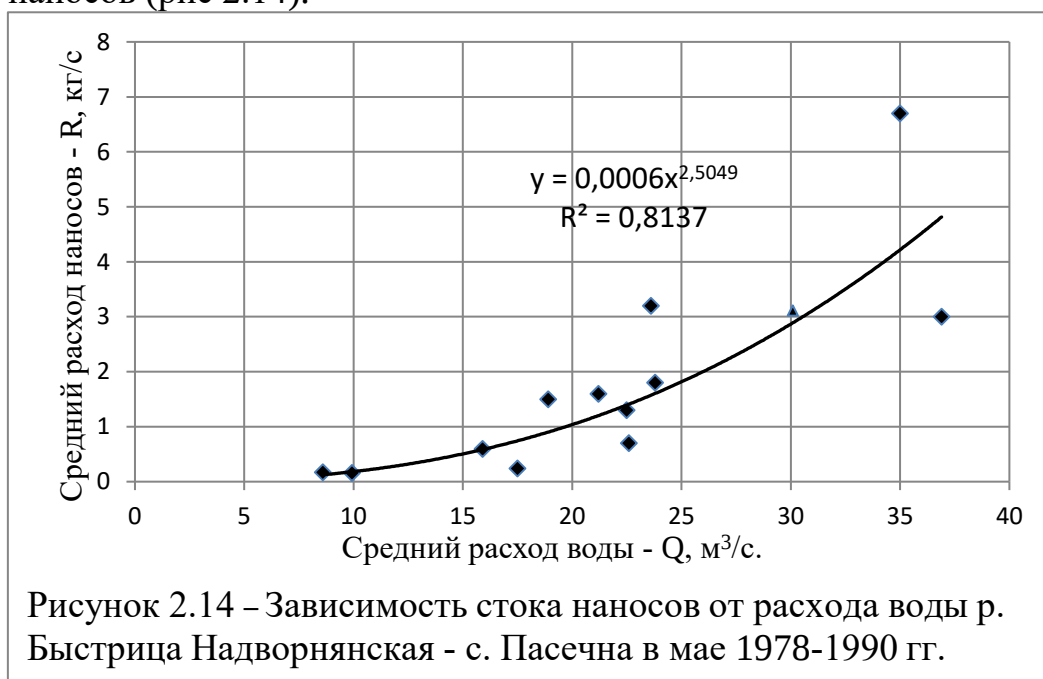
№ по табл. 1.4	Река	Пункт	Месяц и год, за который отсутствуют значения стока наносов.
10	Быстрица	С. Озимица	январь, август 1959; август 1966; июнь 1969; октябрь, ноябрь, декабрь 1991; январь, февраль, март 1992.
13	Стрый	С.Завадовка	август-декабрь 1991; январь-май 1992.
18	Стрый	Пгт.Верхнее-Синевидное	октябрь-декабрь 1991; январь-апрель 1992.
23	Опор	Г. Сколе	январь, февраль 1960; июнь, июль 1969; май 1971; январь 1972; август-декабрь 1991; январь - апрель 1992.
26	Головчанка	С.Тухля	январь, февраль, март 1965; июль 1971; октябрь, ноябрь, декабрь 1991; январь, февраль, март 1992.
27	Орава	Х.Святослав	октябрь, ноябрь, декабрь 1991; январь-июль 1992.
29	Свича	С.Заречное	январь, февраль 1964; январь, февраль 1965.
30	Лужанка	С.Гошев	июнь 1966; май, июль 1969; декабрь 1991; январь, февраль, март 1992.
31	Сукель	С.Тисов	ноябрь 1966; октябрь- декабрь 1991; январь- апрель 1992.

37	Быстрица-Надворнянская	С. Пасечна	ноябрь 1973; май 1980.
----	------------------------	------------	------------------------

Для восстановления пропущенных значений была использована методика, изложенная в предыдущем подразделе. Так, например, для определения расхода наносов за май 1980 г. на р. Быстрица Надворнянская - с. Пасечна был выбран период с 1978 по 1990 гг. (рис. 2.13). Линейная корреляция стока наносов с расходом воды на этом отрезке достигает значения 0,85, тогда как во всем диапазоне 1968-2010 гг. только 0,44.



Восстановление выполнено по уравнению линии связи расхода воды и наносов (рис 2.14).



Точность восстановления пропущенных значений более высокая по сравнению с данными полученными в работе [118], когда восстановление выполнялось по стоку наносов на реках аналогах. Аналогичные уравнения связи были получены для других рек (табл. 2.10).

Таблица 2.10 – Уравнения связи стока наносов и расхода воды в определенные месяцы.

№	Река - пост	Месяц и год	Уравнение связи
10	Быстрица – с. Озимица	Март 1992	$R = 0,0083 \cdot Q^{2,8}$
13	Стрый – с. Завадовка	Май 1992	$R = 0,27 \cdot Q^{1,05}$
18	Стрый-Пгт.Верхнее-Синевидное	Декабрь 1991	$R = 0,00007 \cdot Q^{2,79}$
23	Опор - Г. Сколе	Май 1971	$R = 0,0061 \cdot Q^{1,9}$
26	Головчанка - С.Тухля	Июль 1971	$R = 0,041 \cdot Q^{2,28}$
29	Свича - С.Заречное	Февраль 1965	$R = 0,0166 \cdot Q^{1,45}$
30	Лужанка - С.Гошев	Июнь 1969	$R = 0,105 \cdot Q^{1,49}$
31	Сукель - С.Тисов	Апрель 1992	$R = 0,0104 \cdot Q^{1,63}$
37	Быстрица Надворнянская – с. Пасечна	Май 1980	$R = 0,0006 \cdot Q^{2,51}$

Следует отметить, что в 60 % случаях восстановленные по данной методике значения стока наносов практически ($\pm 5\%$) совпали с полученными в работе [118].

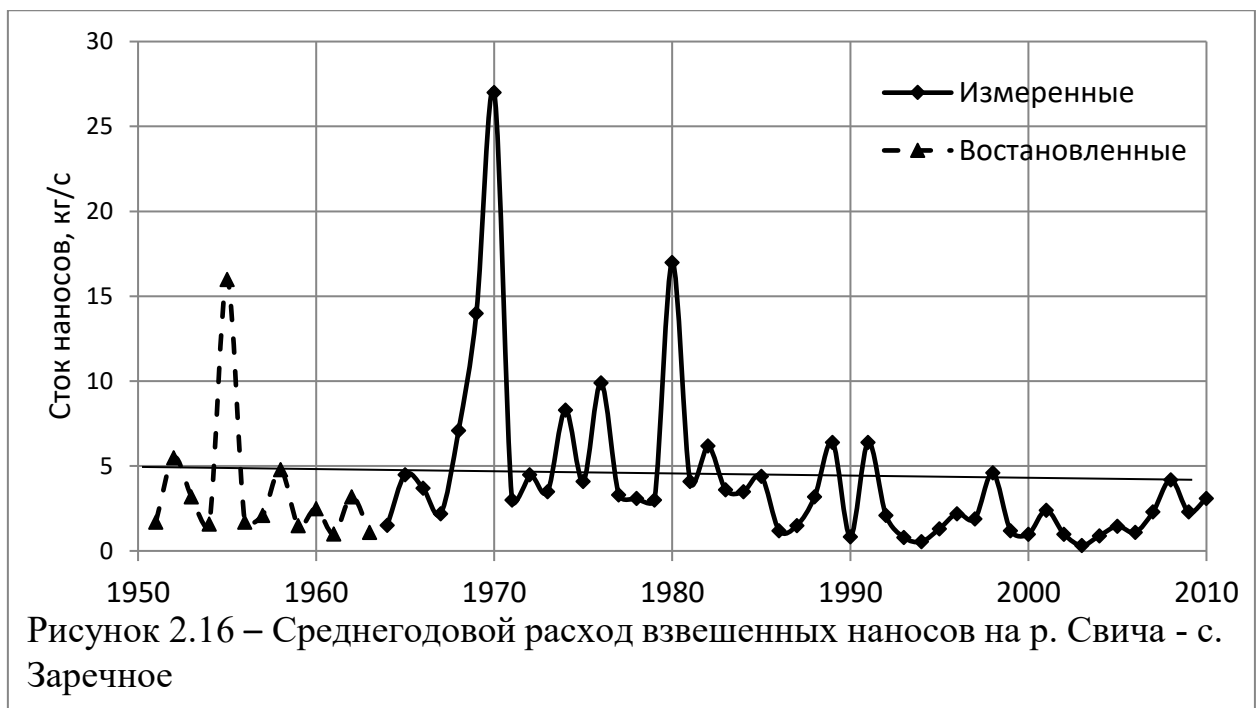
Как уже отмечалось, среднемесячные значения стока наносов позволяют восстановить среднее значение за год и получить непрерывный ряд за весь период наблюдений.

Наиболее длинный ряд наблюдений для большого по площади водосбора (2400 км²) правого притока Днестра – р. Стрый створ – пгт. Верхнее Синевидное (рис. 2.15), в хронологическом ходе которого статистически значимых трендов не выявлено.



К другим наиболее крупным правым притокам р.Днестр на которых ведутся наблюдения за стоком наносов относятся р. Свича - с.Заречное (1280 км²), р.Ломница – с. Перевозец (1490 км²).

Наблюдения за наносами на этих постах начались несколько позже, в 1964 г. и 1962 г., соответственно. Для приведения рядов к одному периоду наблюдений ряды были удлинены на основе связей между среднегодовым стоком наносов и расходом воды. Методика восстановления среднегодовых значений аналогична методике расчета для среднемесячных значений стока наносов. Графики среднегодовых расходов взвешенных наносов на р. Свича - с. Заречное и р. Ломница - с.Перевозец вместе с восстановленными значениями показаны на рис. 2.16 и 2.17, из которых видно, что тренды в колебаниях расходов наносов отсутствуют.



В результате анализа стока наносов правых притоков р.Днестр можно прийти к выводу, что за 1951-2010 гг. существенных тенденций в изменении стока наносов не выявлено.

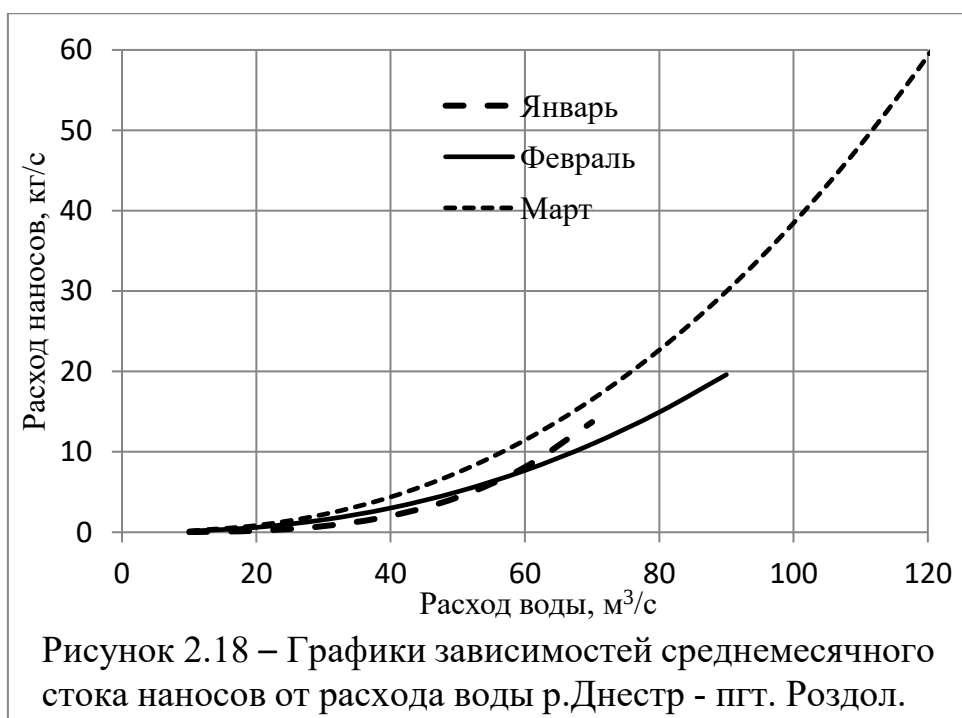
2.6 Сток взвешенных наносов главной реки – Днестр

Ряды наблюдений за стоком наносов в русле главной реки – Днестр также имеют значительное количество пропусков (табл. 2.11).

Таблица 2.11 – Перечень отсутствующих значений по стоку наносов на постах р.Днестр

№	Пост	Месяц и год, за которые отсутствуют значения стока наносов
1	С.Стрелки	январь, февраль 1964; январь, февраль 1965; октябрь 1969; декабрь 1991; март, апрель 1992
2	Г.Самбор	март, апрель, май, июнь 1957
3	Пгт.Роздол	июль 1980; ноябрь, декабрь 1991; январь, февраль, март 1992
5	Г.Галич	август, - декабрь 1955; май, - ноябрь 1956; ноябрь, декабрь 1958
7	С.Жванец	январь, февраль 1964
9	Г.Могилев-Подольский	1961- 1964, январь, февраль 1965, 1986

Как отмечалось выше, наилучшим образом восстановление отсутствующих среднемесячных значений целесообразней осуществлять по степенной зависимости типа $R = a \cdot Q^n$. Для повышения точности расчетов зависимости были построены по месяцам (рис. 2.18).



Как видно из полученных графиков в диапазоне от 8 до 70 м³/с зависимости $R = f(Q)$ практически совпадают (что свидетельствует о надежности результатов). В диапазоне более 70 м³/с, расхождения становятся более существенными, что указывает на целесообразность построения уравнения связи по месяцам (табл. 2.12).

Таблица 2.12 – Параметры некоторых уравнений регрессии вида $R = a \cdot Q^n$.

Пункт	Месяц	a	n	Пункт	Месяц	a	n
Стрелки	январь	0,0038	2,39	Роздол	январь	$7,0 \cdot 10^{-6}$	3,4
Стрелки	февраль	0,0014	2,81	Роздол	февраль	$6,0 \cdot 10^{-4}$	2,3
Стрелки	март	0,012	2,18	Роздол	март	$8,0 \cdot 10^{-4}$	2,37
Стрелки	апрель	0,0046	2,31	Роздол	июль	$1,7 \cdot 10^{-3}$	2,14
Стрелки	октябрь	0,013	2,24	Роздол	ноябрь	$3,0 \cdot 10^{-4}$	2,33
Стрелки	декабрь	0,010	2,16	Роздол	декабрь	$6,0 \cdot 10^{-4}$	2,22

По полученным уравнениям регрессии и расходам воды были восстановлены пропущенные значения расходов взвешенных наносов. Важным моментом является то, что восстановленные значения стока за определенный месяц позволяют восстановить в конечном итоге ряды среднегодовых значений. Результаты восстановления представлены в табл. 2.13.

Таблица 2.13 – Значения восстановленных среднегодовых расходов взвешенных наносов на р. Днестр

Пункт	Год	Восстановленные значения, кг/с	Пункт	Год	Восстановленные значения, кг/с
Стрелки	1964	1,26	Галич	1956	23,8
Стрелки	1965	0,83	Галич	1958	17,6
Стрелки	1969	3,29	Могилев-Подольский	1965	255
Стрелки	1991	0,89	Могилев-Подольский	1961	44,5
Стрелки	1992	0,52	Могилев-Подольский	1962	116
Самбор	1957	0,79	Могилев-Подольский	1963	63,4

Роздол	1991	15,8	Могилев-Подольский	1964	100
Роздол	1992	5,2	Могилев-Подольский	1986	3,3
Галич	1955	117,5			

Восстановленные в настоящей работе значения стока наносов в большинстве случаев совпадают со значениями, полученными в более ранней работе [119].

Особый интерес вызывает распределение во времени стока взвешенных наносов на посту «Могилев-Подольский», который расположен на 27 км ниже Днестровского водохранилища. Само водохранилище относительно новое, его заполнения проводилось с 1981 по 1987 г. Во-первых, ни в одном из источников [5, 113] не оказалось данных по стоку с 1961-1964 гг. и 1986 г. Для решения задачи восстановления стока наносов пришлось разбить ряд наблюдений на два интервала: до начала заполнения водохранилища и после (рис. 2.19). После заполнения водохранилища сток наносов изменился и связь с расходом воды нарушилась, что вызвано интенсивным их осаждением в Днестровском водохранилище.

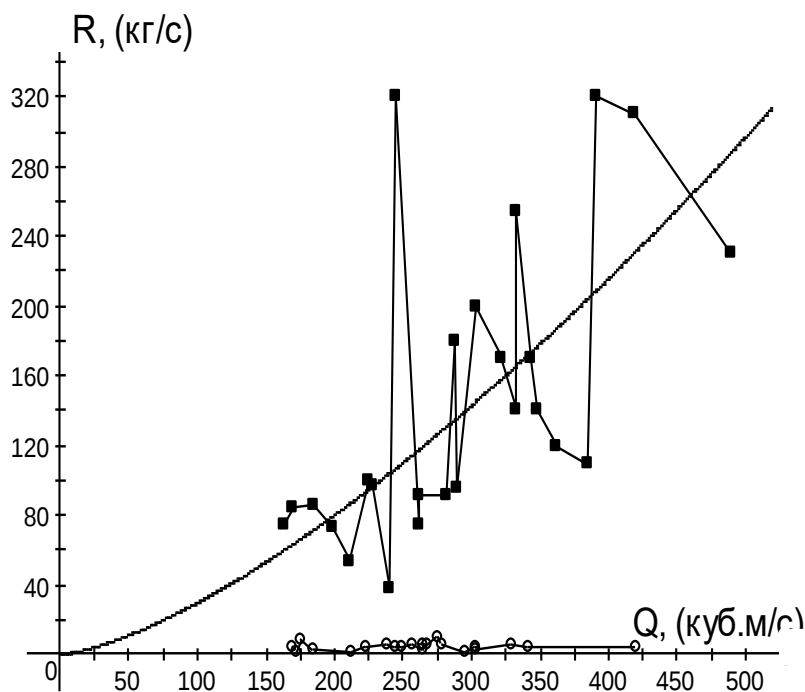


Рисунок 2.19 – График $R = a \cdot Q^n$ для поста г. Могилев-Подольский. ■ – до заполнения водохранилища, ● - после заполнения.

Для постов самого верхнего участка Днестра наблюдается незначительное (статистически незначимое) увеличение расходов взвешенных наносов. Для примера приведены графики изменения стока наносов на постах г. Самбор (рис. 2.20) и г. Галич (рис. 2.21).



На участке до г. Самбор формирование стока р.Днестр осуществляется главным образом за счет правых притоков. Самой полноводной является р.Стрый, которая, как уже упоминалось в предыдущем разделе, имеет тенденцию к увеличению стока наносов.



Ниже г. Галич в Днестр впадают крупные левые притоки (Золотая Липа, Гнилая Липа, Коропец), которые имеют тенденцию к уменьшению стока наносов (см.разд. 2.4). Поэтому в районе г.Залещики (рис. 2.22) и ниже по р.Днестр колебание количества наносов стабильны (без наличия трендов).



Выводы по 2 разделу. В работе исследованы данные по среднемесячным и годовым расходам воды и взвешенным наносам р.Днестр в ее верхнем и среднем течении до с. Каменка за период 1950-2010 гг. Рассмотрены отдельно данные по левым (Подольским) и правым (Карпатским) притокам р.Днестр. Общее количество рассмотренных рядов стока наносов составляет 41, из них к Подольским притокам принадлежат 12, к Карпатским 20 и 9 на р.Днестр. Многие из рядов имеют пропуски наблюдений. Восстановление пропущенных значений выполнялось на основе построения регрессионных зависимостей вида $R=aQ^n$, т.е. по данным о стоке воды. Такой подход позволил повысить точность расчета расходов взвешенных наносов по сравнению с методом аналогии.

Анализ многолетних колебаний стока наносов за период 1950-2010 гг. показал существование различий в особенностях колебаний годовых значений на Подольских и Карпатских притоках.

В результате анализа тенденции стока наносов на Подольских притоках Днестра можно прийти к выводу, что все реки имеют тренд к уменьшению стока наносов. Основной причиной является отсутствие за последние 30 лет паводков, которые имели место в 1956, 1969, 1979 гг. Следующей по важности причиной можно назвать строительство большого количества водохранилищ на реках, в которых оседает значительная часть наносов и которые сглаживают максимальные расходы на реках.

На правых притоках Днестра за период 1951-2010 гг. не произошло существенных изменений тренда стока наносов, что свидетельствует о стабильности условий формирования стока.

На главной реке Днестр выявлены тенденции увеличения стока наносов на верхнем участке до г. Галич и отсутствие тренда ниже г. Залещики. Объясняется это тем, что ниже г. Галич в Днестр впадают крупные левые притоки (Золотая Липа, Гнилая Липа, Коропец) которые имеют тенденцию к уменьшению стока наносов. Эти выводы подтверждаются работами А. Г. Ободовского и З.А. Розлач в которых правобережные Карпатские притоки и сам Днестр характеризуются преобладанием эрозионных процессов. В левобережных Волыно-Подольских водотоках фоновым процессом в их руслах является аккумуляция, т.е. отложение наносов.

Недостаточная изученность стока наносов, особенно в пределах предгорий правобережья, и равнинно-возвышенного левобережья Днестра ставят перед исследователями задачу по разработке методов пространственной интерполяции результатов наблюдений на неизученные речные бассейны.

3 ДИНАМИКА ВОДНОГО РЕЖИМА И СТОКА НАНОСОВ НА РЕКАХ ПОДОЛИИ

3.1 Многолетняя изменчивость климата и водного режима рек Подолии

Еще в 30-е годы прошлого века В.Г. Глушков [120] предсказывал, что одной из важнейших задач гидрологии будет изучение влияния деятельности человека на водные ресурсы и водный баланс.

В последние годы интерес к оценке и прогнозу количественных изменений водных ресурсов еще более возрос в связи с реально наблюдающимися изменениями климатических характеристик (рост температуры воздуха, увеличение повторяемости катастрофических гидрометеорологических явлений). Антропогенные изменения климатических характеристик столь значительны [121], что это приводит к существенным преобразованиям гидрологического цикла, количества водных ресурсов, их распределения во времени и пространстве. Преобразование характеристик стока рек, в результате изменения климата, нельзя не учитывать при разработке долгосрочных планов комплексного использования и охраны водных ресурсов, при проектировании долговременных водохозяйственных мероприятий.

В книге, посвященной описанию современного состояния рек и гидрологических характеристик стока рек Украины, В.И. Вишневский и А.А. Косовец [51] указывают на уже произошедшие определенные изменения в стоке рек. Отмечается тенденция к увеличению стока рек в маловодные годы, рост меженного стока и уменьшение максимальных расходов в период половодий. По мнению авторов, этому способствовало изменение климата на территории Украины (увеличение температуры воздуха в зимний период, снижение высоты снежного покрова, уменьшение глубины промерзания почв). Это касается как зарегулированных, так и незарегулированных рек. Исключение из общего списка составляют реки Украинских Карпат (Тиса, Днестр), на которых происходит увеличение максимального стока воды [51].

В дальнейших своих работах В.И. Вишневский продолжает развивать идею выравнивания внутригодового распределения стока в результате повышения температур воздуха, особенно в зимний период [122, 123]. Исследование изменений стока р. Днепр в работе В.К. Хильчевского, В.В. Гребеня, И.М. Ромася и др. [124] показало незначительное изменение суммарного годового стока, а также выявило перераспределение стока внутри года. Материалы их исследований свидетельствуют об изменении стока в отдельных ландшафтно-географических провинциях бассейна Днепра. Общей

является тенденция увеличения величины годового стока в пределах бассейна р. Днепр с запада на восток, соответствующая увеличению годовой суммы осадков за период 1950-2001 гг. Если в западной и юго-западной частях отмечается некоторое уменьшение (на 3-7 %) величины стока, то в восточной и юго-восточной его частях наблюдается повышение этих характеристик (на 7-10 %).

В работах по моделированию речного стока Украины на основе модели "климат-сток" [125], в условиях изменения глобального климата получены результаты, которые предсказывают увеличение теплоэнергетических ресурсов климата до 11 %. Предположение изменения водности определяются прогнозом соотношения ресурсов тела и влаги. По сценарию GFDL лаборатории геофизической гидродинамики США, предполагается уменьшение годового стока рек Украины на 25%, а на территории Причерноморья - на 40-60%. Расчеты изменения состояния водных ресурсов бассейна Днестра, с учетом антропогенного воздействия, при глобальном потеплении по сценарию CCCM Канадского климатического центра показали уменьшения водности на 35 % [126]. Наиболее значительное уменьшение будет наблюдаться в степной зоне до 61 %. Согласно сценарию, UKMO метеорологического бюро Объединенного Королевства, должно произойти общее уменьшение водности на 35 %, а в степной зоне на 57 %. Расчеты по нестационарным моделям длительного прогнозирования GFDL (2070-2080) показывают уменьшение водности Днестра на 60 % [126].

Согласно данным, полученными в Киевском национальном университете имени Тараса Шевченко (кафедра гидрологии и гидроэкологии географического факультета) [127] развитие глобального потепления в пределах Украины развивается без значимого изменения общего годового стока рек Украины. К аналогичным выводам приходят ученые Одесского экологического университета при рассмотрении изменчивости речного стока в бассейне левобережного Днестра [128].

В ОГЭКУ на протяжении многих лет выполняются расчеты водных ресурсов Украины на основе модели «климат-сток», разработанной проф. Гопченко Е.Д. и проф. Лободой Н.С. [129, 130, 131, 132, 133, 134, 135]. Модель позволяет использовать для расчетов стока метеорологические данные сценариев глобального потепления. Расчет изменения водных ресурсов выполнялся на базе данных сценариев проекта ENSEMBLES и сценариев RSP (Representative Concentration Pathways). Рассматривались сценарии семейства A1B, A2, B2, а также сценарии RCP 7.5 RCP 8.5. В большинстве из этих сценариев результаты, полученные для горной части р.Днепр, показывают, что существенного их изменения происходить до середины XXI столетия не

будет. Аналогичные выводы сделаны и в работах С.И. Снижко [136, 137, 138, 139], использовавшем для расчета водных ресурсов Украины модель водного баланса в модификации Z. Kaszmarek.

Влияние климатических показателей на сток равнинных рек Подольской возвышенности в рассмотренной литературе освещено слабо. Однозначного мнения по вопросу тенденции водного режима рек Украины и бассейна Днестра пока не существует. Выяснение этого вопроса требует постоянного пополнения изучаемого материала новыми и обновления исходных данных с учетом текущих изменений климата и гидрологических характеристик рек.

Три уровня организации гидрологических систем имеют свою аналогию в таксономическом ряду и делятся на три уровня микро-, мезо- и макроуровни. В.В. Гребень и ряд других авторов считают, что в качестве индикаторов изменения водного режима рек целесообразно использовать бассейны средних рек, поскольку именно они отображают зональные черты условий формирования стока [127]. Поэтому в перечень рассматриваемых объектов включены две ландшафтно-гидрологические «провинции» с площадью водосборов более 3000 км², восемь ландшафтно-гидрологических «районов» с площадью 700-900 км² и два «подрайона» с площадью водосбора около 300 км², на которых проявляется влияние подстилающей поверхности. Рек, соответствующих таким масштабам ландшафтно-гидрологических систем как «субконтинент» и «зона» на рассматриваемой территории, не имеется. Особенности рядов наблюдений и таксономические данные рек подробно рассмотрены в работе [116]. Основные метеорологические характеристики взяты по метеостанции Тернополь, поскольку она расположена близко к центру территории Подолии, а в качестве дополнительной информации использовались данные метеостанции Львов.

При рассмотрении основных климатических факторов исследуемой территории за 1864-2010 гг. отмечается увеличение средней годовой температуры на 1,0 °С, рис. 3.1 (тренд является статистически значимым).

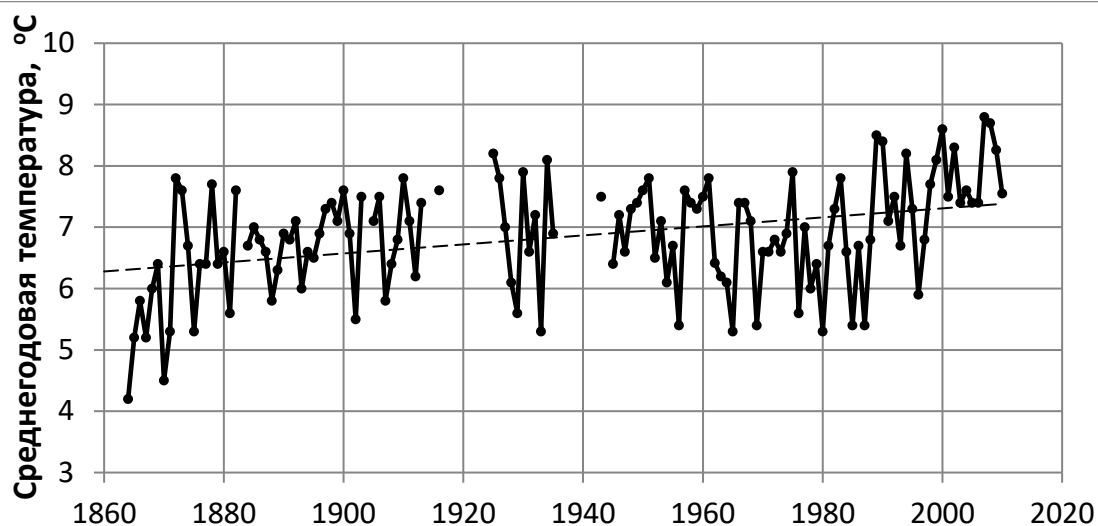


Рисунок 3.1 – Многолетние изменения температуры по метеостанции

В изменении годовых осадков направленных изменений не установлено (рис. 3.2).

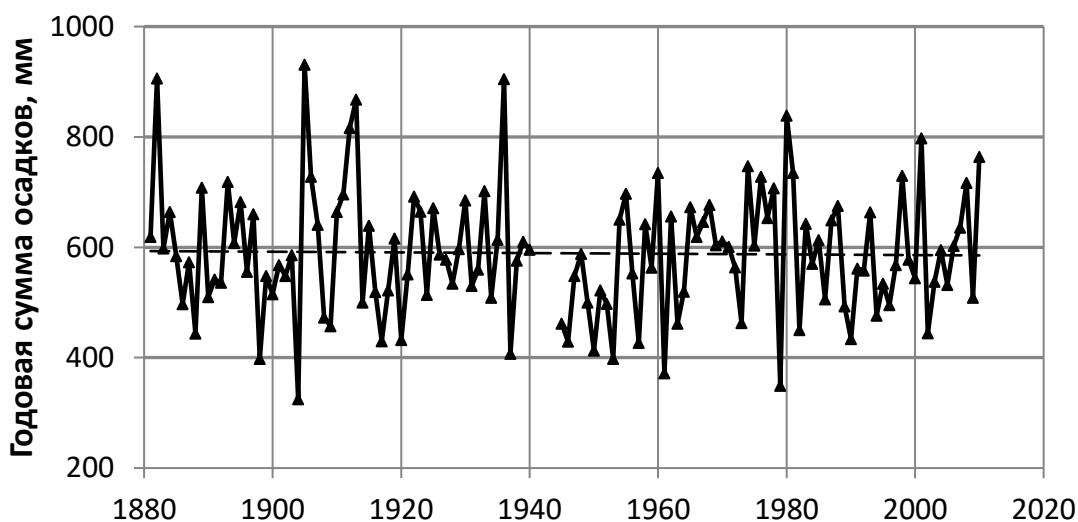


Рисунок 3.2 – Многолетние изменения осадков по метеостанции г.Тернополь

Несмотря на относительно небольшое расстояние от г.Львова до г.Тернополя (около 120 км) количество осадков в Северо-Западной Подолии (метеостанция г. Львова) значительно выше и составляет 710 мм (по сравнению с 590 мм для метеостанции г. Тернополь). В Юго-Восточной Подолии количество осадков практически не меняется и на метеостанции г. Могилев-Подольский также составляет – 590 мм.

Имеющиеся данные по наиболее длинному непрерывному ряду стока р.Серет-г.Чортков свидетельствуют об отсутствии направленного изменения (рис. 3.3).

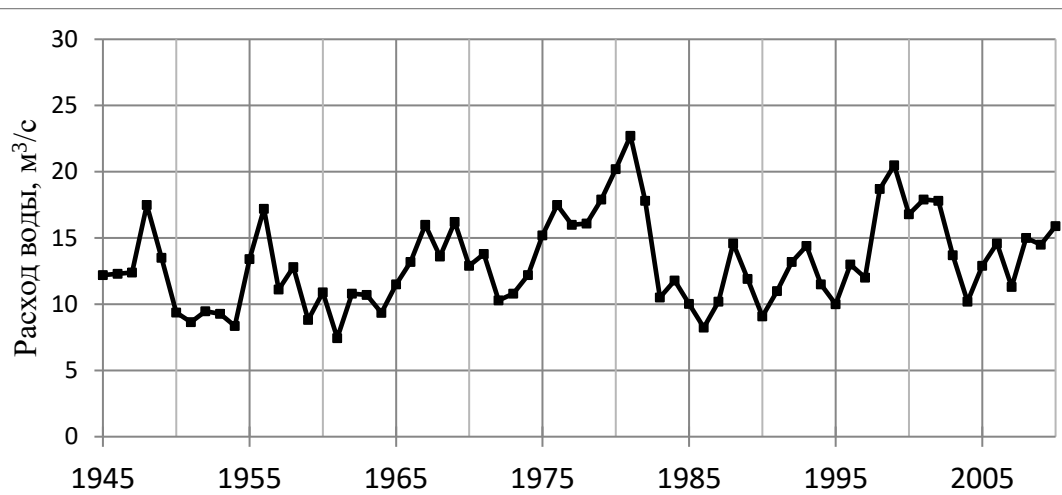


Рисунок 3.3 – Многолетние изменения стока р. Серет-г.Чортков.

В многолетних колебаниях температур воздуха (средне-многолетних и зимних) отчетливо просматривается переход из отрицательной фазы в положительную произошедший в 1988 г. (рис. 3.4, рис. 3.5)

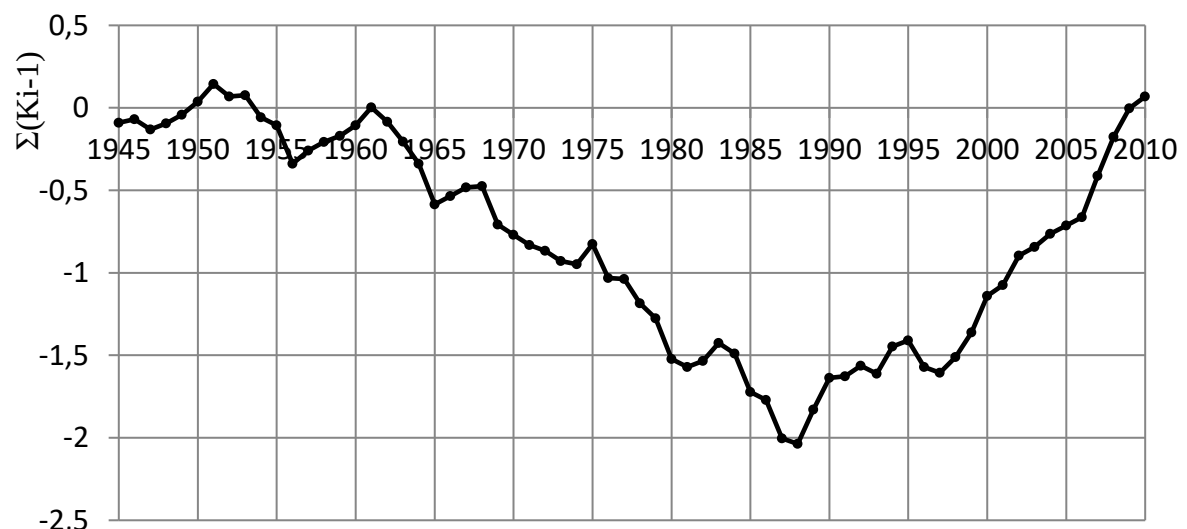


Рисунок 3.4 – Разностная интегральная кривая средне-годовых температур воздуха по метеостанции Тернополь.

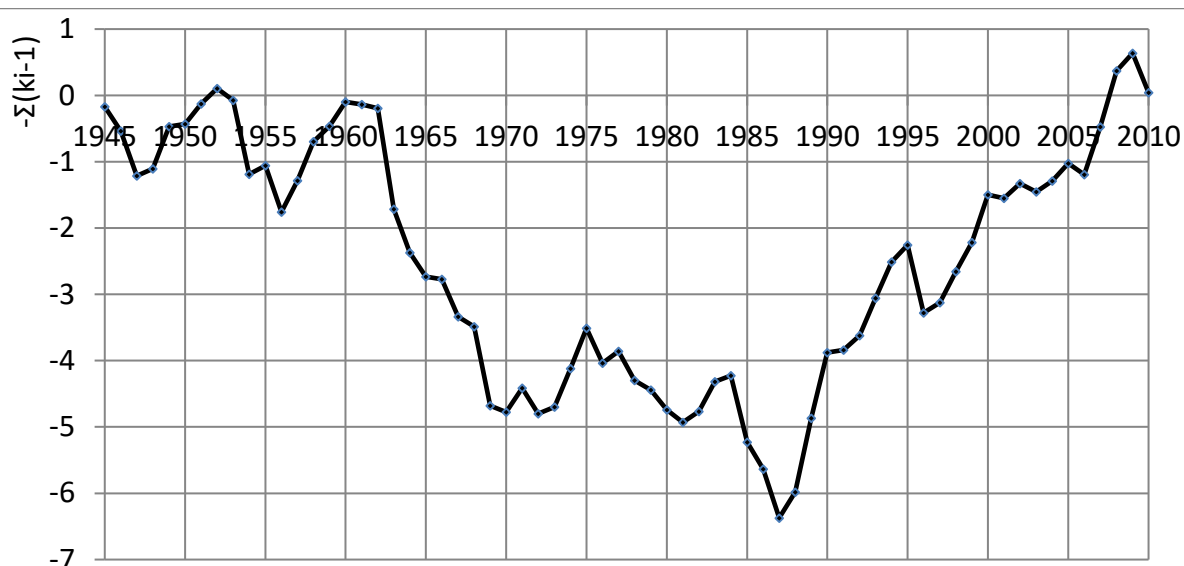


Рисунок 3.5 – Разностная интегральная кривая средней температуры зимнего сезона г. Тернополь.

В колебаниях сум годовых осадков (рис.3.6) и осадков зимнего сезона (рис. 3.7) прослеживается с начала 80-х годов маловодная фаза, отчетливо выраженная для зимнего сезона. Что касается годовых осадков, то с 1997 года произошел переход в многоводную фазу, вызванный их увеличением в теплый период года.

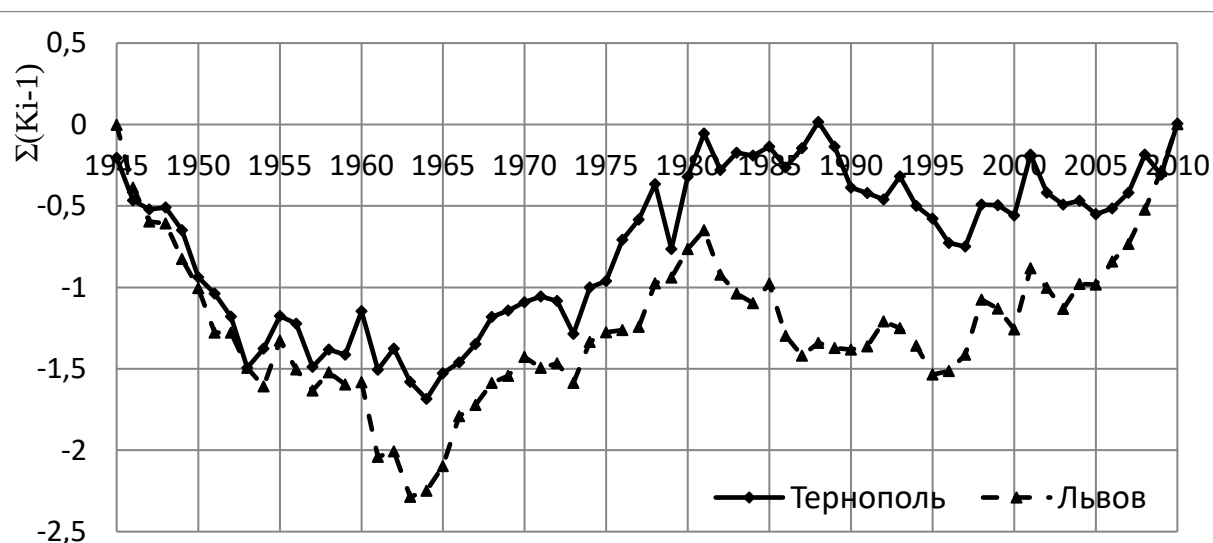


Рисунок 3.6 – Разностные интегральные кривые годовых осадков по метеостанциям г.Тернополь и г.Львов.

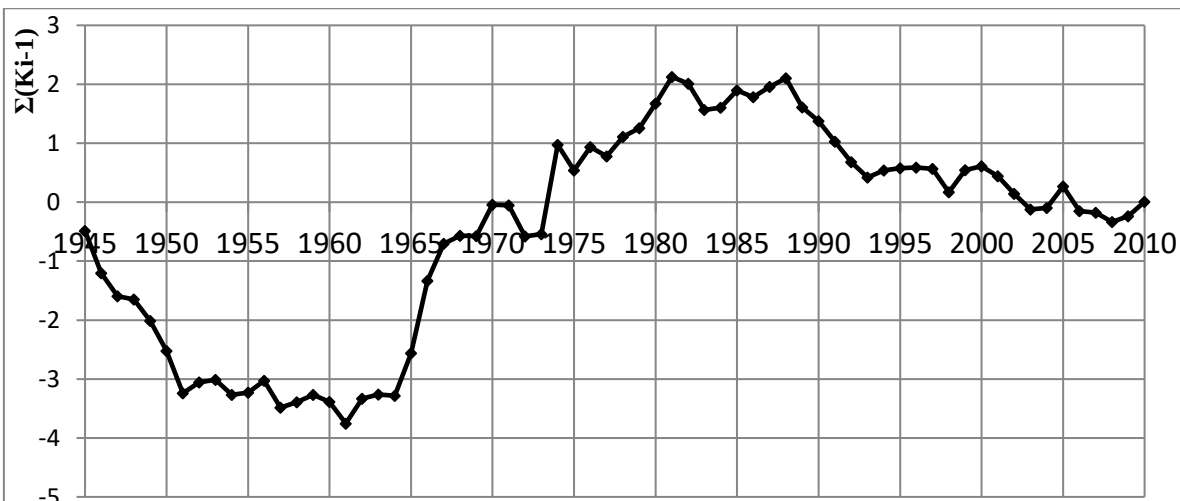


Рисунок 3.7 – Разностная интегральная кривая осадков за зимний сезон по метеостанции Тернополь.

Колебания годового стока (рис. 3.8) отражают колебания годовых осадков и с 1997 года на реках Смотрич и Серет сформировалась многоводная фаза. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что увеличение температуры воздуха в начале XXI века не оказало существенного влияния на водные ресурсы рек Подолии благодаря достаточному увлажнению территории.

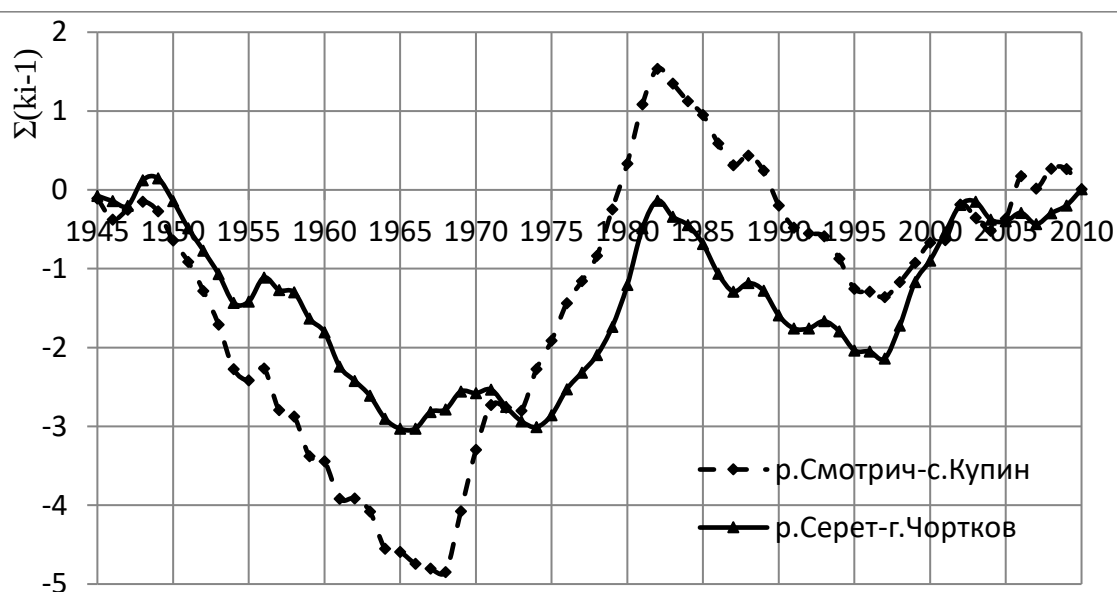


Рисунок 3.8 – Разностные интегральные кривые стока р. Смотрич и р. Серет.

3.2 Внутригодовое распределение стока на исследуемой территории

Методы расчета внутригодового распределения предполагают установления доли распределения величины распределения годового стока рек по сезонам, месяцам и декадам. Выбор методики расчета зависит от длины ряда наблюдений за стоком реки: при наличии многолетних наблюдений, при недостаточной продолжительности рядов наблюдений и при отсутствии данных. Методика расчета внутригодового распределения по сезонам и месяцам, использующая метод реального года и метод компоновки, довольно подробно представлены в литературе и нормативных документах [140, 141, 142].

Все факторы, влияющие на внутригодовое распределение стока, в соответствии с работами А.М. Владимирова [140] делятся на два типа: климатические и факторы подстилающей поверхности. К последним, как правило, относят и антропогенный фактор. С учетом генетического влияния все факторы разделены на три группы: прямые, непрямые и условные.

В первую группу включают стокообразующие (прямые) факторы. К ним отнесены осадки и подземные воды. Осадки также принадлежат к климатическим факторам, а подземные воды – к факторам подстилающей поверхности. Распределение по территории стокообразующих факторов подчиняется закону географической зональности. Режим подземного питания рек зависит от характера гидравлической связи водоносных горизонтов с рекой.

К непрямым факторам, непосредственно не принимающим участия в формировании речного стока, но влияющим на перераспределение и изменение стока во времени и пространстве (по территории водосбора) отнесены температуры воздуха и грунта, испарение с поверхности суши и дефицит влажности воздуха.

А.М. Владимиром [140] выделены также факторы, интегрально учитывающие влияние комплекса физико-географических факторов. Условные факторы включают в себя: площадь водосбора, среднюю высоту водосбора, глубину эрозионного вреза русла, уклон русла, густоту речной сети и т.д. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток отнесено к факторам подстилающей поверхности, а по генетическому влиянию – к группе не прямых факторов. Антропогенное воздействие может существенно изменять действие других факторов подстилающей поверхности.

Согласно исследованиям ученых гидрологической школы, Одесского государственного экологического университета [143, 144] факторы внутригодового распределения стока подразделяются на метеорологические

(зональные) и местные (азональные и интрозональные). Неравномерность распределения стока внутри года обусловлена, прежде всего, изменчивостью климатических (метеорологических) факторов его формирования. Температура воздуха и осадки определяют основные черты распределения стока по сезонам, месяцам, декадам. Среди местных (как аazonальных, так и интрозональных факторов) влияют на характер распределения стока леса, озера, болота. Существенно может преобразовать характер внутригодового стока такой аazonальный фактор как карст [31, 32, 33]. Высота водосборов, особенно для горных территорий является непрямым показателем влияния на внутригодовое распределение стока таких зональных (климатических) факторов как распределение осадков и температур воздуха по высоте местности.

Антропогенные факторы мезо и микромасштаба, к которым относятся водохозяйственные преобразования на водосборах (осушительные и оросительные мелиорации, регулирование стока прудами и водохранилищами) относятся к числу факторов подстилающей поверхности. В тоже время изменение глобального и регионального климата, происходящее в настоящее время, и обусловленные причинами антропогенного характера несомненно относятся к климатическим факторам [145], обуславливающим внутригодовое распределение стока.

Вся территория Подолии (по типам внутригодового распределения стока малых рек [5]), разделена на два района, в пределах которых характер распределения можно считать однородным. Это Подольский и Верхнебугский район. В пределах Подольского гидрологического района выделено два подрайона: Северо-Западной Подолии — бассейны рек Верещицы, Щерека, Зубры, Свижа и Центральной Подолии — бассейны рек от Золотой Липы до Ушицы. Бассейны рек Юго-Восточной Подолии от Ушицы до Каменки входят в Верхнебугский гидрологический район.

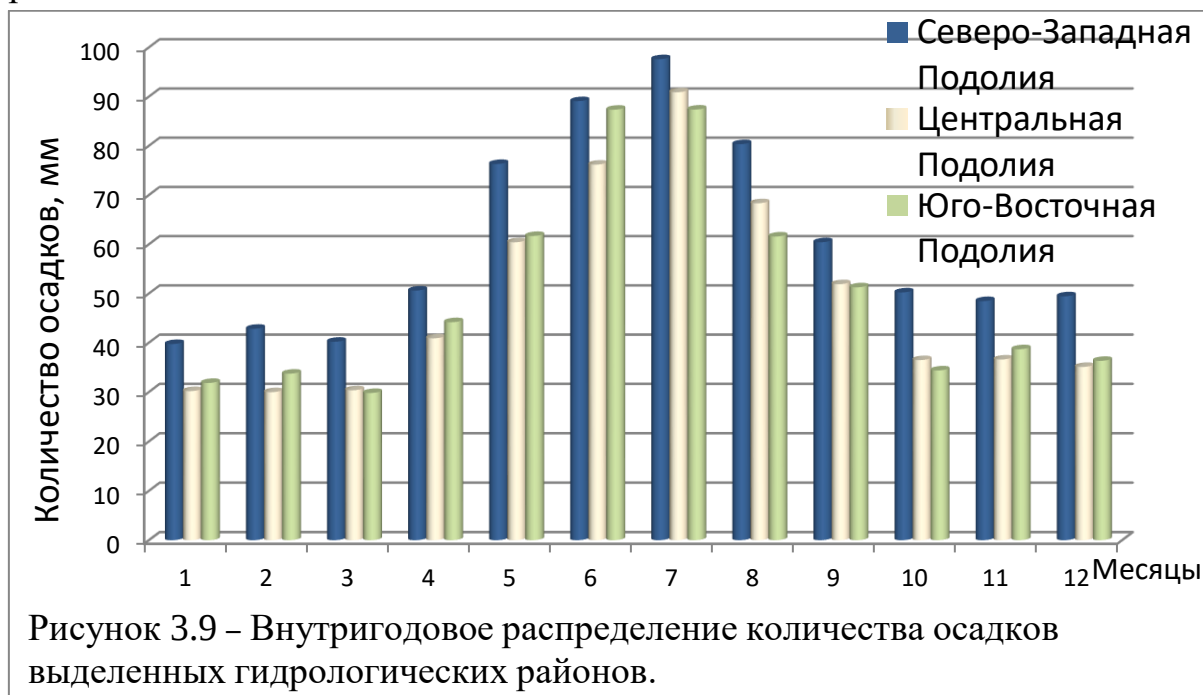
В Подольском гидрологическом районе степень зарегулирования стока прудами и водохранилищами значительно выше, что обуславливает более равномерное распределение годового стока по сезонам и месяцам, чем в других гидрологических районах бассейна Днестра. Ранее рекам этого района было свойственно ярко выраженное весеннее половодье и низкая межень, изредка нарушаемая кратковременными ливневыми паводками летом и более продолжительными дождевыми паводками осенью [5].

Количество осадков в районе Северо-Западной Подолии оценивалось по метеостанции Львов. Среднегодовая сумма осадков за период (1945-2010 гг.) составляла 725 мм. Несмотря на относительно небольшое расстояние от г.Львова до г.Тернополя, около 120 км, по метеостанции Тернополь

среднемноголетнее количество осадков значительно меньше и равно – 580 мм. Ввиду специфики распределения осадков в районе Львова, в расчетах использовались данные по метеостанции Тернополь.

Для Юго-Восточной Подолии режим осадков описываем с использованием данных по метеостанции г. Могилев-Подольский, где их среднемноголетняя сумма составляет – 590 мм.

Внутригодовое распределение количества осадков в выделенных гидрологических районах и подрайонах в графическом виде представлено на рис. 3.9.



Для всех гидрологических районов внутригодовое распределение осадков практически одинаковое с максимумом в июле.

Внутригодовой режим стока рассмотрен по подрайонам и отдельно по выделенным в предыдущем разделе периодам. Внутригодовое распределение стока на левобережной части верхнего Днестра показано в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Внутригодовое распределение стока на левобережной части верхнего Днестра за разные периоды, %.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	Северо-Западная Подолия											
1950-1982	6,4	9,9	13,2	10,9	6,1	6,3	7,1	6,1	8,5	9,2	8,0	8,0
1983-2010	5,7	5,6	7,8	8,5	6,9	10,2	9,3	8,5	14,2	9,8	6,8	6,4

	Центральная Подолия											
1950-1982	5,2	7,5	20,5	13,4	6,9	8,7	8,4	6,3	5,5	5,5	6,2	5,6
1983-2010	7,4	7,9	11,9	12,0	8,6	9,0	8,5	6,8	6,9	7,0	6,8	7,0
	Юго-Восточная Подолия											
1950-1982	10,5	9,5	15,2	10,2	6,8	6,9	6,6	6,5	6,3	6,4	6,9	7,6
1983-2010	8,0	9,0	10,7	8,9	7,8	8,2	7,9	7,7	7,4	7,5	7,5	8,0

Поскольку водохозяйственные расчеты внутригодового распределения стока проводятся не по календарным, а по гидрологическим сезонам сроки гидрологических сезонов представлены в соответствии с рекомендациями [5, 132].

Таблица 3.2 – Сроки гидрологических сезонов в соответствии [5, 146]

Гидрологические подрайоны	Гидрологические сезоны			
	Весна	Лето	Осень	Зима
Северо-Западная Подолия	III-V	VI-VIII	IX-XI	XII-II
Центральная Подолия	III-V	VI-VIII	IX-XI	XII-II
Юго-Восточная Подолия	III-V	VI-VIII	IX-XI	XII-II

Распределение стока по сезонам приведено в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Сезонное распределение стока на левобережной части верхнего Днестра за разные периоды, %.

Сезоны	Гидрологические подрайоны						Ландшафтно-гидрологические провинции			
	Северо-Западная Подолия		Центральная Подолия		Юго-Восточная Подолия		Буг-Днестровская, [147].		Днестровско-Днепровская, [147].	
	1950-1982	1983-2010	1950-1982	1983-2010	1950-1982	1983-2010	До 1989	1989-2008	До 1989	1989-2008
Весна	30	23	41	33	32	28	38	33	42	34
Лето	20	28	24	24	20	24	21	22	19	22
Осень	26	31	17	21	20	23	18	20	18	21
Зима	24	18	18	22	28	25	23	25	21	23

По данным таблиц 3.1 и 3.3 можно сделать вывод, что на всей территории Подолии происходит уменьшение стока за сезон “весна” на 7-10 %. Вместе с тем отмечается рост стока в период лето-осень. Наибольшее снижение стока характерно для марта месяца.

В таблице 3.4 представлено изменение стока по сезонам для отдельных рек Подолии.

Таблица 3.4 – Сезонное распределение стока воды рек Подолии

Река-Пункт	Весна		Лето		Осень		Зима	
	$Q_I, \%$	$Q_{II}, \%$	$Q_I, \%$	$Q_{II}, \%$	$Q_I, \%$	$Q_{II}, \%$	$Q_I, \%$	$Q_{II}, \%$
Щерек-Щирец	32,8	31,8	22,9	23,8	20,3	23	23,9	21,4
Гнилая Липа-Большовцы	34,7	31,5	24,4	25,9	19	19,7	21,7	22,9
Золотая Липа-Бережаны	33,3	28,0	25,5	26,5	20,6	24,2	20,5	21,3
Коропец-Коропец	35,0	33,3	24,8	25,7	20	21,3	20,1	19,7
Серет-Чортков	36	31,7	22,1	23,1	21,6	23,4	20,3	21,8
Збруч-Завалье	36,8	29,4	22,5	24,5	20,3	24	20,1	22,1
Жванчик-Ластовцы	35,2	32,6	24,3	25,6	21,9	20,8	18,6	21
Смотрич-Купин	41	30,8	22,4	24,6	17,1	21,4	19,6	23,2
Мукша-Малая Слоб.	41,8	27	20,4	26,2	16,9	22,4	20,9	24,4
Лядова-Жеребиловка	34,1	26,3	20,1	20	23,9	31,7	21,9	22
Среднее по региону	36	30,2	22,9	24,6	20,2	23,2	20,8	22,0

Примечание: Q_I – доля стока за сезон до 1982 г.; Q_{II} – доля стока за сезон периода 1983-2010 гг.

По данным таблицы отчетливо прослеживается снижение стока в весенний сезон усиливающиеся по мере продвижения к югу.

3.3 Генетическая природа и динамика максимального стока рек Подолии

Максимальный сток рек – это сток в периоды весенних половодий и дождевых паводков. Половодье является фазой водного режима реки, характеризующейся наибольшей в году водностью, высоким и длительным подъемом уровня, обычно сопровождающемся выходом воды из русла реки на пойму. Весеннее половодье формируется в результате снеготаяния. Для рек одной и той же климатической зоны половодье ежегодно повторяется в один и тот же сезон с различной интенсивностью и продолжительностью. Паводок – быстрый, сравнительно кратковременный подъем уровня воды в каком-либо фиксированном створе реки, завершающийся почти столь же быстрым спадом и в отличие от половодья, возникающий не регулярно. Паводки обычно возникают в результате выпадения дождей, но в условиях неустойчивой зимы может быть обусловлен интенсивным краткосрочным снеготаянием [148].

Характеристиками паводков и половодий являются максимальные суточные расходы и модули стока, слои и объемы стока за период их продолжительности. Максимальный расход воды определяет и размывающую способность потока.

Половодья и паводки определяют основные черты режима стока рек. Объем их стока представляет преобладающую часть стока рек за год, а для малых рек может составлять практически весь годовой сток.

Максимальный сток рек относят к катастрофическим явлениям природы. Статистика свидетельствует, что по повторяемости, площади распространения, суммарным величинам материального ущерба наводнения занимают первое место в ряде известных нам стихийных явлений.

Половодья, которое по обыкновению начинается в конце февраля – начале марта, имеет обычно один четко выраженный пик, который при быстром потеплении наступает через 10-15 суток после начала снеготаяния [5].

В бассейнах ряда левобережных притоков Днестра (Золотая Липа, Серет, Смотрич) широко развит карст, поэтому значительные объемы талых и дождевых вод поглощаются покровными породами, пополняя запасы подземных вод. На реках с наличием карста максимальные расходы воды значительно меньше, чем на незакарстованных [5].

Из метеорологических факторов главными в образовании паводков являются осадки: их характер и интенсивность. Большое значение имеет площадь распространения дождя и его общий ход, продолжительность, суммарный слой выпадения осадков, их средняя и максимальная интенсивность, повторяемость значительных дождей.

Факторы подстилающей поверхности определяют инфильтрацию (потери выпавших осадков) и скорость добегания воды по склонам и русловой сети.

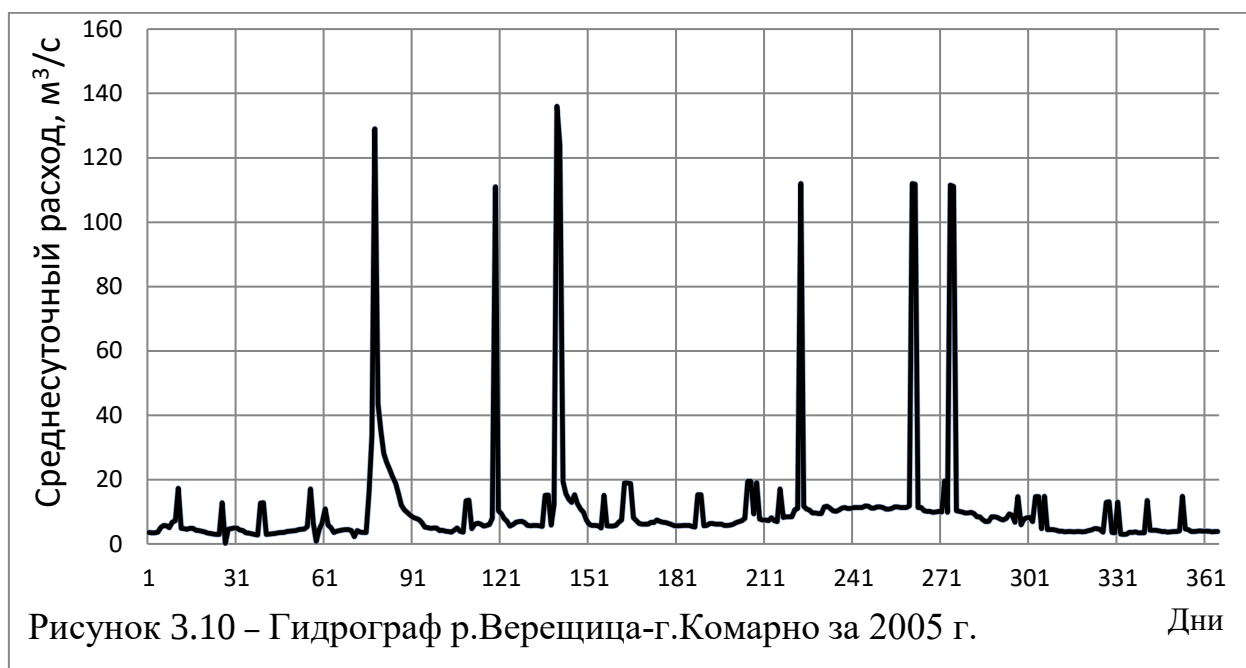
На территории Подольской возвышенности чаще всего (в 60 % случаев) сильные дожди (количество осадков 30 мм и больше за 12 часов) выпадают во время перемещения южных и юго-западных циклонов с Черного моря и Среднедунайской низменности, а также вследствие блокирующих синоптических процессов, которые являются одним из главных факторов формирования сильных осадков [149]. Они также образуются во время перемещения холодных фронтов с Запада (15 %) и реже (10%) значительные осадки наблюдаются во время активизации малоподвижных фронтов в районе Черноморской депрессии и во время формирования над территорией Украины малоподвижных циклонов (5 %). Сильные осадки выпадают также (10%) при перемещении циклонов с северо-запада и на стационарных фронтах [149]. В среднем в год на Украине фиксируется 50-60 случаев дождя с количеством осадков 30 мм и больше за период 12 часов. По количеству сильных дождей преобладают горные регионы Украины.

Очень сильные дожди имеют четко выраженный годовой ход. На территории всей Украины самая большая их повторяемость (61%) характерна для летнего сезона. Максимум интенсивных дождей приходится на июнь (20%) и июль (24%), чуть меньше - на август (17%). В холодный период года, когда общее влагосодержание воздуха незначительное, такие дожди выпадают лишь на юго-западных склонах Украинских Карпат.

В пределах равнинной части территории Украины наиболее благоприятные условия для формирования дождевых паводков отмечаются в пределах Подольской возвышенностей вследствие объединения благоприятствующих климатических и орографических условий. Эффективные осадки, которые формируют поверхностный сток, выпадают в пределах Подольской возвышенностей 15-20 раз в год. Наиболее благоприятные условия для образования дождевых паводков сложились в бассейнах верхних левых притоков Днестра. Здесь ежегодно формируются дождевые паводки на реках. На левых притоках средней части бассейна Днестра условия формирования дождевого стока являются неустойчивыми [150].

Максимальные расходы левобережных притоков Днестра, обуславливают формирование основной части стока наносов. Наиболее часто в период 1950-1982 гг. – максимальный сток наблюдался в сезон весеннего половодья (февраль-апрель), а для периода 1983-2010 гг. в сезон летне-осенних паводков (июнь-октябрь). Высокие расходы на реках этого

гидрологического подрайона могут формироваться по несколько раз за год. Примером этого может служить гидрограф р.Верешица-г.Комарно за 2005 г. (год 10 % обеспеченности) рис.3.10.



Местность центральной Подолии расчленена глубокими долинами рек. Основная часть осадков, выпадает в теплое время года (май—август) в виде дождей и ливней. Глубокая эрозионная сеть почти повсеместно дренирует подземные воды, поэтому их участие в стоке рек значительно выше, чем в соседних гидрологических районах. В этом районе также значительно выше степень зарегулирования стока прудами и водохранилищами. Все это обуславливает более равномерное распределение годового стока по сезонам и месяцам, чем в других гидрологических районах.

Для анализа распределения максимумов по различным гидрологическим сезонам были рассмотрены три гидрографа р.Смотрич-с.Цыбулевка рис.3.11 за маловодный 1994 г. (75 % обеспеченности), 1984 г. год средней водности (50 % обеспеченности) и многоводный 2005 г. (25 % обеспеченности).

В годы низкой водности зимние оттепели формируют несколько пиков делая невыразительным максимум весеннего половодья. Максимальные расходы превышают средние не более чем в 2 раза. Паводки в маловодные годы наблюдаются редко. В годы средней водности максимум весеннего половодья превышает среднее значение в 4-5раз. Паводки невысокие, но могут образовываться в течение всего весенне-летнего периода. В многоводные годы расходы в паводки повышаются в 15-20 раз и могут образовываться по несколько раз за весенне-летний сезон.

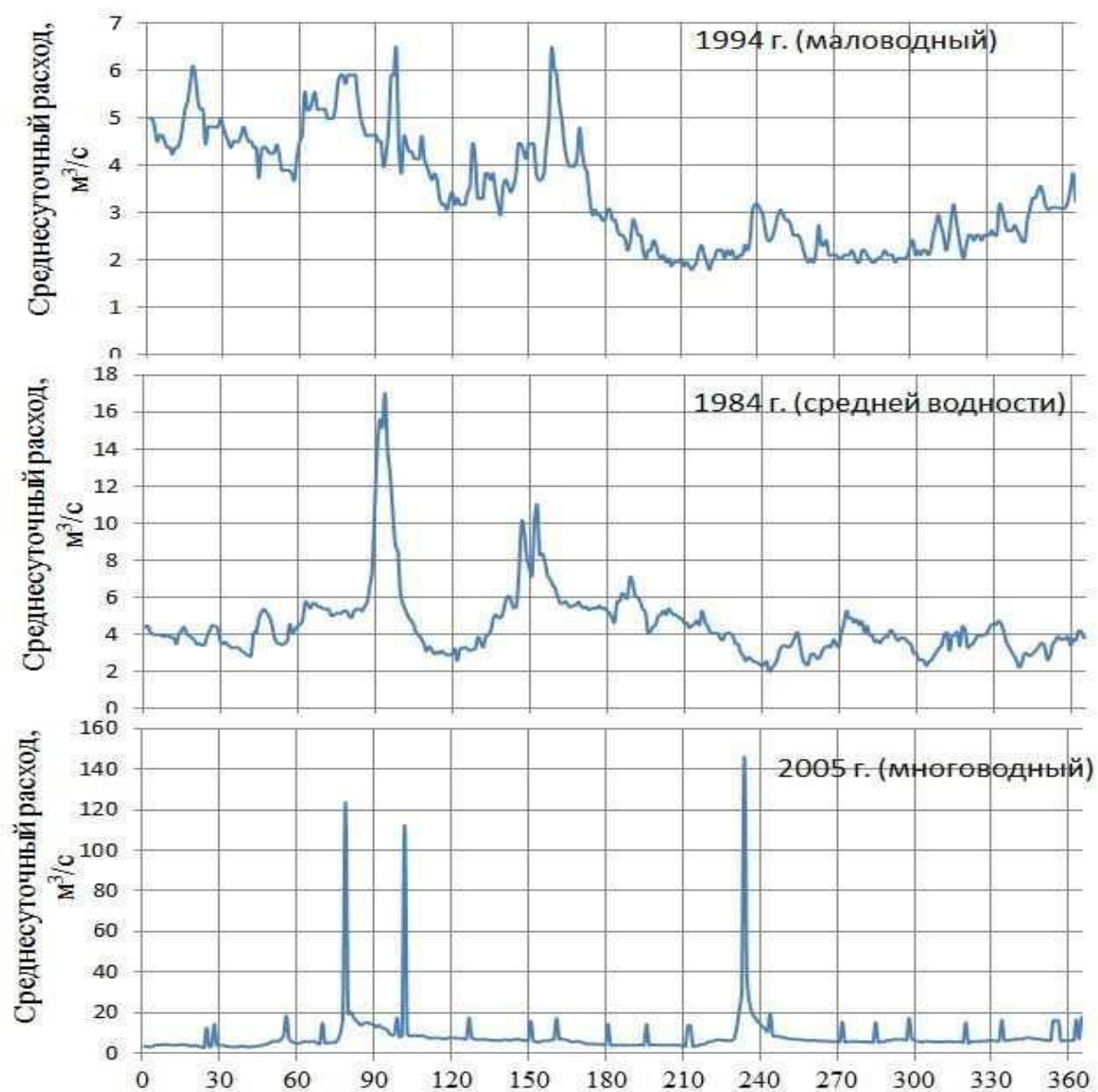
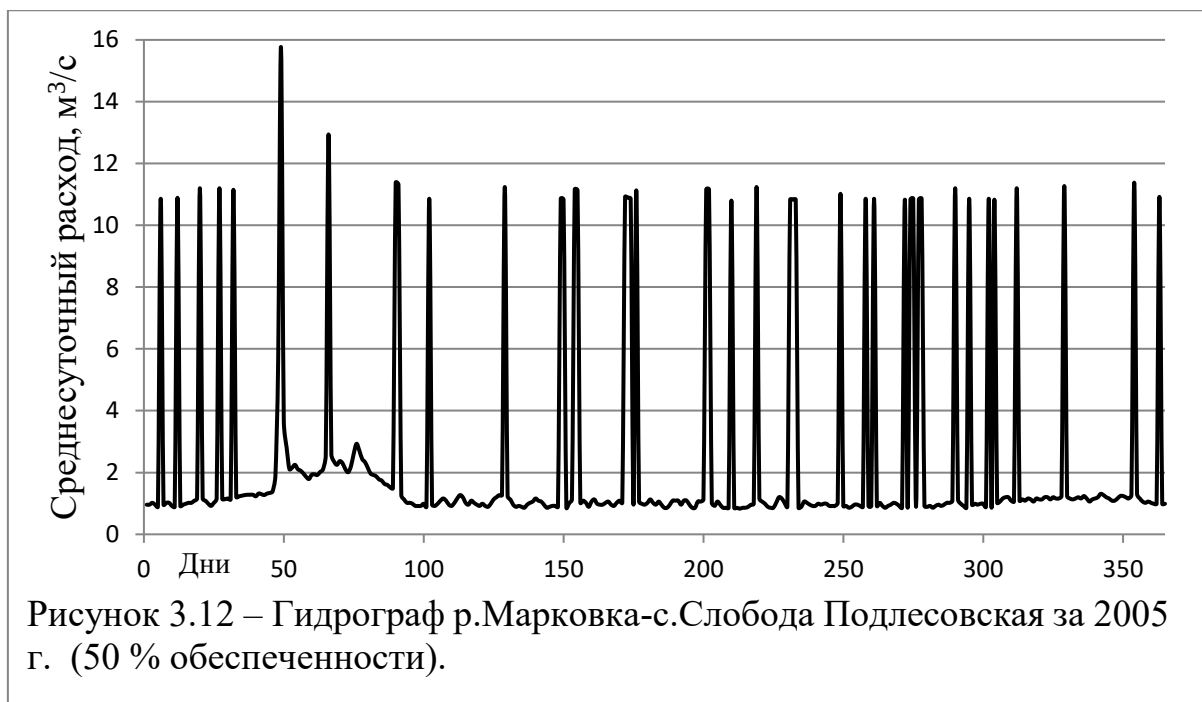


Рисунок 3.11 – Гидрографы р.Смотрич-с.Цыбулевка

В юго-Восточной Подолии половодье явно выражено и начинается со второй половины февраля или начала марта. Но основная часть стока на реках зарегулирована и максимальный сток формируется во время периодических попусков. Попуски повышают расходы лишь до 10-12 $Q_{ср}$. Для сравнения приведем гидрограф реки Марковка-с.Слобода-Подлесовская за 2005 г. (рис. 3.12.). Для р.Марковка это год 50 % обеспеченности. Для этого подрайона трудно выделить период максимальных расходов. Совершенно аналогичный гидрограф р. Лядова-с. Жеребиловка и др.



В формировании стока наносов определяющую роль играет максимальный расход воды [151, 152]. В свою очередь для расчетов, связанных с максимальным стоком рек Подолии, необходимо выяснить его генетическую природу. Для этого разобьем временной интервал прохождения максимального стока на ряд периодов. Поскольку реки Подолии не всегда покрываются сплошным ледяным покровом и для них сохраняется вероятность появления зимних паводков, поэтому в качестве первого расчетного периода выбираем зимний. Половодье в Подолии в разные годы на разных реках проходит с конца февраля до начала апреля [5]. Это довольно длительный период, который не даст проследить возможную динамику половодий. Потому разобьем его на два: период раннего половодья с 15 февраля до 15 марта и позднего с 16 марта по 15 апреля. Период весенних паводков выделим с 16 апреля до 31 мая и летних – с 1 июня до 31 августа. Соответственно период осенних паводков принят длящимся с 1 сентября до 31 ноября.

В качестве первого расчетного временного интервала задан 1950-1982 гг. Повторяемости максимальных расходов за соответствующий период представлена на рис. 3. 13.

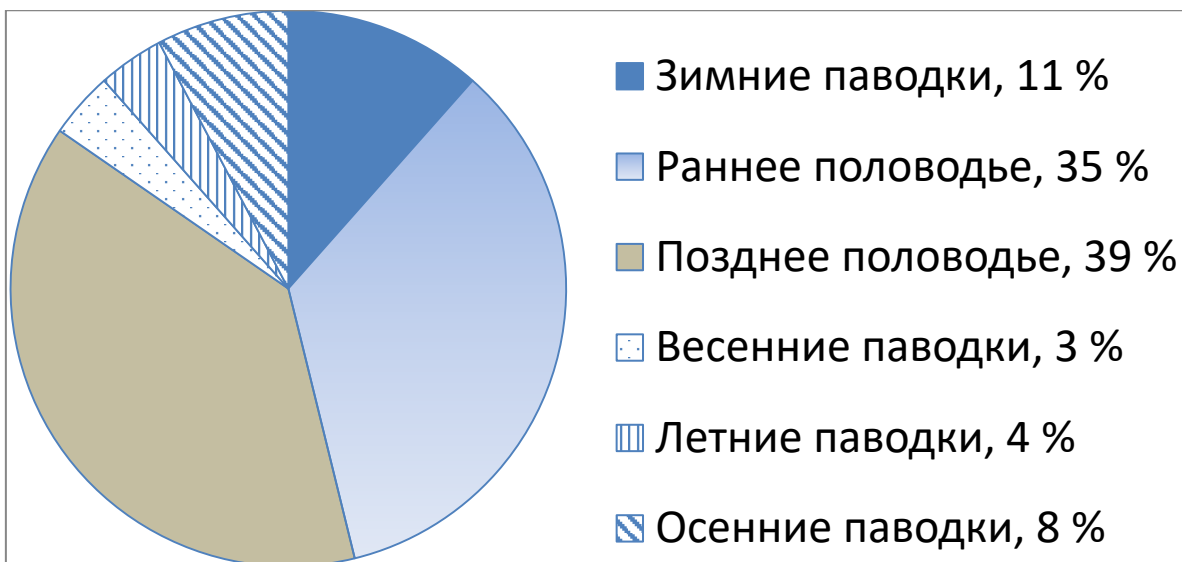


Рисунок 3.13 – Повторяемость максимальных расходов на реках Северо-Западной Подолии в соответствующий период. Первый временной интервал (1950-1983 гг.)

Как видно из рис.3.13 в этот период подавляющая часть максимальных расходов формировалась в период половодий. Причем приблизительно равная повторяемость в период раннего и позднего половодья. Только около 4 % максимальных расходов воды формировалось в период летних паводков.

Во второй временной интервал (1983-2010 гг.) ситуация существенно меняется (рис. 3.14). Сокращается повторяемость максимальных расходов в период раннего половодья и возрастает их повторяемость в период зимних и весенне-летних паводков.

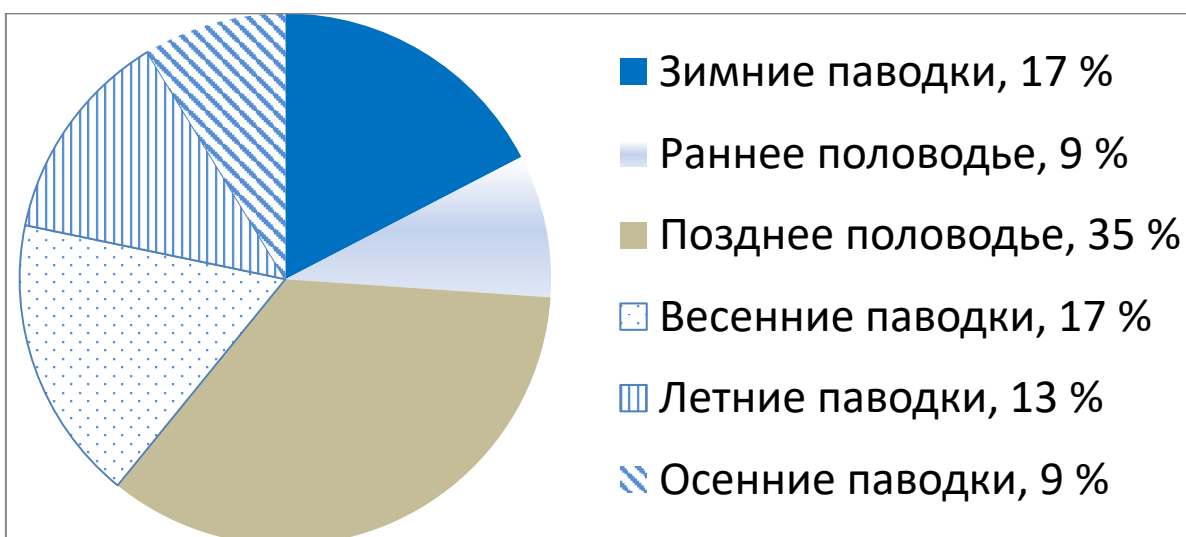
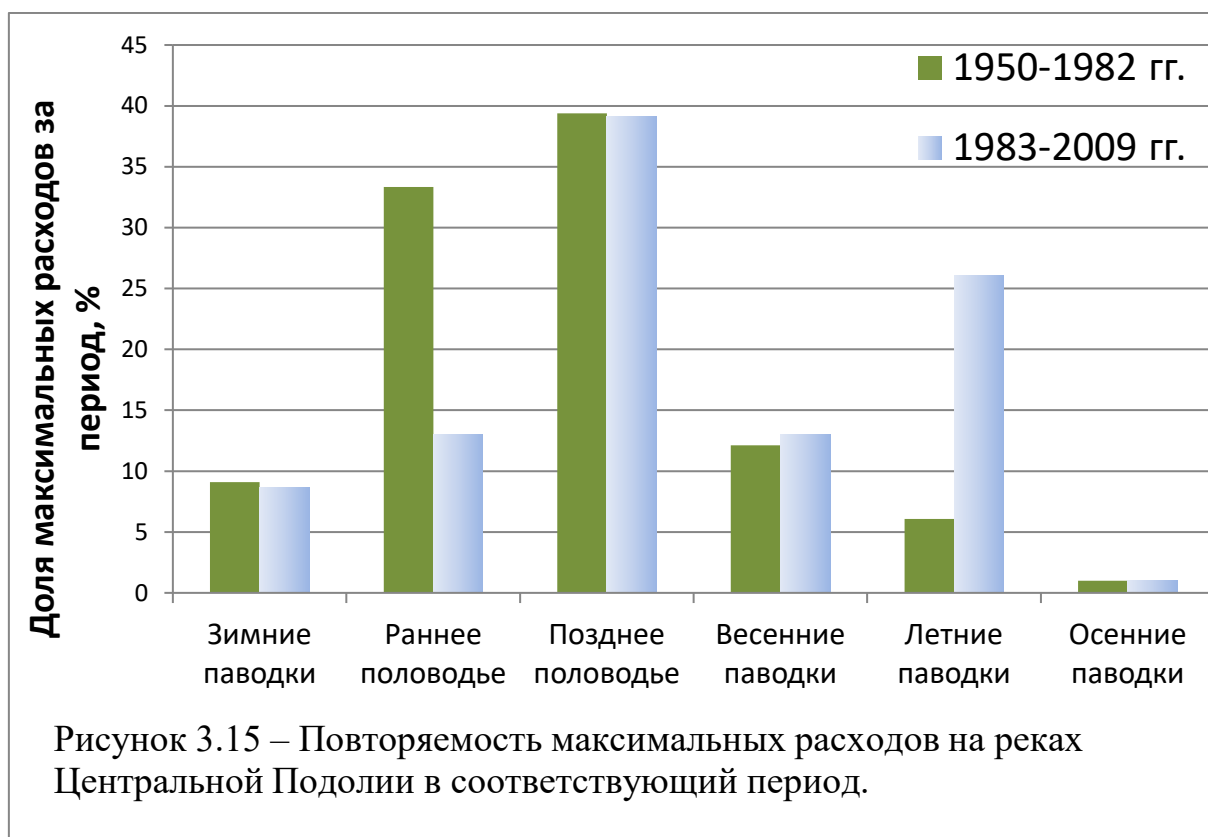


Рисунок 3.14 – Повторяемость максимальных расходов на реках Северо-Западной Подолии сформировавшихся в соответствующий период. Второй временной интервал (1983-2010 гг.).

Приблизительно такое же перераспределение происходит в других гидрологических подрайонах рис. 3.15. Особенностью Центральной Подолии является то, что осенние паводки практически не формируют максимальных расходов за оба временных интервала. Также как в Северо-Западной Подолии уменьшается повторяемость максимальных расходов в период раннего половодья.



На территории Юго-Восточной Подолии сохраняется стабильной ведущая роль весеннего половодья в формировании максимальных расходов (около 60 %). Сокращается повторяемость максимального расхода в период зимних паводков с 15 % до 6 %, но увеличивается в период осенних – с 3 % до 16 %.

При рассмотрении динамики максимальных расходов на реках Северо-Западной Подолии выделяются бассейны со значительным ростом максимального стока, например, р.Стрвяж – с.Луки, где максимальный сток с 50-60 м³/с за 50-70 годы вырос до 200-300 м³/с за 1990-2000 годы и бассейны, где не происходило такого резкого повышения, например, р.Гнилая липа – пгт. Большовцы рис. 3.16.

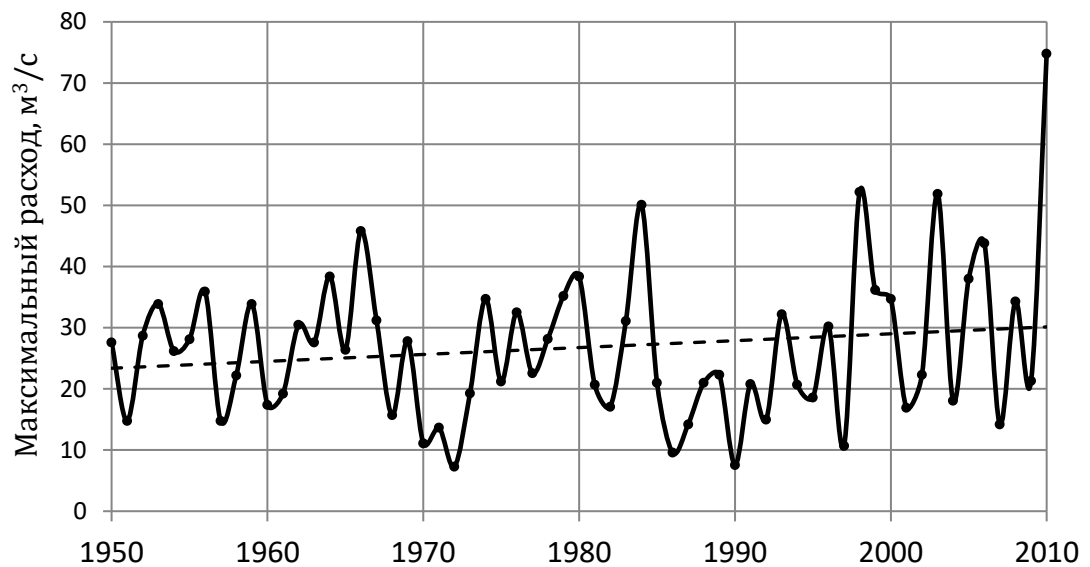


Рисунок 3.16 – Динамика максимального стока р. Гнилая Липа - пгт. Большовцы.

На большей части территории Подолии установлены тенденции к уменьшению максимального стока. Примером может служить р.Золотая Липа – г.Бережаны рис. 3.17.

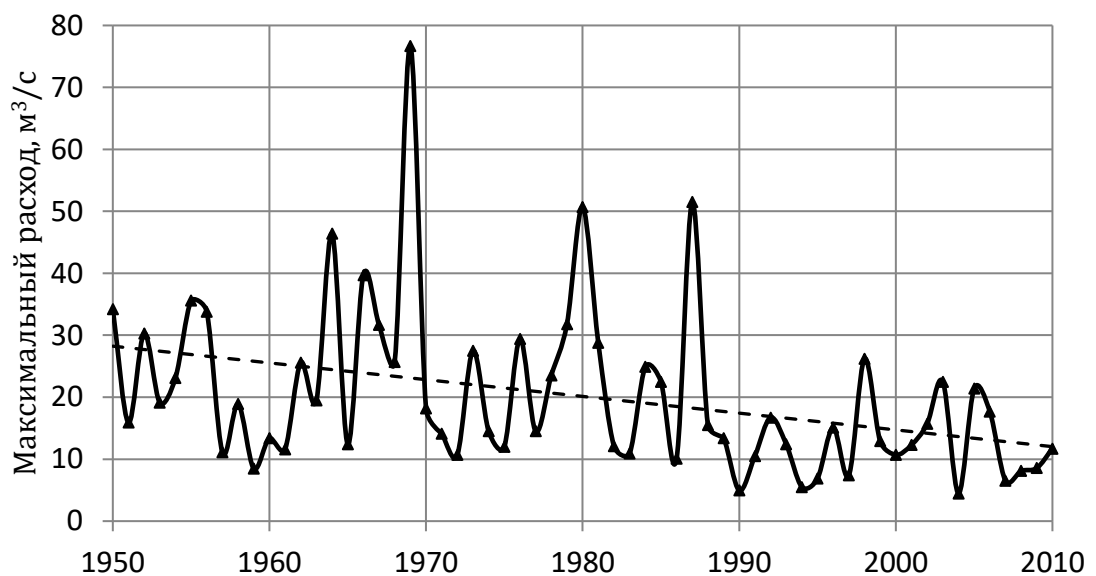


Рисунок 3.17 – Динамика максимального стока р. Золотая Липа -г. Бережаны.

На рисунке 3.18 представлены обобщенные в пространстве данные о выявленных тенденциях изменений максимального стока во времени.

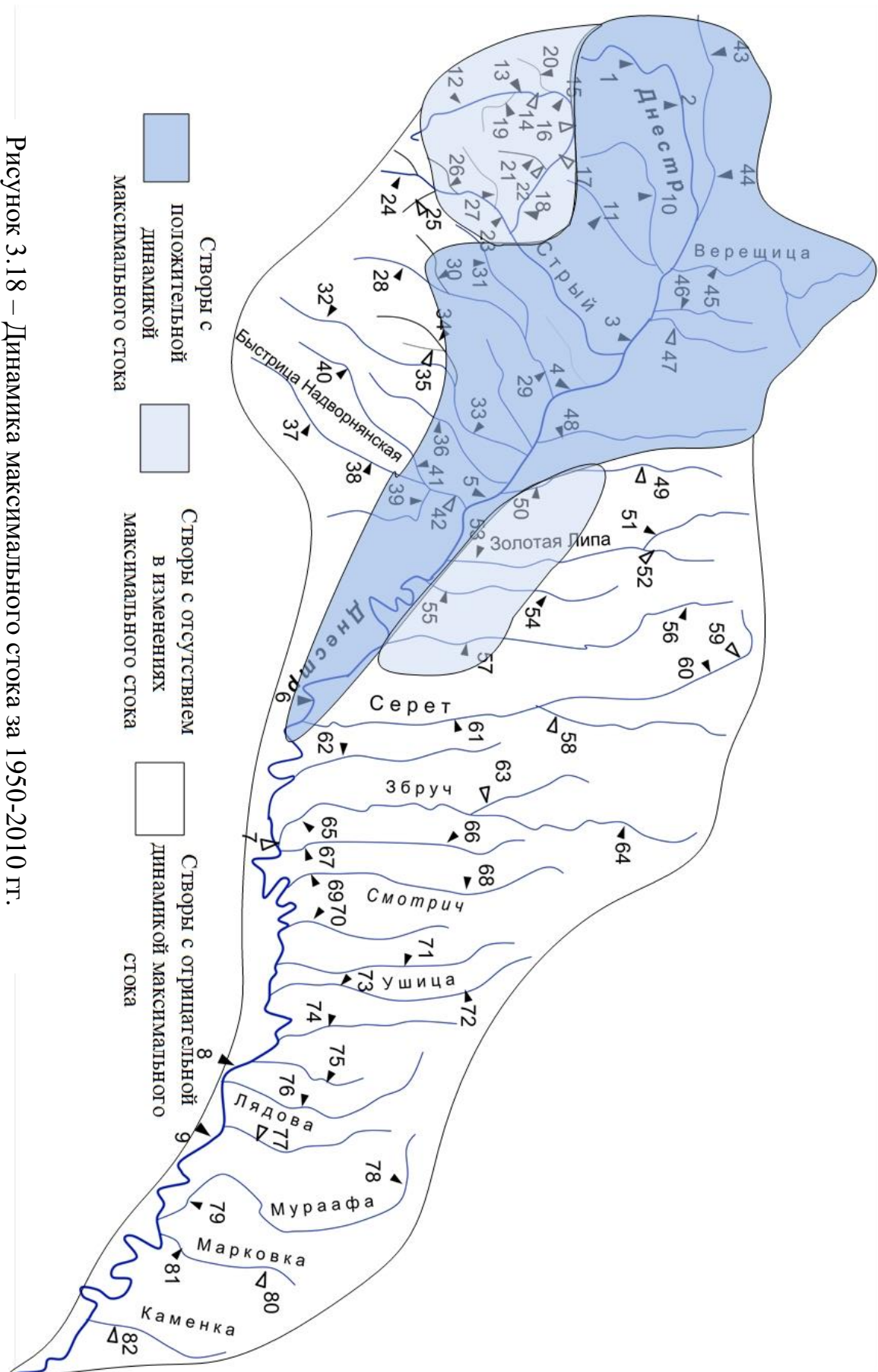


Рисунок 3.18 – Динамика максимального стока за 1950-2010 гг.

3.4 Динамика распределения поверхностного и подземного стока Подолии

Глобальное повышение среднегодовой температуры в последней четверти XX в. привело к изменению величин осадков увеличению числа оттепелей, уменьшению глубины промерзания почв и повышению инфильтрации талых вод в водоносные горизонты. Так в бассейнах рек Европейской территории России увеличение подземного стока за период 1978-2002 гг. достигло 20-40 % от нормы [153]. Следовательно, региональная переоценка водных ресурсов в начале XXI в. вызвана объективными условиями. Изучение закономерностей формирования и использования подземных вод как элемента водного баланса суши позволит установить на количественной основе пространственно-временные особенности их взаимосвязи с другими элементами водного баланса. Полученные количественные соотношения подземного стока с другими воднобалансовыми элементами дают возможность прогноза изменения питания подземных вод в связи с глобальными изменениями климата и интенсивным антропогенным воздействием на водный режим территорий.

Основные труды по изучению распределения поверхностного и подземного стока левобережных притоков Днестра приходятся на 60-70 гг. прошлого столетия, период интенсификации использования водных ресурсов в СССР. Это были работы, выполненные под руководством УкрНИГМИ [5, 31, 33] и ОГМИ [143]. Позднее эти исследования нашли свое развитие в работах С.Д. Аксема и В.К. Хильчевского, В.В. Гребеня [32, 147]. Отдельные регионы Днестра рассматривались и более подробно [38]. Общим выводом этих работ является заключение о том, что водность рек левобережья снижается по мере удаления их водосборов на восток, что связано с общим изменением климатических условий. Также снижается водность по мере приближения водосборов к югу, к долине Днестра, что объясняется не только изменениями климатических условий, но и изменениями условий формирования поверхностного стока и характером связи поверхностных и подземных вод. В частности, на отдельных участках долины Днестра происходит дренирование подземных вод, а местами – поглощение их при небольшой отдаче в виде подземного притока.

Анализ многолетних колебаний годового стока, выполненный на основе разностных интегральных кривых (рис. 3.6) позволил установить, что рассматриваемый период наблюдений содержит 2 цикла водности выделенных по пересечению нуля графика: с 1950 по 1982 гг. и с 1983 по 2010 гг. Маловодные фазы колебаний годового стока приходятся на 1950-1967 годы и 1983-1997 годы. Многоводные – на 1966-1982 и 1998-2010 гг. В настоящее

время колебания стока левобережных притоков верхнего Днестра находятся в положительной фазе.

Следует отметить, что колебания годового стока рассмотренных притоков не соответствуют колебаниям р.Днестр, сток которой формируется главным образом в Украинских Карпатах. Различия в характере колебаний может быть объяснено именно различиями в доле подземного питания и последствиями различного влияния изменений глобального климата на характеристики стока. Как показано в работах Гребеня В.В., Гопченко Е.Д., Лободы Н.С. максимальный сток равнинных рек уменьшается, а минимальный растет за счет перехода поверхностного стока оттепелей в подземный.

Анализ среднемноголетних значений модулей годового стока, рассчитанных за различные периоды (табл. 3.5) показал, что расхождения между расчетными величинами для большинства рек находятся в пределах $\pm 10\%$.

Таблица 3.5 – Средние многолетние значения модулей поверхностного годового стока рек Подолии

Река	Пункт	Площадь (км ²)	Высота (м)	Модуль стока по А.Н. Бефани [143], л/с с км ²	Модуль стока, л/с с км ² за весь период	Модуль стока, л/с с км ² до 1982	Модуль стока, л/с с км ² 1983-2010
Верищица	Комарно	812	310		5,6	5,1	6,2
Щерек	Щирец	307	300	5,14	5,5	4,8	6,2
Зубра	Дымовка (Верхнедор.)	212	330		6,0	6,0	
Свиж	Букачевцы	465	310		5,5	5,5	
Гнилая Липа	Рогатин	467	340	6,7	5,8	5,8	
Гнилая Липа	Большовцы	848	320	5,2	5,1	5,3	4,9
Золотая Липа	Бережаны	690	360	5,5	5,9	6,1	5,8
Ценевка приток Зол.Липы	С.Полуторы	217	360		4,0	4,0	
Золотая Липа	Задаров	1390	360	6,05	6,2	6,3	6,3
Коропец	Подгайцы	227	380	4,04	4,7	4,8	4,6
Коропец	Коропец	476	370	6,37	5,5	5,5	5,5
Стрыпа	Каплинцы	411	370	5,61	4,0	4,6	3,4
Стрыпа	Бучач	1270	360	4,28	5,5	5,8	5,3
Гнезна (приток р.Серет)	С.Плебановка	1100	340		3,8	3,8	
Серет	Городище	606	360	6,78	6,0	6,0	
Серет	Великая Березовица	939	360		5,9	6,1	6,0
Серет	Чортков	3170	350	4,78	4,1	4,1	4,1
Ничлава	Срелковцы	584	300	2,41	3,1	3,0	3,3

Гнилая (при ток р.Збруч)	Лучковцы	414	320		3,7	3,7	
Збруч	Волочиск	712	320		4,3	4,4	4,3
Збруч	Завалье	3240	310	2,77	4,0	4,0	4,1
Жванчик	Кугаевцы	229	320	2,58	3,0	3,0	3,0
Жванчик	Ластовцы	703	208	2,85	2,7	2,7	2,7
Смотрич	Купин	799	310		4,0	4,0	4,0
Смотрич	Цыбулевка	1790	300		3,0	2,9	3,0
Мукша	Малая Слободка	302	280	1,93	3,0	2,5	3,5
Студеница	Голозубенцы	296	203		3,0	3,0	3,1
Ушица	Зиньков	525	300	3,83	4,4	4,9	3,8
Ушица	Кривчаны (Тымков)	1370	290	3,13	2,8	2,8	2,8
Батыг (приток Калюса)	Замехов	94,1	290		3,8	3,8	
Калюс	Новая Ушица	259	280		3,1	3,1	3,1
Лядова	Жеребиловка (Лядова)	652	280		2,6	2,7	2,7
Немия	Озаринцы	359	260		2,6	2,6	
Мурафа	Кудиевцы	70	330		3,0	3,6	2,4
Мурафа	Белянская ГЭС	2400	260		2,3		
Марковка	Марковка	59,7	260		3,4	3,4	
Марковка	с.Слобода-Подлесовская	615	240		2,2	2,2	2,2
Каменка	Каменка	378	230		2,5		
Средний показатель				4,4	4,1	4,2	4,1

Статистически значимое увеличение модуля стока произошло в период 1983-2010 гг. на реках Верещица, Щерек и Мукша. Статистически значимое уменьшение в верхней части водосбора р.Стрыпа. Водосборы Верещицы и Щерека находятся в области питания карста, а река Стрыпа –в области разгрузки. Возможно, что изменение характера внутригодового распределения стока в результате потепления повлияло на годовой сток этих рек. Выводы о разнонаправленном изменении стока рек Подолии совпадают с результатами работы Н.С. Лободы и В. П. Дорофеевой [128].

Частично рост модуля стока в Северо-Западной части Подолии вызван увеличением количества осадков в этом регионе (о чем упоминалось в разделе 3.1).

На ряде участков исследуемой территории наблюдаются существенные потери стока, вызванные влиянием карста. Самые заметные потери в нижнем течении р. Серет где модуль стока уменьшается с 6 л/с с км² (г. Городище) до

4,1 л/с с км² (г. Чортков). Эффект потерь стока на этом участке отмечался и в других работах [31, 32].

В работе Н. И. Дрозда [31] упоминается аномально высокий (в полтора-два раза выше стока соседних рек) модуль стока р. Каменка. По мнению авторов, аналогичными по условиям формирования стока являются небольшие речки вблизи Каменки, долины которых, как и Каменки, врезаются в архейские граниты Чарнокитского комплекса Подолии. Долины этих рек дренируют все подземные воды, которые в силу падения напластований водовмещающих пород подходят частично и с других водосборов (возможно, даже с части водосбора Южного Буга). Как видно из таблицы 3.5, модуль стока р. Каменки существенно не превышает модуль стока соседних рек. Вероятно, Н. И. Дрозд сделал вывод, опираясь на очень короткий ряд наблюдений по этой реке в период незначительной трансформации стока хозяйственной деятельностью.

Для оценки подземного стока обычно прибегают к расчленению гидрографа стока. Различные авторы по-разному оценивают подземный сток. Одни (Воскресенский, [141]) считают, что он увеличивается во время половодья, другие (Куделин, [34]) - что уменьшается. Для анализа точности способов воспользуемся работой Т.М. Черной [154] в которой сравнивались различные способы расчленения 2472 гидрографов. По результатам ее работы наиболее простой и надежный способ — это метод срезки по устойчивой межени. Этот метод дает отклонения от 2 до 8 % по сравнению с методом Б.И. Куделина [34]. Метод К.П. Воскресенского [141] в этом случае завышает подземный сток до 18 %, а метод минимальных среднемесячных занижает до 22 %. Удовлетворительную точность и надежность дает упрощенная схема расчета А.Н. Бефани, при которой подземный сток рассчитывается как полусумма величин тридцатисуточных минимальных расходов воды в период летней и зимней межени [143]. Этот метод нашел широкое применение в других работах по расчету подземного стока рек [154, 155].

Перед проведением основных расчетов сопоставим несколько схематизированных способов определения подземного стока в реки. В качестве примера выбран водосбор р. Гнилая Липа - пгт. Большовцы. Средний за период 1983-2010 гг. среднегодовой расход воды этой реки составил 4,4 м³/с. Максимальный среднегодовой, за этот период, расход равен 8,65 м³/с и был зафиксирован в 2010 г., а минимальный среднегодовой 2,25 м³/с в 1990 г.

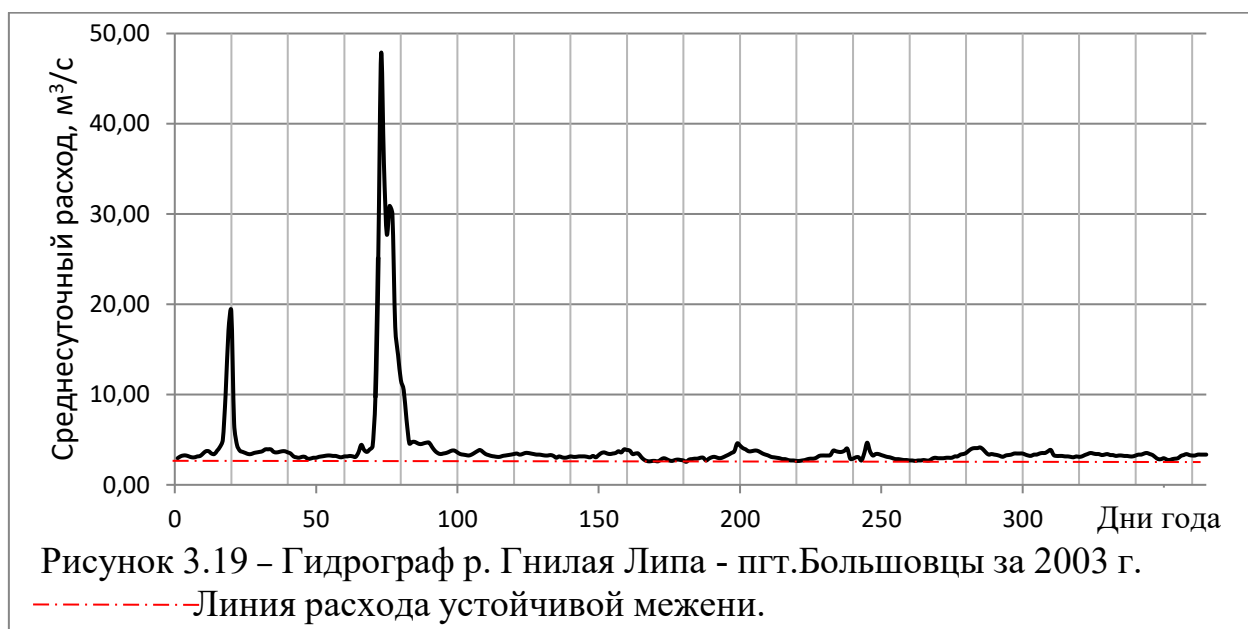
Для сопоставления данных о подземной составляющей стока были рассмотрены средние по водности годы (табл.3.6), рис. 3.19, рис. 3.20.

Таблица 3.6 – Суммарный сток и его подземная составляющая в створе р. Гнилая Липа - пгт. Большовцы в средние по водности годы.

Год	Общий среднегодовой расход, м ³ /с.	Подземный (метод срезки по минимальному расходу), м ³ /с	Подземный (метод минимальных средних месячных), м ³ /с	Минимальный 30 суточный, м ³ /с	Подземный (метод срезки по устойчивой межени), м ³ /с	Подземный (метод А.Н. Бефани), м ³ /с	Доля подземного стока по методу Бефани.
1985	4,19	1,24	1,62	1,84	2,1	2,33	0,55
1989	4,19	1,24	2,08	1,76	1,9	1,93	0,46
2003	4,04	2,5	3,03	2,75	2,7	2,9	0,71
2005	4,04	1,8	2,31	2,25	2,5	2,5	0,62
2009	4,95	1,8	2,26	2,44	2,4	2,65	0,53
Средний	4,28	1,71	2,26	2,21	2,32	2,46	0,57

Наиболее близкие результаты были получены при использовании методов срезки и метода А.Н. Бефани. Расчеты по минимальному расходу дают заниженный результат. В среднем доля подземного стока составляет 57 % от годового.

В последующих расчетах использован подход, опирающийся на использование минимальных среднемесячных расходов летней и зимней межени.



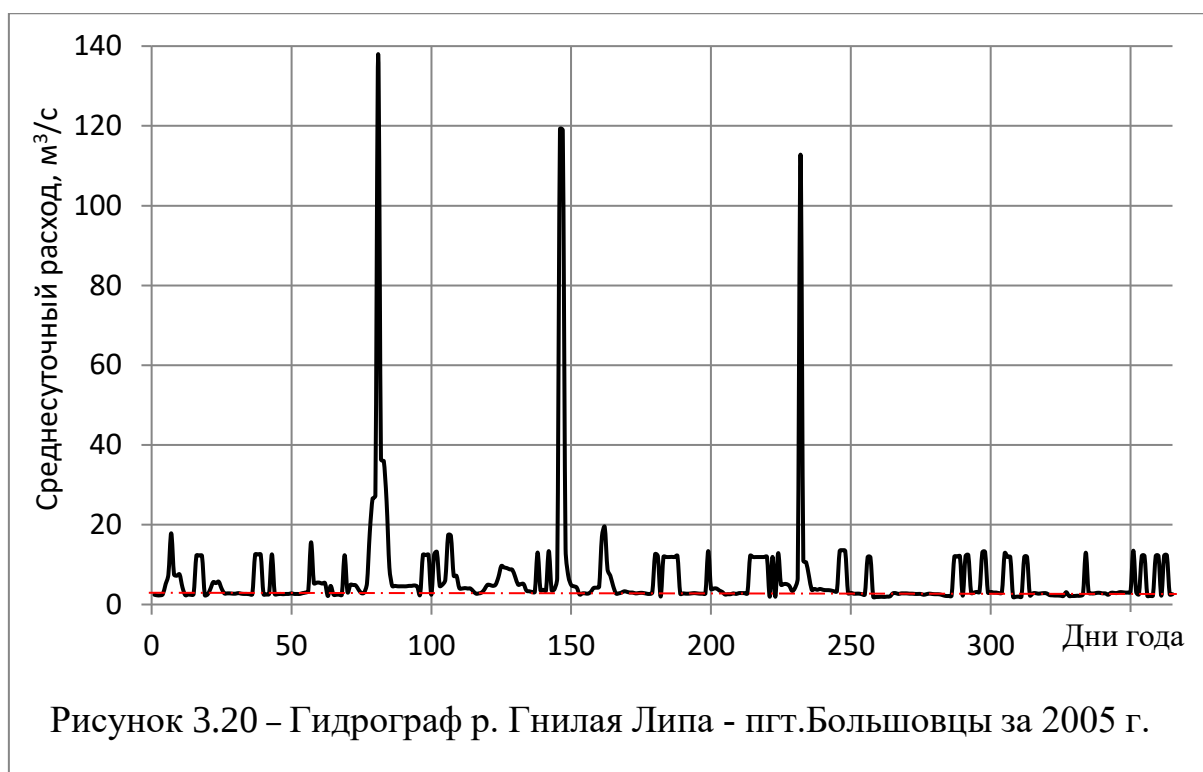


Таблица 3.7 – Доля подземного стока на левобережных притоках Днестра, установленная с использованием различных методов и различных периодов.

Река	Пункт	Площадь (км ²)	Данные Бефани [143], %	Метод Бефани 1950-1982, %	Метод Бефани 1983-2010, %	Метод минимальных среднемесячных 1983-2010, %	Метод срезки по устойчивой межени 1983-2010, %
Верещица	г.Комарно	812		57	61	42	51
Щерек	пгт.Щирец	307	61	63	63	50	52
Зубра	Дымовка (Внедорожн) (до 1974)	212		64			
Свиж	пгт.Букачевцы	465		61	67	53	60
Гнилая Липа	Рогатин (до 1982)	467	67	71			
Гнилая Липа	Пгт.Большовцы	848	62	63	70	56	62
Золотая Липа	Г.Бережаны	690	74	72	86	72	72
Ценевка (приток Зол.Липы)	С.Полуторы (до 1976)	217		69		69	
Золотая Липа	С.Задаров	1390	70	75	83	70	83
Коропец	Г.Подгайцы	227	50	63	79	65	72
Коропец	Пгт.Коропец	476	56	68	78	62	60

Стрыпа	Х.Каплинцы	411	50	60	62	47	58
Стрыпа	Г.Бучач	1270	62	68	73	64	70
Гнезна (приток р.Серет)	С.Плебановка	1100		65			
Серет	Городище (до 1964)	606	54	67			
Серет	Пгт.Великая Березовица	939		65	73	60	71
Серет	Г.Чортков	3170	54	63	74	63	76
Ничлава	С.Срелковцы	584	63	65	74	63	70
Гнилая (приток Збруча)	Лучковцы (до 1981)	414		65			
Збруч	Г.Волочиск	712		58	70	53	65
Збруч	С.Завалье (Витковцы)	3240	60	66	79	69	74
Жванчик	С.Кугаевцы	229	51	62	78	67	72
Жванчик	С.Ластовцы	703	59	59	78	63	68
Смотрич	С.Купин	799		55	72	60	58
Смотрич	С. Цыбулевка	1790		60	70	58	60
Мукша	С. Малая Слободка	302	45	58	78	67	68
Студеница	С. Голозубенцы	296		75	82	75	83
Ушица	С. Зиньков	525	60	60	81	72	78
Ушица	С.Кривчаны (Тымков)	1370	52	60	79	74	80
Батыг (Калюс)	Замехов (до 1982)	94,1		59			
Калюс	Пгт. Новая Ушица	259		60	82	73	82
Лядова	С. Жеребиловка (Лядова)	652		50	62	46	65
Немия	Озаринцы (до 1986)	359		51			
Мурафа	С. Кудиевцы - Белая	70		34	45	26	41
Мурафа	Белянская ГЭС, Мироновка	2400		35	48	56	46
Марковка	С.Марковка	59,7		88			
Марковка	с.Слобода-Подлесовская	615		76	89	80	80
Каменка	Каменка (до 1975)	378		83			
Средний показатель			58	63	73	62	67

Обобщая данные табл.3.5, 3.7 можно сделать следующие выводы. Для большинства рек Северо-Западной и Центральной Подолии существуют потери поверхностного стока. Особо это заметно на реках Гнилая Липа, Серет, Збруч, Жванчик, Смотрич и др. На этих реках модуль стока ниже по течению уменьшается (табл. 3.5), а доля подземного стока либо уменьшается, либо практически не меняется (табл. 3.7), несмотря на увеличивающуюся глубину вреза. Объясняется это тем, что атмосферные осадки частично поглощаются поверхностными карстовыми формами и сквозь подземную гидросферу поступают частично в нижние участки реки, либо непосредственно в русло Днестра. Для этой территории характерна доля подземного стока 60-70 %.

На Юго-Востоке Подолии ниже р. Ущица площадь распространения гипсов постепенно уменьшается и увеличивается доля известняков. В бассейне р. Мурафа практически отсутствуют поверхностные формы карста. Доля подземного стока уменьшается до 30-40 %.

Самый Южный участок - бассейны рек Марковки и Каменки сложены из органогенных известняков, которые обладают значительной дренирующей способностью. Атмосферные осадки здесь почти полностью поглощаются поверхностными карстовыми формами и дренируются в речное русло. Доля подземного стока увеличивается до 70-80 %. В данном исследовании не выявлено особенностей стока рек Мурафы и Марковки в соответствии с которыми их модули стока почти вдвое превышают модули стока других рек района (соответственно 3,31 и 3,85 против 1,8—2,0 л/сек км²) [5]. В соответствии с табл. 3.5 модули стока рек от Лядовой до Каменки соответствуют модулю соседних рек 2,2-2,8 л/сек км². Повышенное значение модуля р.Марковка-с.Марковка (3,4 л/сек км²) характерно только для самых верхних участков бассейна реки очень маленькой площади (59,7 км²).

3.5 Динамика стока наносов рек Подолии

Анализ современных публикаций свидетельствует о постоянных изменениях условий формирования стока воды и наносов на реках Украины и Подолии, в частности. В работах В.И. Вишневського и А.А. Косовца по всей территории Украины отмечено некоторое снижение стока наносов, которому способствовало снижение уровня хозяйственной деятельности и некоторое выравнивание внутригодового распределения стока [51]. По данным этих авторов единственным регионом, где сток наносов имеет тенденцию к увеличению, являются Украинские Карпаты. Что объясняется влиянием вырубки леса. К числу факторов, определяющих изменение стока наносов, относится также добыча речного аллювия и камня, которая приобрела

значительные масштабы. Помимо хозяйственной деятельности В.И. Вишневский отметил влияние изменений климата на режим стока воды и наносов. Увеличение температур холодного периода, по его мнению, приводит к снижению стока весеннего половодья и снижению стока наносов [122, 123].

Выяснение динамики стока наносов нуждается в постоянном пополнении и обновлении исходных данных с учетом текущих изменений климата, гидрологических характеристик рек и характерных особенностей и закономерностей руслоформирующих процессов [156, 157, 158]. Полученные в предыдущем разделе непрерывные ряды наблюдений позволяют проследить динамику стока наносов на реках Подолии.

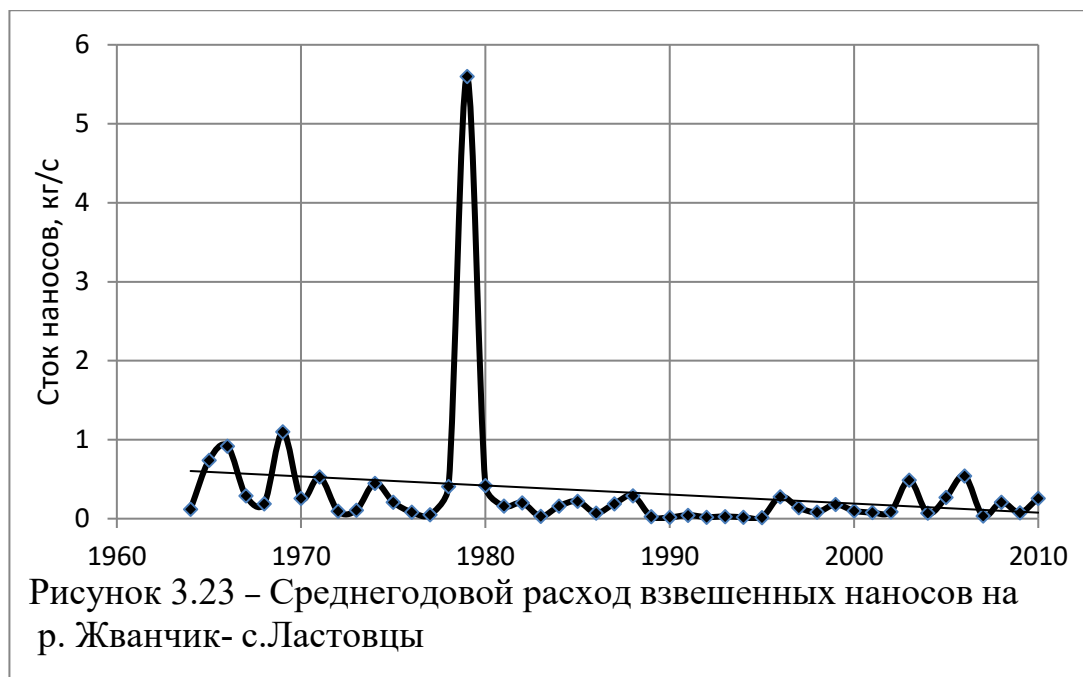
Для всех рек региона наблюдается значительное уменьшение расхода взвешенных наносов (рис. 3.21-3.23). Эту тенденцию можно объяснить с одной стороны возрастающим количеством прудов и водохранилищ, которые обустраиваются в бассейнах этих рек и служат частично отстойниками. С другой стороны, снижение промышленного производства с 90-х годов прошлого века и рациональное природопользование вносит свой вклад в снижение наносов.

На р. Серет – г. Чортков. Естественный ход стока наносов изменен сточными водами г. Чортков и с 1958 г. влиянием Скородинской ГЭС в 18 км выше поста. Но как видно из рис. 3.21 резкое повышение стока наносов наблюдалось даже после строительства ГЭС во время паводков 1969 и 1979 гг. Следует отметить, что после 1979 г. в бассейне этой реки не было интенсивного паводка. Так в 1956, 1969 и 1979 гг. максимальный расход составил соответственно 313, 305 и 272 м³/с, а следующий по величине максимальный расход был зафиксирован во время паводка 2003 г. и составлял всего 113 м³/с.



На большинстве рек Подолии установлено резкое снижение стока взвешенных наносов, что обусловлено отсутствием значительных паводков и половодий после 1980 года (рис. 3.21, рис. 3.22, рис.3.23).





Следующей по важности причиной можно назвать строительство большого количества водохранилищ на реках региона, в которых оседает значительная часть наносов и которые сглаживают максимальные расходы на реках. По данным [117] на притоках Днестра только в пределах Тернопольской области обустроено 24 водохранилища и 770 прудов. Третья причина – уменьшение сброса неочищенных сточных вод, которые также повышают содержание наносов в реках. Так по данным экологического паспорта Тернопольской области сбросы неочищенных стоков в поверхностные водные объекты уменьшились с 3,63 млн м³ в 2003 г. до 2,5 млн м³ в 2010 г.

Поскольку ряд авторов [87, 122, 159] связывают происходящие изменения стока с климатическими изменениями, рассмотрим фазы водности более подробно.

Для выводов о роли климатических изменений в условиях формирования стока воды и наносов, использованы разнообразные интегральные кривые температур воздуха, осадков, годового и максимального стока, а также стока наносов. Как уже было установлено, в колебаниях средних годовых температур воздуха (рис. 3.4) и средних температур воздуха зимнего сезона (рис.3.5) с середины 80-х годов прошедшего столетия наблюдается положительная фаза. В колебаниях осадков зимнего сезона в этот период наблюдается отрицательная фаза (рис.3.7). Годовые осадки также характеризуются отрицательной фазой в своих колебаниях, начавшейся в 80-х, которая сменяется положительной фазой в середине 90-х (рис.3.6). Закономерности смены фаз годовых осадков нашли свое отражение в колебаниях годового стока (рис.3.8). В тоже время вид разностных интегральных кривых максимального стока (рис. 3.24, рис. 3.25) отражает особенности межгодовой изменчивости температур и осадков зимнего сезона,

а именно, преобладание тенденций к увеличению температур и к снижению осадков зимнего сезона, когда происходит формирование стока весеннего половодья. Снижение максимального стока весенних половодий влечет за собой снижение стока наносов, колебания которых начиная с 80-х годов прошлого века находятся в отрицательной фазе (рис. 3.26, рис. 3.27).

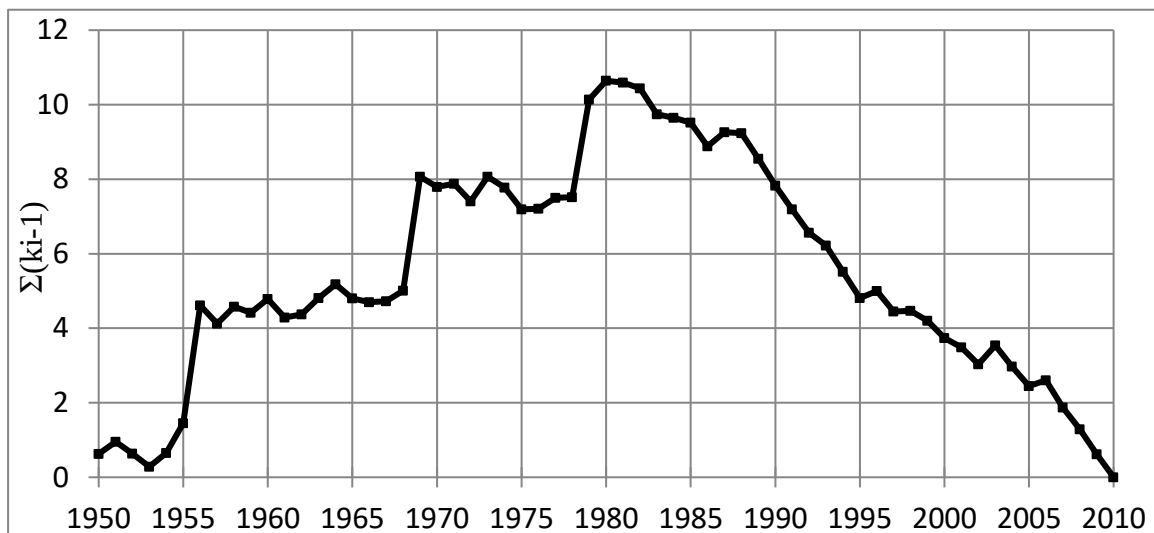


Рисунок 3.24 – Разностная интегральная кривая максимального стока р.Серет-г.Чортков.

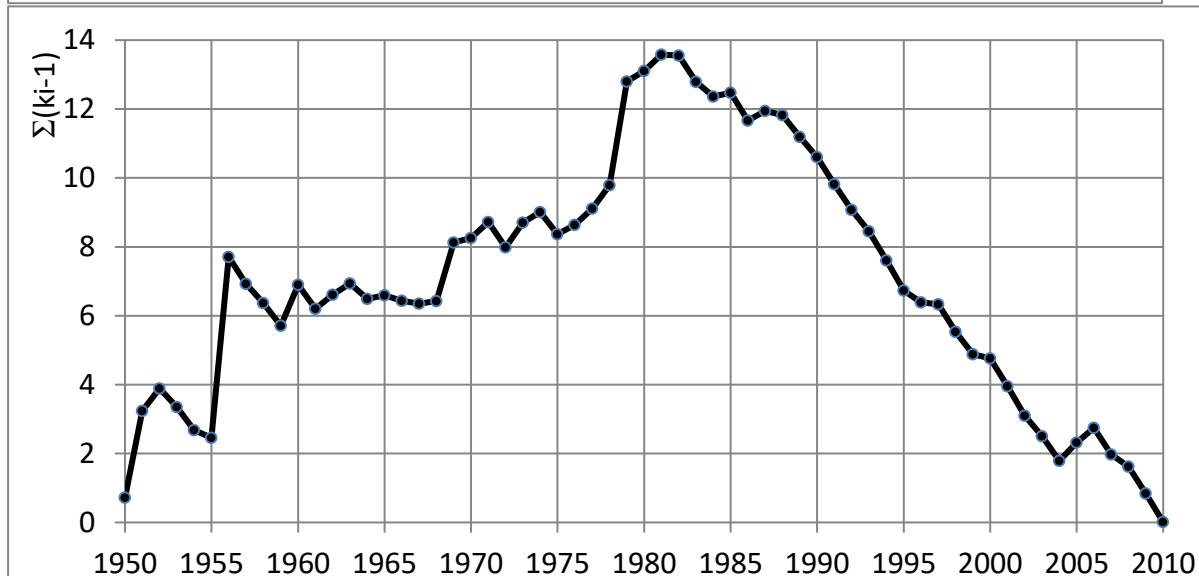


Рисунок 3.25 – Разностная интегральная кривая максимального стока р.Смотрич-с.Купин.



Увеличение температур воздуха зимнего сезона привело к уменьшению глубины промерзания почвы, увеличению числа оттепелей, росту потерь поверхностного стока в период снеготаяния, что обусловило снижение максимумов весенних полдогов и внутригодовому перераспределению стока, выражающемуся в усилении роли подземного питания, что нашло свое отражение в табл. 3.7.

Выводы по 3 разделу. Установлено существенное влияние изменений климатических факторов (температур воздуха и осадков) на формирование стока воды и наносов рек Подолии. Выявлено, что закономерности колебаний годового стока определяются особенностями колебаний годовых осадков. В тоже время колебания максимального стока обусловлено изменениями, происходящими в температурах воздуха и осадков зимнего сезона. Увеличение температур воздуха зимнего сезона и их переход к положительным значениям способствует снижению максимального стока весеннего половодья и увеличению доли подземной составляющей, что наблюдается с 80-х годов прошлого столетия. Снижение максимального стока весенних половодий обуславливает уменьшение поверхностного стока и соответствующего ему поверхностного смыва и эрозии, что в конечном итоге приводит к снижению стока наносов. Наряду с изменениями климата отмечена роль карста и искусственных водоемов в формировании стока наносов.

4 ДИНАМИКА ВОДНОГО РЕЖИМА И СТОКА НАНОСОВ ГОРНОЙ ЧАСТИ ВОДОСБОРА Р.ДНЕСТР

4.1 Многолетняя изменчивость характеристик стока и наносов

Для характеристики динамики метеорологических характеристик исследуемой территории были использованы данные по метеостанции г.Ивано-Франковск (высота 270 м), г. Дрогобыч (280 м), а для горной местности - по метеостанции с. Славское (высота 600 м). Выбранные метеостанции образуют треугольник, охватывающий практически все правобережные притоки горной части водосбора Днестра (рис. 4.1).

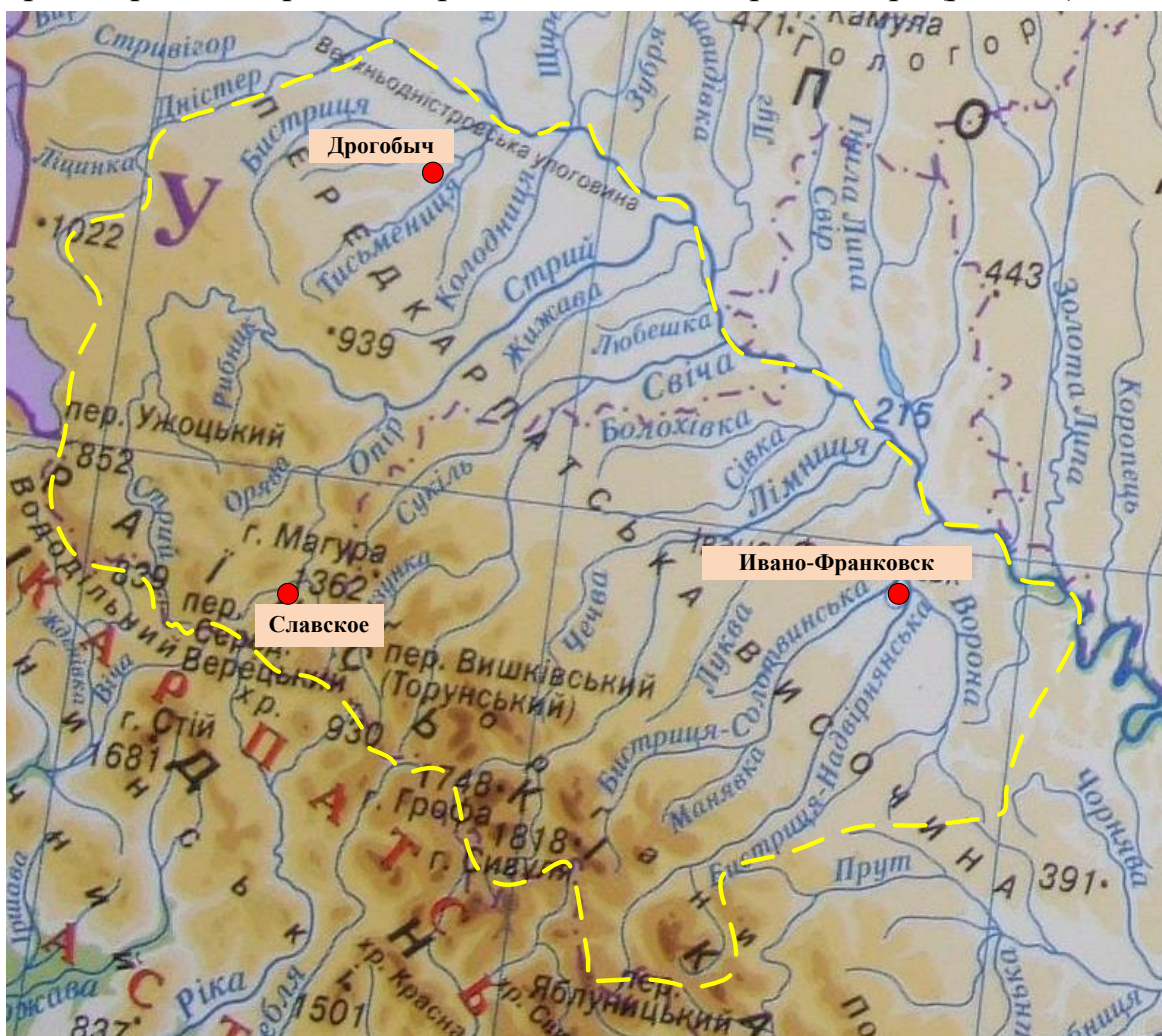


Рисунок 4.1 – Граница горной части водосбора р. Днестр (пунктир) и схема расположения опорных метеостанций.

В многолетнем ходе средней годовой температуры воздуха и годовых сумм осадков установлены тенденции к увеличению (рис. 4.2, 4.3).

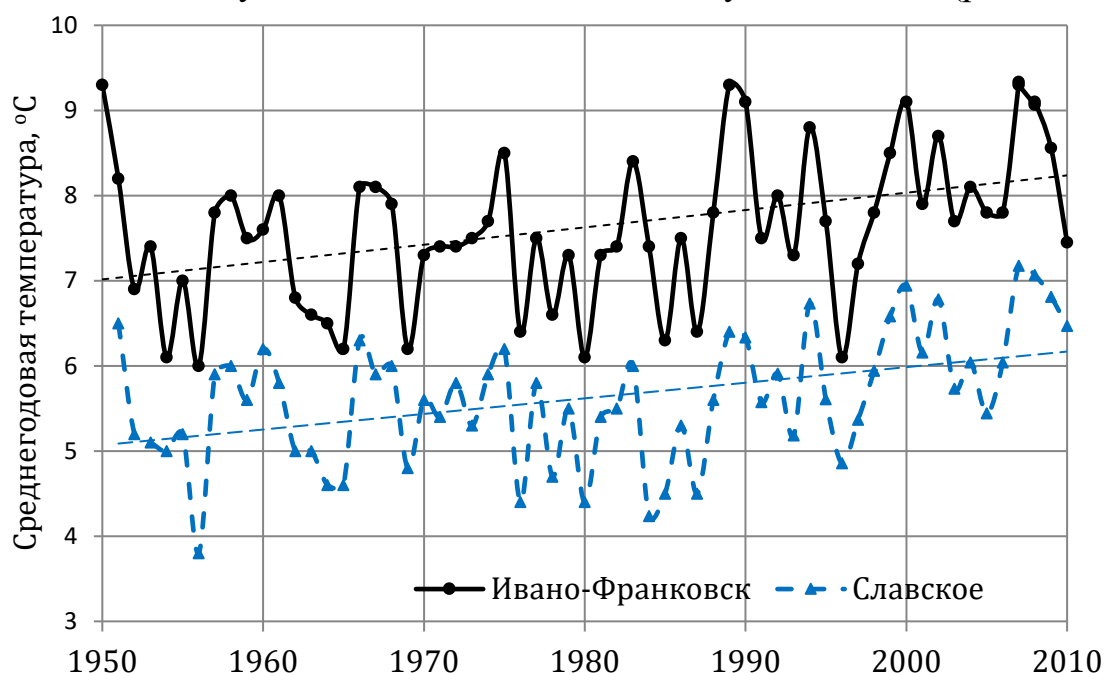


Рисунок 4.2 – Хронологический ход среднегодовых температур воздуха на метеостанциях г. Ивано-Франковск и с. Славское. Пунктиром показаны линии трендов. Тренды статистически значимые.

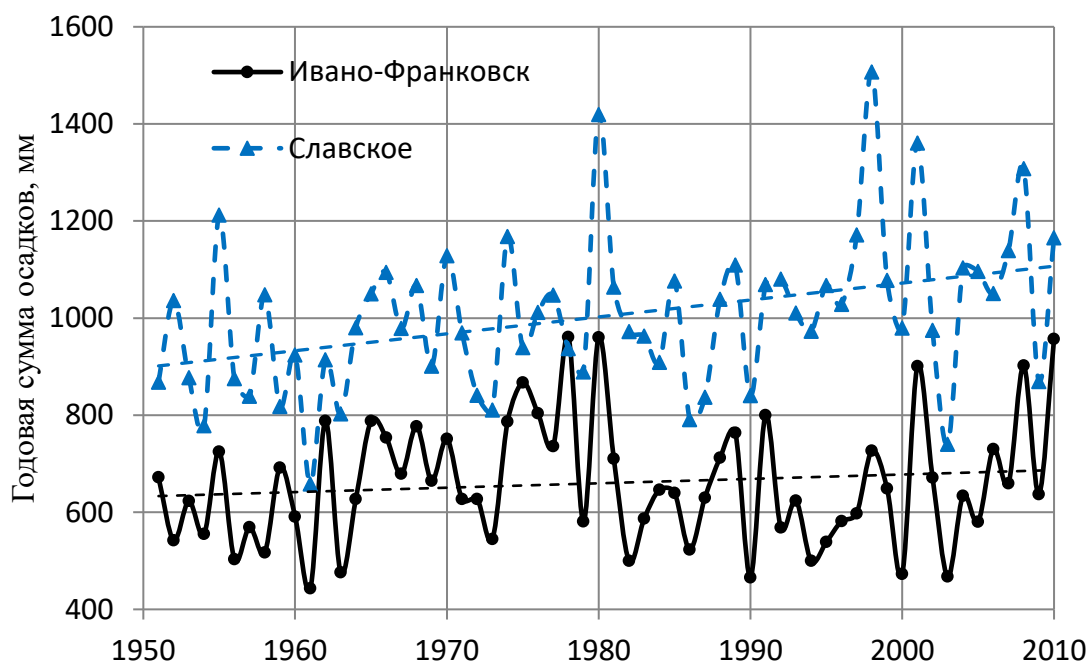


Рисунок 4.3 – Хронологический ход годовой суммы осадков на метеостанциях г. Ивано-Франковск и с. Славское. Пунктиром показаны линии трендов.

Среднее увеличение температуры в бассейне Днестра за 1991-2010 гг. по сравнению с климатической нормой составляет 0,8 °С, а максимальные температуры выросли на 1,0 °С [160].

Поскольку увеличение осадков сопровождается ростом температур воздуха, а вместе с ним и испарения с поверхности суши, то направленные изменения стока не установлены (рис. 4.4).

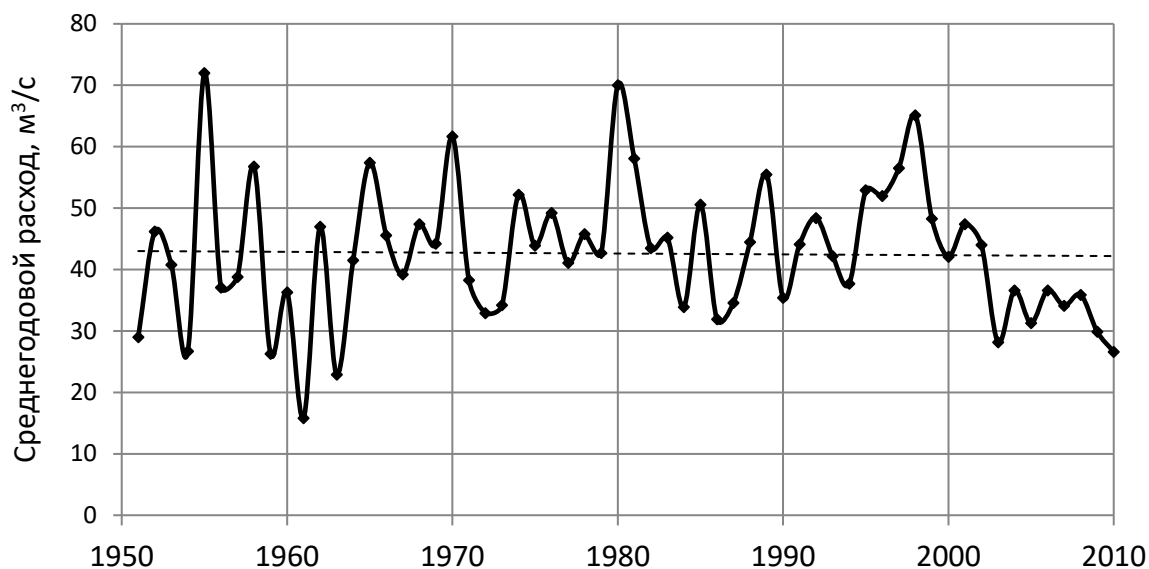


Рисунок 4.4 – Хронологический ход годового стока р. Стрый - Верхнее Синевидное (пунктиром среднее многолетнее значение)

Более полное представление о характере колебаний гидрометеорологических характеристик дают разностные интегральные кривые. В колебаниях среднегодовых температур воздуха до 1987 года (рис. 4.5) прослеживается отрицательная или холодная фаза, сменившаяся в 1988 году на теплую.

В ходе колебаний годовых осадков отчетливо выделяется отрицательная (сухая) фаза, начавшаяся в 1982 году. В 90-х годах прошлого столетия стала формироваться многоводная фаза, наиболее выраженная в ходе изменений годовых осадков в селе Славское (рис. 4.6). Несмотря на проявившуюся тенденцию к увеличению осадков, годовой сток рек в некоторых створах начал уменьшаться и его колебания в период 2000-2010 гг. перешли в маловодную фазу (рис. 4.7). Это можно объяснить антропогенным влиянием ряда факторов, на которые указано в водном кадастре: “нев’язка стоку у вузлі р. Стрий біля смт Верхнє Синьовиднє за протягом року зумовлена забором води на промислові потреби смт Верхнє Синьовиднє та впливом роботи Явірської ГЕС” [161].

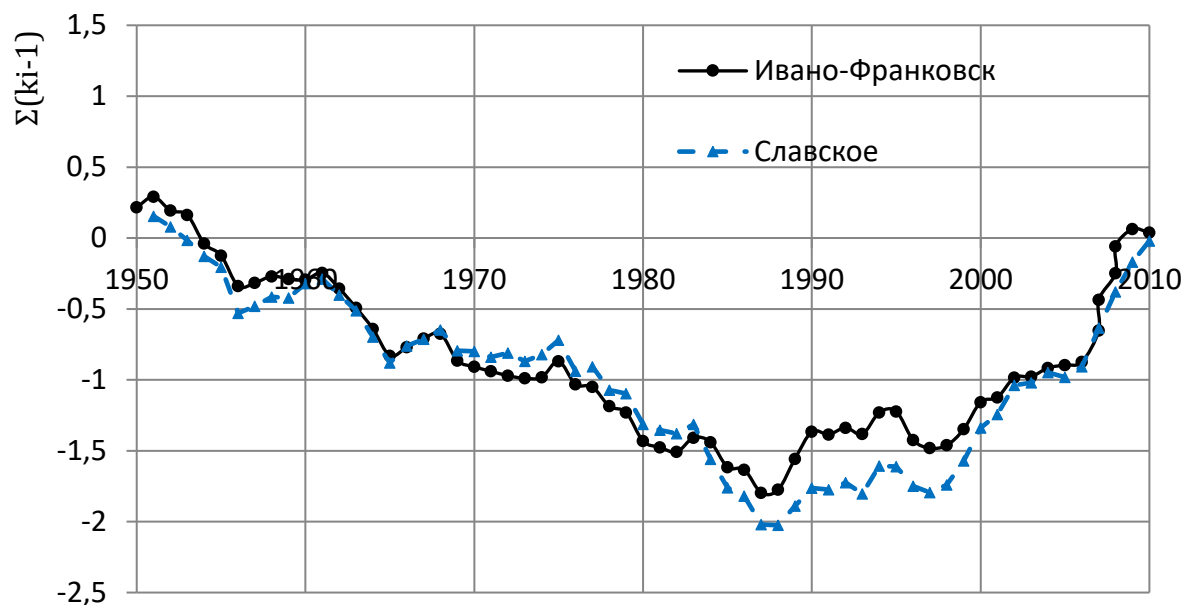


Рисунок 4.5 – Разностная интегральная кривая среднегодовых температур воздуха по метеостанциям г.Ивано-Франковск и с. Славское

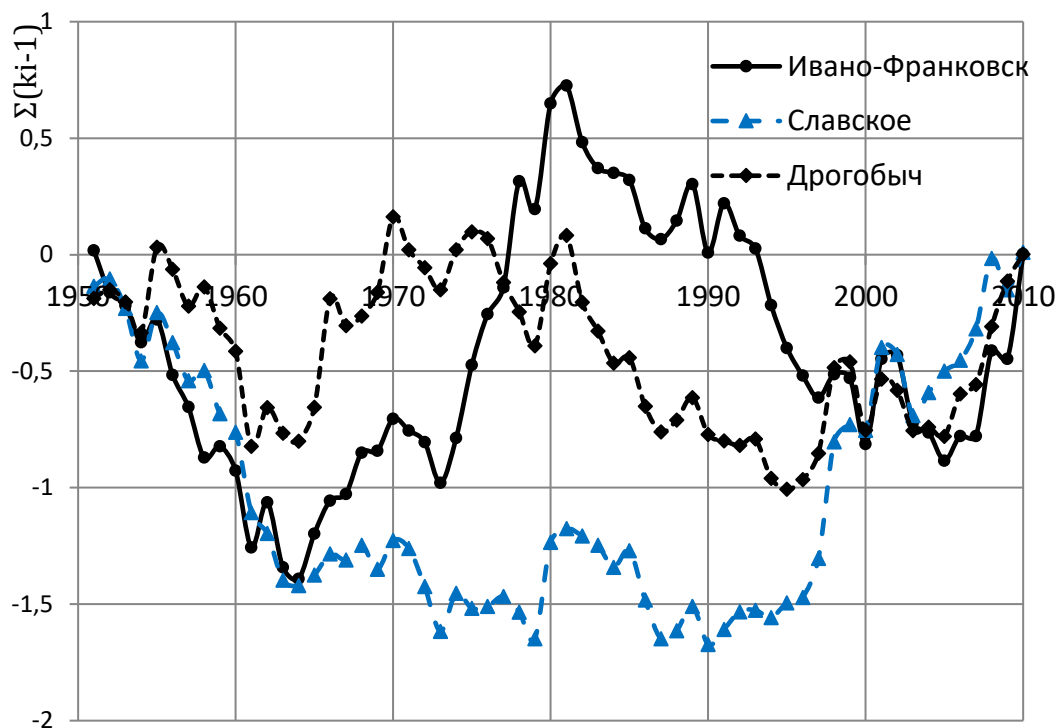


Рисунок 4.6 – Разностные интегральные кривые годовых осадков по метеостанциям г.Ивано-Франковск, с.Славское и г.Дрогобыч.

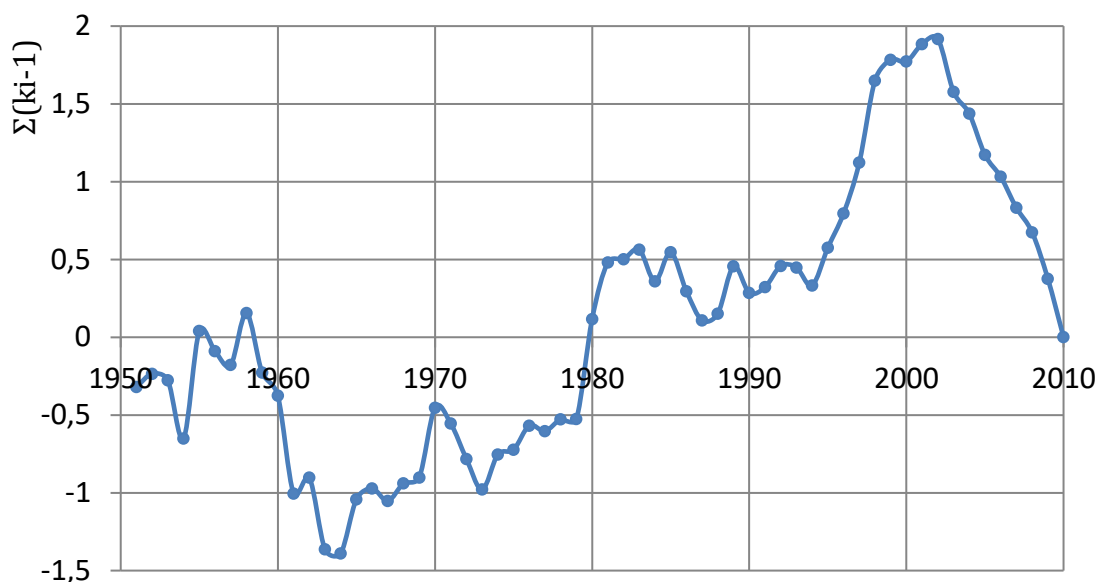
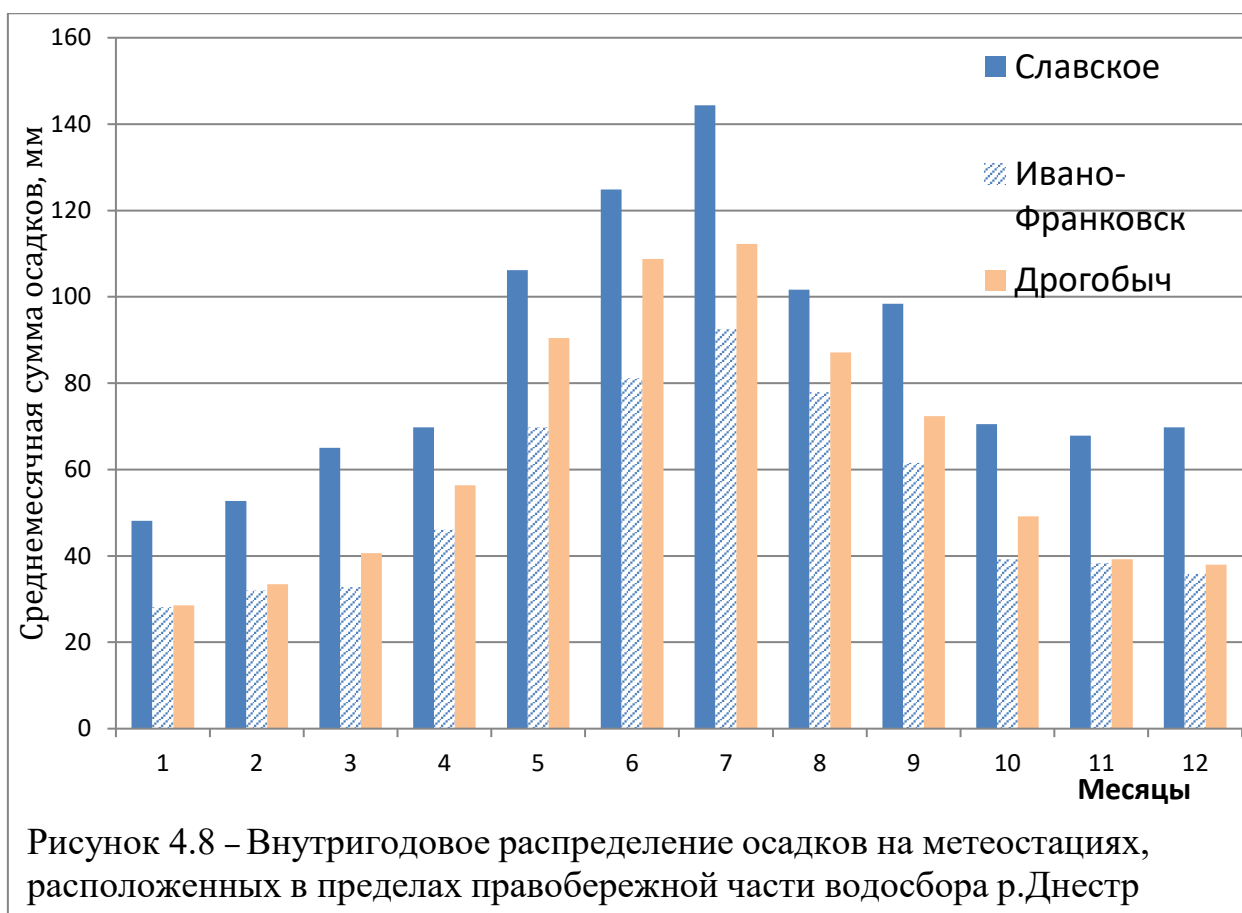


Рисунок 4.7 – Разностная интегральная кривая годового стока р. Стрый – пгт. Верхнее Синевидное (средняя высота 760 м).

4.2 Внутригодовое распределение

Внутригодовое распределение стока зависит от соотношения ресурсов тепла и влаги. Ресурсы тепла связаны с внутригодовым распределением температур воздуха, ресурсы влаги – с внутригодовым распределением осадков. Среднегодовая сумма осадков за 1951-2010 гг. в с. Славское составляет 1000 мм. В г. Дрогобыч за этот же период зафиксировано 744 мм и в г. Ивано-Франковске – 660 мм. Характер внутригодового распределения осадков для всех представленных метеостанций одинаков (рис.4.8), а наибольшее их количество выпадает в июле.



Сравнение внутригодового распределения осадков до и после 1982 г показало, что осадки летнего сезона (VI-VIII) уменьшились на 9 %, а осеннего (IX-XI) возросли на 13 %. В весенний (III-V) сезон в с.Славское увеличение составило 22 %, в городах Дрогобыч и Ивано-Франковск – 11 %. В зимний сезон произошло уменьшение осадков на 4 %.

По данным ученых Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института “увеличение температуры воздуха наблюдается не только у земной поверхности, но и во всей толщи нижней тропосферы, что привело к росту неустойчивости атмосферы, скорости вертикальных движений. Вследствие таких изменений увеличилась максимальная интенсивность осадков, количество сильных и очень сильных дождей и их вклад в сумму осадков теплого периода и соответственно, годовую сумму” [160].

Изменение внутригодового распределения стока не всегда соответствует изменению осадков. Так несмотря на увеличение осадков в весенний сезон наблюдается незначительное (около 1 %) снижение вклада стока весеннего сезона в формирование годового стока табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Сезонное распределение стока на горных реках правобережной части верхнего Днестра за разные периоды, %

Река-пункт, средняя высота водосборов	Весна		Лето		Осень		Зима	
	1950- 1982 гг.	1982- 2010 гг.	1950- 1982 гг.	1982- 2010 гг.	1950- 1982 гг.	1982- 2010 гг.	1950- 1982 гг.	1982- 2010 гг.
Тысьменица- г.Дрогобыч, 390 м	32	30	33	31	17	21	18	18
Орава- х.Святослав, 860 м	39	38	28	24	16	21	17	17
Стрый-пгт Верхнее Синевидное 760 м	39	38	28	23	17	21	16	18
Быстрица Соловинская -с.Гута, 1100 м	34	34	40	34	16	20	10	12
Свича-х. Мысловка, 1000 м	38	36	32	26	17	23	13	15
Свича-с. Заречное, 730 м	33	31	31	25	14	17	22	27
Среднее	36	35	32	27	16	21	16	18

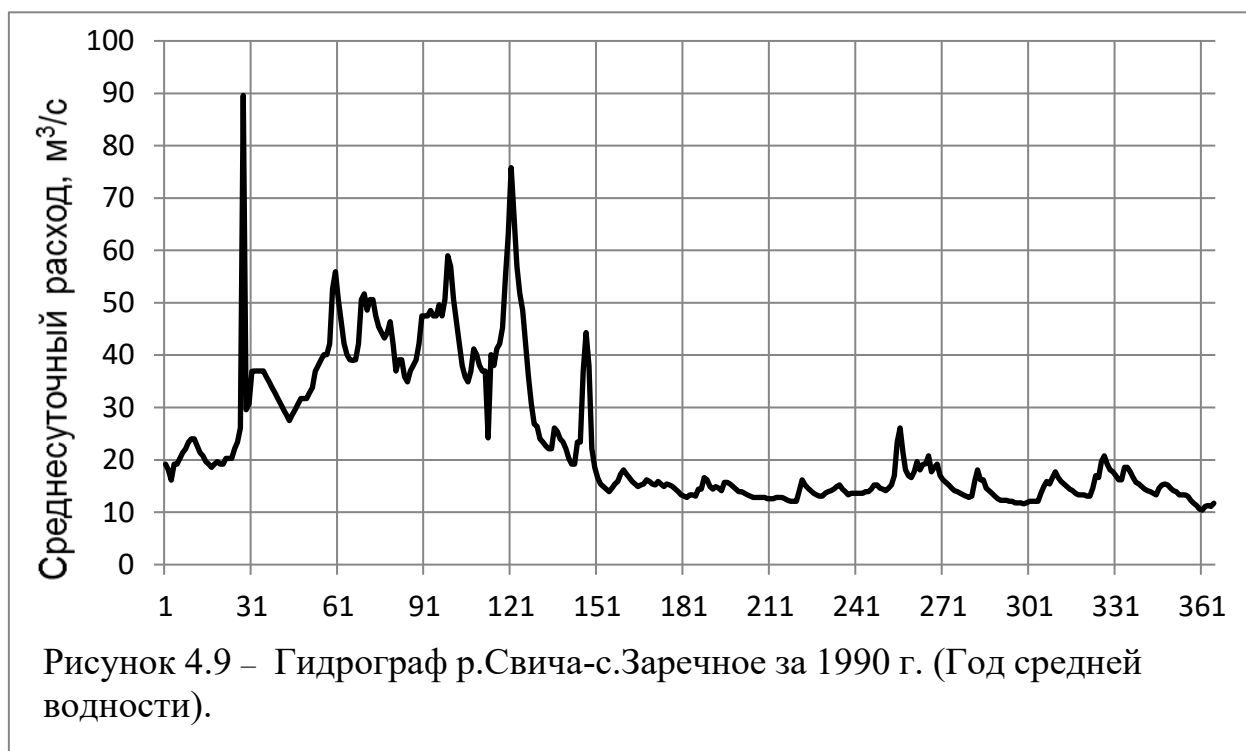
Вклад стока летнего сезона уменьшился в среднем на 5 %, а осеннего увеличился на 5 %. Отмечается также увеличение доли (около 2 %) зимнего стока.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о незначительных изменениях внутригодового стока горной части р. Днестр. Это объясняется тем, что изменение температурного режима этой территории происходит не столь интенсивно как на равнинной части и особенно в нижнем течении р. Днестр, поэтому последствия здесь не столь ярко выражены.

4.3 Генетическая природа максимального стока правобережных притоков верхнего Днестра

Верхние правые притоки, берущие начало на восточных склонах Карпат, имеют горный характер. Под влиянием оттепелей здесь могут формироваться зимние паводки, редко связанные с выпадением жидких осадков. Вклад жидких осадков в смешанный сток зимних оттепелей на правобережных

притоках Днестра (рр. Свича, Стрый, Ломница, Быстрица) изменяется в пределах 35-40 % и зимние паводки могут образовывать высокий максимум, предшествующего основной волне весеннего половодья. Так 30 января 1990 г на р. Свича зимний паводок предшествовал основной волне весеннего половодья, которое продолжалось до конца мая (рис. 4.9). Наибольшие расходы талых вод зимнего сезона наблюдались в 1924, 1941, 1952, 1955, 1964, 1976, 1981, 1999, 2005 гг.



Формирование паводочного (дождевого) стока на реках Днестра, как и в бассейнах других рек, происходит в результате взаимодействия значительно меняющихся во времени и по территории метеорологических факторов, обуславливающих характер ливня (интенсивность, продолжительность, площадь орошения), и почвенно-физических характеристик поверхности речных водосборов, определяющих величину потерь на инфильтрацию, скорость и время добегания воды по склонам и руслу [162, 163]. Условия формирования дождевого стока можно охарактеризовать по данным наблюдений за дождевыми осадками, которые более продолжительны, чем наблюдения за стоком рек. Первые наблюдения за дождевыми осадками относятся к 1886 г. и продолжаются до настоящего времени.

Ливневые осадки как основной фактор формирования дождевых паводков распределяются весьма неравномерно и существенно отличаются от распределения годовых сумм осадков, имеющих зональный характер. Наибольшие суммарные величины годовых осадков (1200—1500 мм) наблюдаются в Карпатах; в засушливые годы они могут уменьшиться до

500мм, а в дождливые превышают 1500 мм. Дождевые осадки большей частью выпадают летом, особенно в июне и в июле. Осадки теплого периода составляют около 70 % от годовой суммы.

Наибольший практический и теоретический интерес представляет изучение ливневых осадков. По имеющимся данным натурных наблюдений, в изучаемом районе формируются интенсивные ливневые дожди, охватывающие в Карпатах большие территории и вызывающие катастрофические паводки. В результате формирования поверхностного стока от ливневых осадков на горных склонах Карпат с особой силой проявляются эрозионные процессы: смывается почвенный покров и увеличивается сток наносов.

Широко распространены в Карпатах ливневые дожди продолжительностью до 3 часов и более, но с перерывами. Площади орошения при таких дождях достигают десятков тысяч квадратных километров. Площади орошения отдельными ливнями значительно меньше и составляют сотни, реже тысячи квадратных километров. Кроме обыкновенных серийных ливней и интенсивных дождей, для Карпат характерны ливни, чередующиеся с продолжительными обложными дождями, орошающими значительные площади [149].

В бассейнах рек правобережного Днестра формируются почти ежегодно высокие максимальные дождевые расходы, часто достигающие катастрофических величин. Здесь в течение теплого периода формируется обычно несколько паводков с высокими максимальными расходами. Наиболее обильные осадки в Карпатах (за имеющийся период наблюдений за стоком), сформировали наиболее высокие максимальные расходы, наблюдались в 1911, 1927, 1941, 1948, 1955, 1959, 1969, 1986, 2008 гг.

В бассейнах горных притоков Днестра наибольшие расходы в реках формируются при дождевых паводках в теплый период года (май—октябрь). Максимальные модули достигают очень больших величин (1270—2960 л/(сек·км²)) и слои стока 200-220 мм. Такие большие величины слоев стока на карпатских реках являются следствием выпадения здесь обильных дождей обложного характера [149].

Вертикальный градиент осадков на высотах 100 – 300 м в Карпатской части Днестра составляет 18 – 25 мм/100 м. Зимой он уменьшается (в среднем до 6 мм/100 м), а с поднятием вверх уменьшается еще стремительнее.

Слои стока дождевых паводков, как известно, имеют большую редукцию по площади водосбора, особенно на равнинных территориях изучаемых бассейнов, поэтому наибольшие значения слоев стока относятся преимущественно к малым площадям водосборов.

Для анализа развития особо опасных геоморфологических процессов, важным показателем режима осадков является их суточная сумма и площадь территории, охваченная дождем. Опасными, считают осадки, когда их количество за 12 часов превышает 15 мм, а стихийными – 50 мм.) [164]. Многолетние наблюдения за интенсивностью развития геоморфологических процессов дают основание утверждать, что в бассейне горного водотока суммы осадков 50 мм в сутки можно характеризовать как стихийные [40].

Такие экстремальные суточные суммы осадков наблюдаются в пределах бассейнов горной части верховья Днестра и Стрия. Сильнейшие дожди, которые послужили причиной развития экстремальных геоморфологических процессов в бассейне верхнего Днестра зафиксированы в ноябре 1895, июне 1900, июле 1911, августе 1927, сентябре 1941, августе 1955, июне 1969, июле 1980, июле 1997 [165].

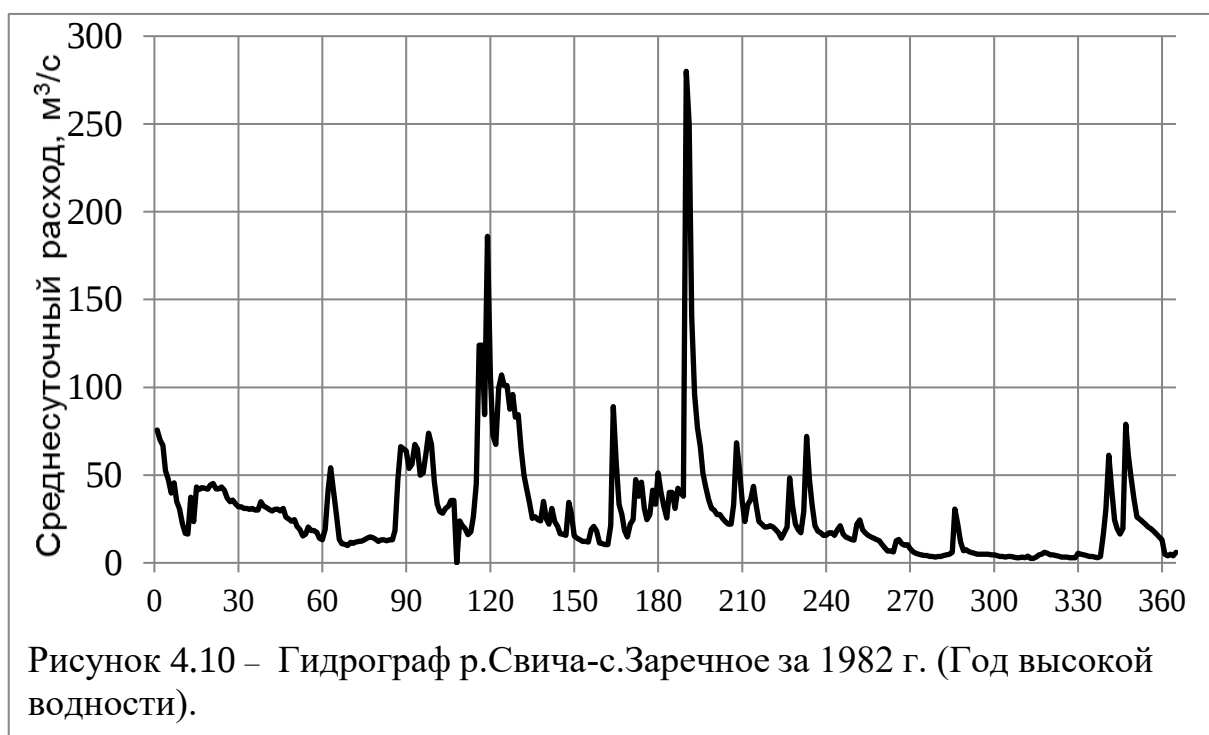
В качестве последних примеров таких событий можно привести дожди 2005 и 2008 годов. Так 10 июня 2005 года метеостанциями г. Сколе, пгт. Славское и с. Святослав были зафиксированы суточные суммы осадков, соответственно равные 42, 25 и 56 мм. За период 22-27 июля 2008 г. выпало 100-390 мм дождя в горной и передгорной частях бассейна Днестра, бассейне Стрия 156 – 343 мм, верховьях Чечвы, Быстрицы Солотвинской и Надворнянской, Ломницы 288 – 390 мм. В бассейне Днестра на 13 из 65 постов были зафиксированы исторические максимумы расходов. Эти осадки послужили причиной схождения селевых потоков, подтопления жилых дворов и сельскохозяйственных угодий, значительных материальных ущербов для приусадебных хозяйств.

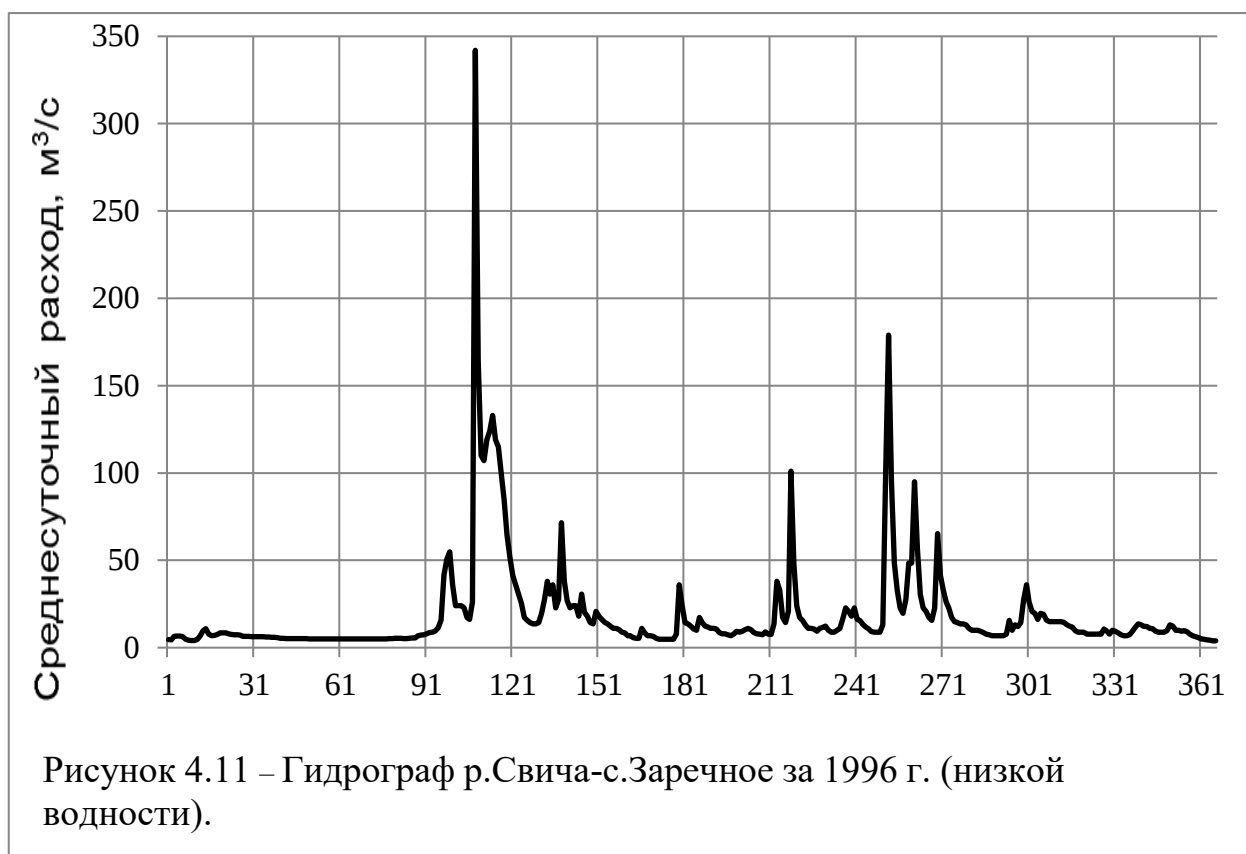
Относительно площади территории, охваченной осадками, то этот показатель характеризуется значительной дискретностью проявления в пределах отдельного бассейна. Это влияет на репрезентативность мониторинга всей системы на основе данных лишь одного пункта наблюдения. Так, например, в июле 2004 года зафиксированные экстремальные показатели суточных сумм осадков (до 160 мм) на метеопостах Славське и Святослав послужили причиной проявления опасных геоморфологических процессов и нанесли значительных материальных ущербов в населенных пунктах, которые расположенные ближе к метеопосту Сколе (Верхнее и Нижнее Синевидное), где суточные суммы осадков не достигали экстремальных величин [38].

В Карпатском гидрологическом районе значительно ниже степень зарегулирования стока прудами и водохранилищами, чем это имеет место на левобережных притоках Днестра. Отсутствие искусственного регулирования

обуславливает неравномерное распределение годового стока по сезонам и месяцам.

Для выделения периода наиболее вероятного прохождения максимальных расходов было рассмотрено три гидрографа (рис.4.9, 4.10, 4.11) р.Свича – с.Заречное в разные по обеспеченности годы: 1996 г. (год 75 % обеспеченности со среднегодовым расходом 18,5 м³/с); 1990 г. (50 % обеспеченности с расходом 23,4 м³/с) и 1982 г. (25 % обеспеченности, 27,6 м³/с). Как отмечено в работе [166], на водосборах со средней высотой ниже 900 м весеннее половодье проходит в марте-апреле с максимумом в апреле, а на водосборах со средней высотой выше 900 м – в апреле-мае также с максимумом в апреле. При высоте больше 1200 м максимум весеннего половодья может проходить в мае. Такое положение справедливо для маловодных и средних по водности лет (рис. 4.11, 4.9). В многоводные годы максимум среднемесячного стока может наблюдаться в летние месяцы, когда выпадают интенсивные и длительные дожди (рис. 4.10).



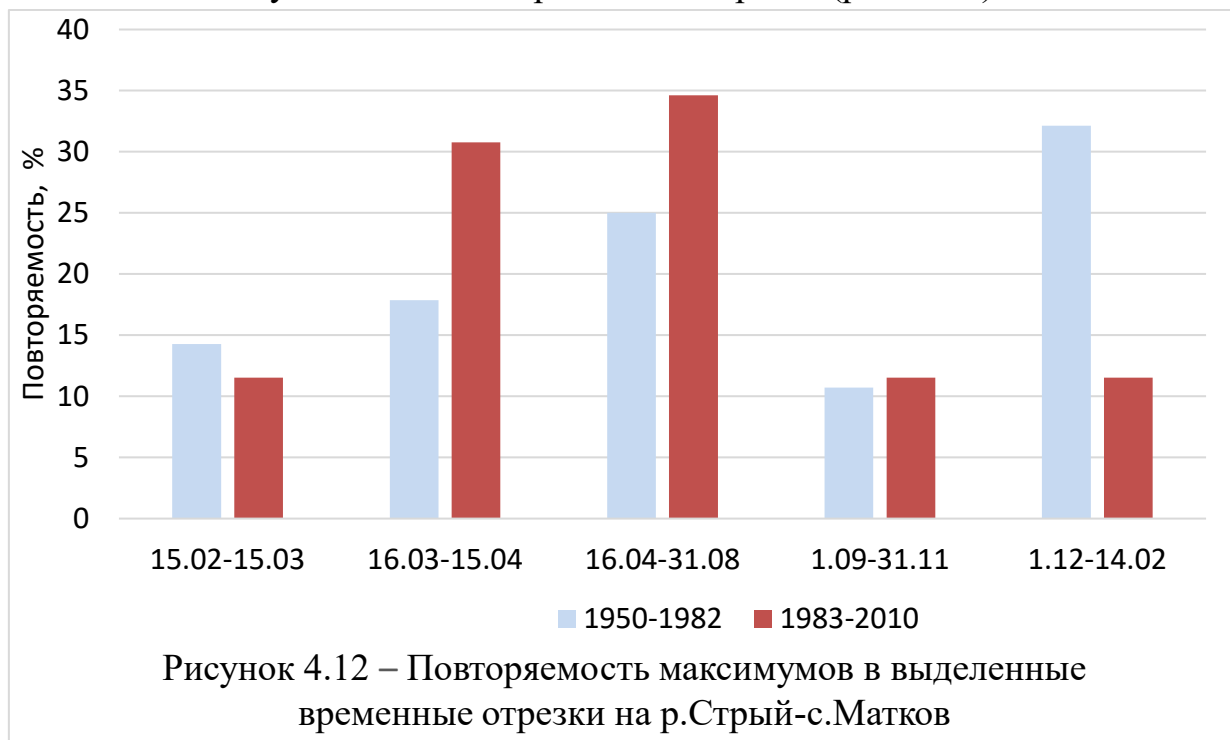


На горных реках Днестра половодья формируются на протяжении довольно длительного промежутка времени, до 2-3 месяцев. Ранние половодья могут начинаться с оттепелей в зимние месяцы (рис. 4.9. – 1990г.), а поздние – с середины марта, когда начинают таять накопившиеся запасы снега в горах (рис. 4.11. – 1996 г.). В определенные годы, из-за частых паводков, трудно выделить период половодья (рис. 4.10. – 1982 г.). Максимальные расходы превышают средние в 8-15 раз. Паводки в маловодные годы наблюдаются редко, а в многоводные годы именно они формируют максимальные расходы.

В формировании стока наносов часто определяющую роль играет максимальный за год расход [151, 152]. В свою очередь для расчетов, в которых используются максимальные расходы правобережных притоков р.Днестр, необходимо учитывать и их генетическое происхождение. Для этого внутри года были выделены различные временные интервалы так, чтобы можно было проследить изменения, которые происходят из-за смены условий формирования стока. Половодье в разные годы на разных реках проходит с конца февраля до начала апреля [5]. Для изучения динамики прохождения максимумов разделим этот период на два временных отрезка. Первый с 15 февраля до 15 марта, второй с 16 марта до 15 апреля. Третий отрезок с 16 апреля до 31 августа будет включать в себя весенне-летние паводки.

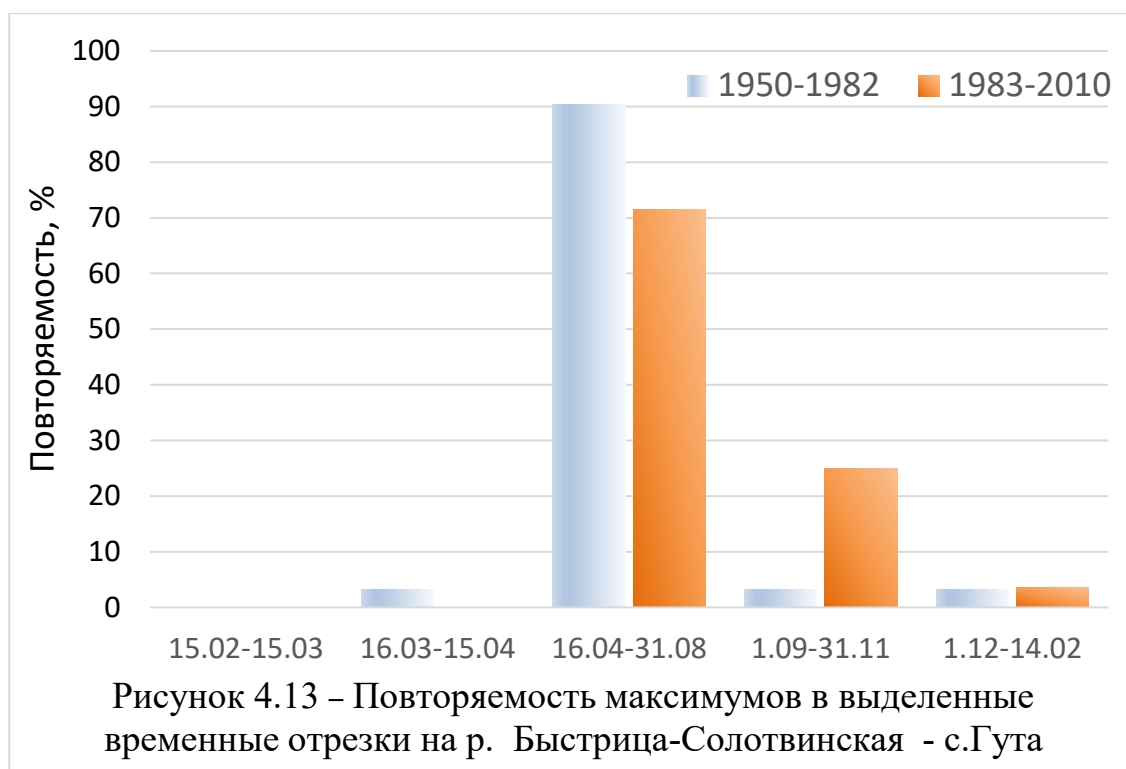
Соответственно осенние паводки войдут в четвертый отрезок с 1 сентября по 31 ноября. Пятый отрезок включает в себя временной интервал с 1 декабря до 14 февраля. Расчеты выполнялись для двух периодов: 1950-1982 гг. и 1983-2010 гг.

Для сравнения распределения выберем р. Стрый-с. Матков (средняя высота бассейна 860 м, площадь 106 км²) приведен график повторяемости годовых максимумов в каждом временном отрезке (рис. 4.12).



Из рис. 4.12 следует, что повторяемость максимумов возрасла в период позднего половодья и весенне-летних паводков и уменьшилась в зимний период.

Отличительные особенности распределения максимальных расходов по выделенным временным интервалам имеют реки Ломница, Быстрица-Солотвинская, Быстрица-Надворнянская. В верховьях бассейнов этих рек наблюдается максимальное для Украины годовое количество осадков. На рис. 4.13 представлена повторяемость максимальных расходов на р. Быстрица-Солотвинская с. Гута (средняя высота водосбора 1100 м). Здесь подавляющая часть максимальных расходов формируется в период весенне-летних паводков. Происходит это благодаря интенсивным летним дождям в высокогорной части бассейна. Особенности распределения максимальных сумм суточных осадков, в верховьях бассейнов рек Ломница, Быстрица-Солотвинская, Быстрица-Надворнянская, отражает карта значений 1 % обеспеченности ($H_{1\%}$) построенная П.М. Лютиком рис. 4.14. В качестве исходных данных им использовались материалы многолетних наблюдений по всем метеостанциям Карпат с периодом наблюдений от 40 до 100 лет [167].



Именно на метеостанции с. Гута (бассейн р. Быстрица Солотвинская) 8 июня 1969 года зафиксировано рекордное для Украины суточное количество осадков равное 239 мм. В то время как в г. Ивано-Франковск в этот день слой осадков составлял только 74 мм [168]. Во время паводка 22-27 июля 2008 г. в с. Гута выпало 390 мм осадков, тогда как в бассейне р. Стрый (расстояние около 60 км) только около 260 мм (пгт. Верхнее Синевидное 260 мм, х. Святослав 270 мм).

Таким образом распределение повторяемости максимальных расходов в северо-западной части горных притоков (бассейн рек Стрия, Свичи) отличается от распределения в юго-восточной (бассейн Ломницы, Быстриц Надворнянской и Солотвинской).

При рассмотрении максимальных расходов можно заметить, что в верховьях самого Днестра, бассейнах рек Быстрица, Тысьменица и нижней части бассейнов ряда рек (Стрый, Свича, Ломница) динамика явно положительная. Примером может служить р. Лужанка (приток р. Свича) максимальные расходы, которой представлен на рис. 4.15.

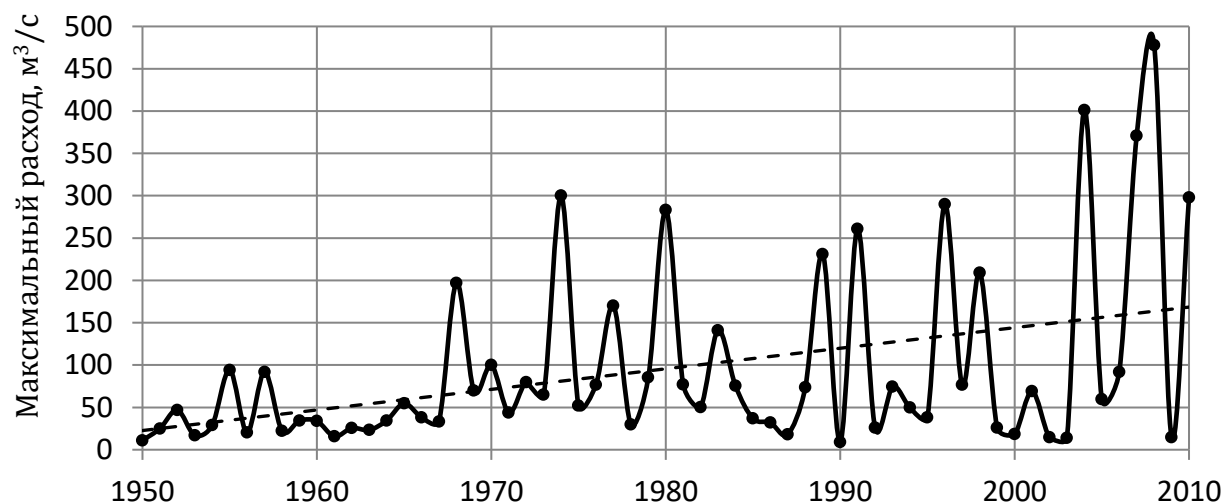


Рисунок 4.15 –Хронологический ход годовых максимумов р. Лужанка-с.Гошев (площадь бассейна 146 км², средняя высота 660 м).

В верховьях рек (Стрый, Свича, Ломница, Быстрица-Солотвинская, Быстрица-Надворнянская) наблюдается либо отсутствие тенденций, либо некоторое снижение (рис. 4.16).

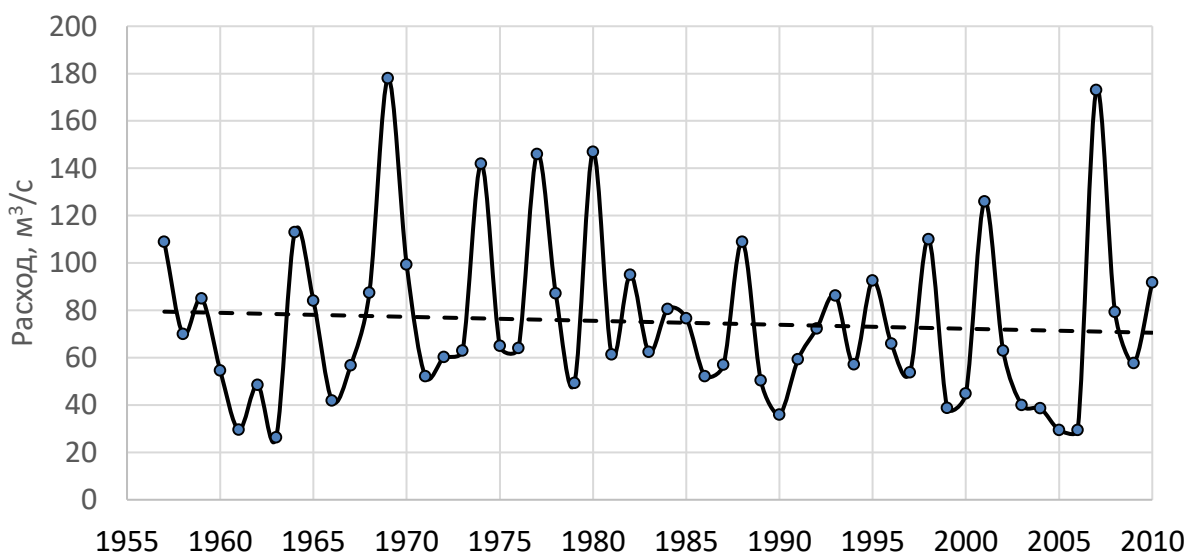


Рисунок 4.16 – Хронологический ход годовых максимумов р.Ломница-с.Осмолода (площадь бассейна 203 км², средняя высота 1200 м).
Пунктир - линия тренда. Тренд статистически не значимый.

Годовые максимумы на горных реках правобережья Днестра имеют наибольшую повторяемость в летний период. В северо-западной части

правобережья Днестра повторяемость достигает 35 %, а в юго-восточной части 90 %.

Проанализировав хронологический ход годовых максимумов всех горных притоков правобережья Днестра можно прийти к выводу, что в бассейнах рек, расположенных выше отметки 750-800 м годовые максимумы либо не имеют направленного изменения, либо имеют тенденцию к снижению. В реках со средней высотой ниже этой отметки годовые максимумы увеличиваются.

Общее распределение динамики максимального стока в бассейнах Карпато-Подольских притоков Днестра показано на рис. 3.18.

4.4 Динамика распределения поверхностного и подземного стока правобережных притоков Днестра

Водность рек северо-восточного склона Карпат характеризуется значительной изменчивостью; годовые модули поверхностного стока здесь варьируют в пределах от 5 до 47,5 л/сек км², а средние многолетние значения — от 8 до 30 л/сек км². Карта норм естественного годового стока рек отражает его изменение в широтном направлении только для равнинной части территории [169].

Построенные на основе данных наблюдений за стоком зависимости среднемноголетних значений стока от высоты для разных периодов (рис. 4.17) практически совпадают.

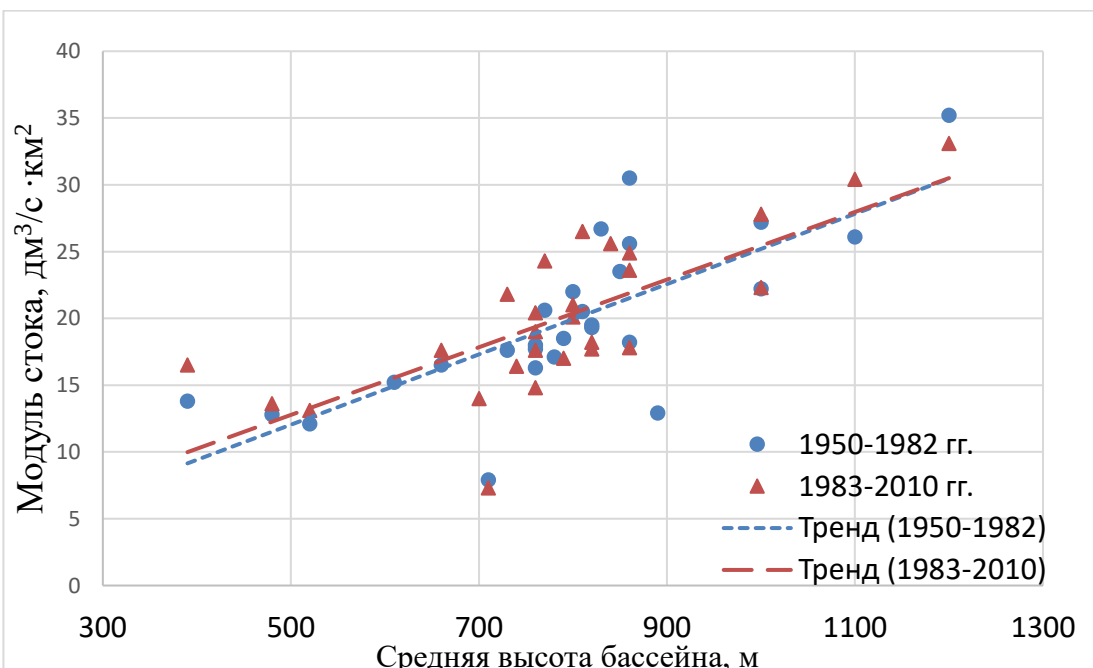


Рисунок 4.17 – Зависимости годового стока от средней высоты бассейна рек правобережья Днестра для периодов 1950-1982 гг. и 1983-2010 гг.

Таблица 4.2 – Средние многолетние величины годового стока горных притоков Днестра за различные периоды.

Река	Пункт	Площадь бассейна, км ²	Средняя высота, м	Модуль стока по А.Н. Бефани [143], дм ³ /с с км ²	Модуль стока, дм ³ /с с км ² до 1982	Модуль стока, дм ³ /с с км ² 1983-2010	Изменение, %
Быстрица	с.Озимица	206	520	12,4	12,1	13,1	8,3
Тысьменица	г.Дрогобыч	250	390	13,1	13,8	16,5	19,6
Стрый	с. Матков	106	860	32,5	30,5	24,9	-18,4
Стрый	с.Завадовка	740	800		22,0	21,0	-4,5
Стрый	Г.Турка	897	780	20,7	17,1		
Стрый	С.Ясеница	1020	760			20,4	
Стрый	С.Новый Крапивник	1140	760	19,3	17,7		
Стрый	С.Сопот	1325	760			19,0	
Стрый	Пгт. Верхнее Синевидное	2400	760		18,0	17,6	-2,2
Завадка (пр.р.Стрый)	С.Рыков	164	800			20,1	
Яблонька (пр.р.Стрый)	Г.Турка	140	790	18,8	18,5	17,0	-8,1
Рыбник (пр.р.Рыбник)	С.Майдан	138	840			25,6	
Рыбник (пр.р.Стрый)	С.Рыбник	159	830	26,7	26,7		
Опор (пр.р.Стрый)	Г.Сколе	733	820	24,8	19,5	17,7	-9,2
Славска (пр.р.Опор)	Пгт.Славское	77	860	24,2	25,6	23,6	-7,8
Рожанка (пр.р.Опор)	С.Ружанка	89	850	21,8	23,5		
Головчанка (пр.р.Опор)	С.Тухля	130	810	22,8	22,5	26,5	18,3
Орава (пр.р.Опор)	Х.Святослав	204	860	19,3	18,2	17,8	-2,2
Свича	Х.Мысловка	201	1000	31,6	27,2	27,8	2,2
Свича	С.Заречное	1280	730		17,6	21,8	23,9
Лужанка (пр.р.Свича)	С.Гошев	146	660	15,8	16,5	17,6	6,7

Сукель (пр.р.Свича)	С. Тисов	138	770		20,6	24,3	18,0
Ломница	С. Осмолада	203	1200		35,2	33,1	-6,0
Ломница	С.Перевозе ц	1490	760	15,8	16,3	14,8	-9,2
Чечва (пр.р.Ломниц а)	С.Спас	269	820	17,2	19,3	18,2	-5,7
Дуба (пр.р.Чечва)	С.Дуба	35	610		15,2		
Луква	С.Боднаров	185	480	10,4	12,8	13,6	6,2
Быстрица- Надворнянска я (пр.р.Быстриц а)	С.Пасечна	482	1000	26,8	22,2	22,3	0,5
Быстрица- Надворнянска я (пр.р.Быстриц а)	С.Черниев	679	740	19,2		16,4	
Ворона (пр.р.Быстриц а Надворнянска я)	Г.Тысьмени ца	657	710		7,9	7,3	-7,5
Быстрица Солотвинская (пр.р.Быстриц а)	С.Гута	112	1100	25,0	26,1	30,4	13
Быстрица Солотвинская (пр.р.Быстриц а)	Г. Ивано- Франковск	777	700			14,0	
Быстрица	С.Ямница	2450	890		12,9		
Средний показатель				20,9	19,8	20,0	2,4

В целом по табл. 4.2 можно сделать вывод, что речной сток на горных притоках Днестра не изменился.

По условиям формирования подземного стока в реки рассматриваемую территорию можно разделить на следующие районы: Предкарпатский краевой прогиб и Складчатые Карпаты [5].

Предкарпатский краевой прогиб вытянут сравнительно неширокой изогнутой полосой вдоль северо-восточного края Складчатых Карпат. Границы Предкарпатского прогиба в основном совпадают с Предкарпатской равниной, которая наклонена от гор к северо-востоку, к долине Днестра.

В Предкарпатском прогибе подземный сток формируется главным образом за счет вод сосредоточенных в аллювиальных отложениях и занимающих от одной трети до половины всей территории. Водоносный горизонт в древнеаллювиальных отложениях широко распространен на террасах р.Днестр и его многочисленных притоков (рр. Ломница, Стрый, Быстрица и др.). К водосодержащим породам отнесены галечники, разнородные пески с валунами и глиной. Подстилаются они мощным слоем водоупорных глин, песчаников и известняков миоцена и более древними аллювиальными отложениями. Мощность водоносного горизонта изменяется в пределах от 0,5 до 41 м, преобладает мощность равная 20 м [5]. Глубина залегания определяется геоморфологическими условиями. На первых надпойменных террасах водоносный горизонт залегает на глубине от 0,2 до 6,0 м, на более высоких террасах — от 6 до 25 м. Питание горизонта происходит за счет атмосферных осадков и частично подтока напорных вод из нижележащих водоносных горизонтов. Обычно область питания совпадает с областью распространения горизонта. Разгрузка водоносного горизонта происходит в долинах рек.

На территории Складчатых Карпат водовмещающими являются суглинки, линзы песка и супеси с обломками и щебнем коренных пород. Мощность водоносных горизонтов изменяется от 0,0 до 6—8 м [5]. Вскрываются они на глубине 0,5—18,4 м, чаще на глубине 0,5—9 м. Подстилаются мергелистыми глинами с тонкими прослойками песка, мергеля, известняка и песчаника сарматского и тортонского ярусов. Питание происходит за счет атмосферных осадков.

Несмотря на разнообразие распределений среднегодовых модулей подземного стока, А.Н. Бефани и О.В. Попов установили закономерность его изменения в направлении изменения годовых сумм осадков [143, 170]. Среднегодовые модули подземного стока по их данным изменяются от 3 до 12 л/сек·км², а минимальные — от 2 до 9 л/сек·км². Подземный сток составляет от 12 до 32 % общего годового. На формирование подземного стока в реки на территории Карпат значительное влияние оказывают, помимо гидрогеологических условий, особенности орографии — горный характер рельефа, климатические различия, различия в водном режиме рек.

Выбор схемы выделения подземной составляющей речного стока основывается на учете режима подземных вод и характера связи их с речными системами. Для горных районов характерны в основном водоносные горизонты, не имеющие гидравлической связи с рекой. Водоносные горизонты, гидравлически связанные с рекой, в горных условиях, имеют подчиненное значение; участие их в питании реки незначительно [154].

Для графического расчленения гидрографов при нисходящем типе питания наиболее часто используют метод срезки. Среди таких методов выделяют срезку по К.П. Воскресенскому, по огибающей, по методике А.Н. Бефани [154, 170, 171]. В последнем случае срезка осуществляется путем проведения прямой от начала подъема на точку спада когда быстрый криволинейный спад сменяется очень медленным линейным. Линия срезки получена из условия замены фактического гидрографа грунтового стока в период паводка равновеликой трапецией. В условиях горного района Карпат фактические гидрографы грунтового стока по общим своим очертаниям довольно близки к расчетному по “срезке” [143].

Исследования Т.М. Черной [154] при сравнении различных способов графического расчленения гидрографов общего стока для определения величин подземного питания рек с результатами, полученными при применении комплексного гидролого-гидрогеологического метода расчленения с учетом динамики подземного стока в периоды половодья и паводков, позволили ей сделать ряд выводов, которые можно использовать в настоящей работе.

Применение методов схематизированного учета динамики подземного стока в реку должно основываться в первую очередь на определении типа подземного питания рек.

Если отсутствует возможность применения гидролого-гидрогеологического метода расчленения с построением гидрографа подземного стока в реку независимым путем (расчет расхода подземного потока) или с учетом общей закономерности динамики подземного стока по гидрогеологическим данным, то могут быть использованы методы схематизированного учета динамики подземного стока в реку.

При массовых определениях величин подземного питания рек на больших территориях в однородных гидрогеологических условиях может быть допущено комплексное применение детальных методов расчленения гидрографов вместе со схематизированными, опирающимися на использование характерных минимальных расходов. При этом для некоторого числа опорных пунктов одновременно производится расчленение гидрографа детальными методами и более простыми, что позволяет установить отклонения между ними и ввести поправочный коэффициент. Массовые расчеты по всем остальным пунктам территории производятся простейшими способами с использованием поправочного коэффициента [154].

Для случая нисходящего подземного питания, в зависимости от динамичности подземного стока в реку в периоды половодья и паводков, метод срезки по характерным меженным расходам дает занижение [154].

Наиболее часто в качестве характерного расхода по предложению Г.А. Чипинга используется величина среднего из наименьших месячных расходов за отдельные годы. Этот метод нашел широкое использование при расчетах подземного стока рек Украины в работах М.Г. Галущенко и О.М. Галущенко [146, 172].

В работе В.В. Гребиня [147, стр. 199] метод определения полного и постоянного подземного стока по величинам минимального среднемесячного и минимального в году стока назван как усовершенствованный метод Г.А. Чипинга. При реализации этого метода в своих работах В.В. Гребень не использовал поправочные коэффициенты.

Согласно рекомендациям Т.М. Черной [154] были определены значения подземного стока в опорных пунктах. В качестве опорных пунктов выбраны посты наблюдений, по которым имеется максимальное количество данных. Нами была также использована информация по подземному стоку, приведенная в работе А.Н. Бефани [143]. Для расчета методом срезки для каждого опорного пункта были построены гидрографы за годы различной водности (25, 50 и 75 %) обеспеченности. Доля подземного питания каждого рассмотренного створа рассчитывалась как среднее арифметическое для этих трех лет. Кроме метода срезки был применен приближенный метод оценки подземного притока в реки, при котором подземный сток за определенный год принимался равным минимальному из среднемесячных значений стока в соответствующий год. Затем определялось среднее значение за выбранный временной интервал. Доля подземного стока вычислялась как отношение среднего значения подземного стока к среднему значению общего стока реки в створе за соответствующий период. Расчетное значение по упрощенному методу сравнивалось с “эталонным” значением опорных пунктов, в качестве которого принималось среднее из полученного методом срезки и по методике А.Н. Бефани [143]. В результате сравнения вычислялся поправочный коэффициент, который нужно вводить при определении подземной составляющей по упрощенному методу (табл. 4.3). Затем значения доли подземного стока других рек, полученные по упрощенному способу, умножались на среднее значение поправочного коэффициента. Этот способ удобен для производства массовых расчетов (табл. 4.4).

Таблица 4.3 – Данные для расчета поправочного коэффициента к упрощенному способу.

Река-пост	Доля подземного стока (расчет методом срезки),%	Доля подземного стока по А.Н. Бефани [143], %	Доля подземного стока по упрощенному методу %	Поправочный коэф.
Опор-г.Сколе	28	28	26	1,08
Головчанка-с.Тухля	31	33	28	1,14
Свича-с.Заречное	29	28	26	1,11
Ломница-с.Перевозец	32	30	24	1,30
Быстрица Надворнянская-с.Пасечная	33	28	25	1,22
Среднее	30,6	29,4	25,8	1,17

Таблица 4.4 – Сравнение подземного стока на правобережных притоках Днестра за два периода

Река	Пункт	Площадь водосбора, км ²	Доля подземного стока по данным А.Н. Бефани [143]	Доля подземного стока (до 1982 г.), %	Доля подземного стока (1983-2010 г.г.), %	Изменения за II период, %
Быстрица	с.Озимица	206	27	28	29	3,6
Тысьменица	г.Дрогобыч	250	34	39	55	41,0
Стрый	с. Матков	106	36	24	30	25,0
Стрый	с.Завадовка	740		17	23	35,3
Стрый	Г.Турка	897	32	35		
Стрый	С.Ясеница	1020			27	
Стрый	С.Новый Крапивник	1140	29	27		
Стрый	С.Сопот	1325		30		

Стрый	Пгт. Верхнее Синевидное	2400		28	31	10,7
Завадка (пр.р.Стрый)	С.Рыков	164			26	
Яблонька (пр.р.Стрый)	Г.Турка	140	24	23	30	30,4
Рыбник (пр.р.Рыбник)	С.Майдан	138			37	
Рыбник (пр.р.Стрый)	С.Рыбник	159	32	32		
Опор (пр.р.Стрый)	Г.Сколе	733	28	30	30	0,0
Славска (пр.р.Опор)	Пгт.Славское	77	32	27	46	70,4
Рожанка (пр.р.Опор)	С.Ружанка	89	29	29		
Головчанка (пр.р.Опор)	С.Тухля	130	33	30	35	16,7
Орава (пр.р.Опор)	Х.Святослав	204	36	37	36	-2,7
Свича	Х.Мысловка	201	38	32	44	37,5
Свича	С.Заречное	1280	28	27	33	22,2
Лужанка (пр.р.Свича)	С.Гошев	146	40	35	34	-2,9
Сукель (пр.р.Свича)	С. Тисов	138		30	35	16,7
Ломница	С. Осмолода	203		30	34	13,3
Ломница	С.Перевозец	1490	30	27	29	7,4
Чечва (пр.р.Ломница)	С.Спас	269	33	26	33	26,9
Дуба (пр.р.Чечва)	С.Дуба	35		26		
Луква	С.Боднаров	185	19	17	22	29,4
Быстрица-Надворнянская (пр.р.Быстрица)	С.Пасечна	482	28	27	33	22,2
Быстрица-Надворнянская (пр.р.Быстрица)	С.Черниев	679			26	
Ворона (пр.р.Быстрица Надворнянская)	Г.Тысьменица	657		32	39	21,9
Быстрица Солотвинская (пр.р.Быстрица)	С.Гута	112		26	30	15,4

Быстрица Солотвинская (пр.р.Быстрица)	Г. Ивано- Франковск	777			29	
Быстрица	С.Ямница	2450		25		
Среднее			31	29	33	13,8

Сравнение подземной составляющей, выполненные для двух сравниваемых периодов (до и после 1982 года) показало существование стойкой тенденции к его увеличению, которое в среднем составляет 13,8 %.

Результаты расчета показывают удовлетворительное совпадение с данными А.Н. Бефани, О.В. Попова и других авторов [143, 170, 5]. Данные по полному подземному стоку в работе [147] на 15-18 % выше, чем в данной работе.

Рост с 1982 г. доли подземного стока также, как и на территории Подолии, объясняется увеличением температур воздуха в зимний сезон и частыми оттепелями. Подобные изменения отмечали и другие авторы [32, 122, 125].

4.5 Динамика стока наносов на горных притоках Днестра

Одной из особенностей рек правобережья Днестра является большой годовой сток наносов, который транспортируют реки. В первую очередь это обусловлено горным характером течения рек. Верхние правые притоки Днестра – Стрый, Свича, Ломница, Быстрица и др. – берут начало на северо-восточных склонах Карпат, где находится основная область питания этих рек наносами. По выходе из гор реки вступают в полосу предгорий и низменностей, где преобладают песчано-известняковые отложения. Транзитные наносы горных рек частично в этой зоне аккумулируются, местные же водотоки обладают небольшой транспортирующей способностью, поэтому мутность водотоков здесь ниже, чем в прилегающих горных районах. Горные реки юго-восточных склонов Карпат, несмотря на бурный паводочный режим переносят относительно мало взвешенных наносов. Местами этому препятствует значительная облесенность склонов речных долин и недостаток в продуктах водной эрозии.

Исследование динамики стока наносов требует постоянного пополнения и обновления исходных данных с учетом изменений климата и гидрологических характеристик рек. Полученные во втором разделе непрерывные ряды наблюдений позволяют проследить динамику стока наносов на горных реках правобережья Днестра.

Почти на всех реках наблюдается увеличение расхода взвешенных наносов. На ряде гидростворов, например, Быстрица-с.Озимица, увеличение

весьма значительно и имеет устойчивую тенденцию к повышению с 1995 г. (Рис. 4.21). Другие реки имеют статистически незначимые изменения и устойчивую тенденцию снижения расхода наносов с конца 80-х годов прошлого столетия. Примером различного “поведения” стока наносов могут служить реки Быстрица (рис. 4.18) и Стрый (рис. 4.19). На первой, с середины 90-х годов сформировалась положительная фаза в колебаниях стока наносов, на второй – с начала 90-х – отрицательная.



На трех реках наблюдается снижение стока наносов кроме р Стрый это р.Свича-с.Заречное рис. 4.20 и Быстрица Надворнянская – с. Пасечная. Отсутствие пиков в стоке наносов на этих реках в 2008, 2010 гг., когда имелись резкие увеличения максимальных расходов (рис.4.21) свидетельствует о

существенных преобразованиях в бассейнах рек (устойчивая самоотмстка русел рек, увеличение лесистости и т.д.). В результате анализа литературных сведений и проведенных топографических исследований с помощью сервиса Google Earth каких-либо антропогенных вмешательств на участках выше указанных створов не обнаружено.

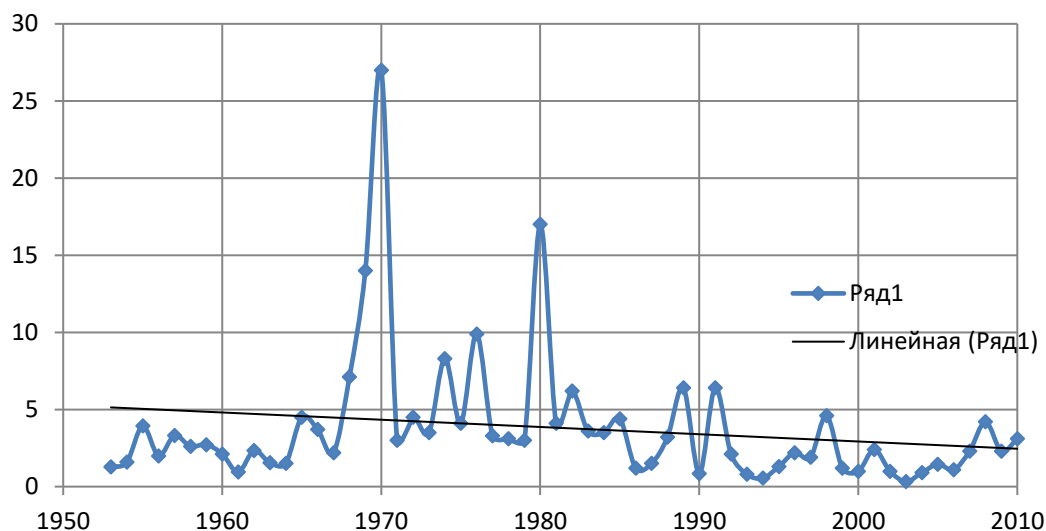


Рисунок 4.20 – Среднегодовой расход взвешенных наносов на р.Свича-с. Заречное.

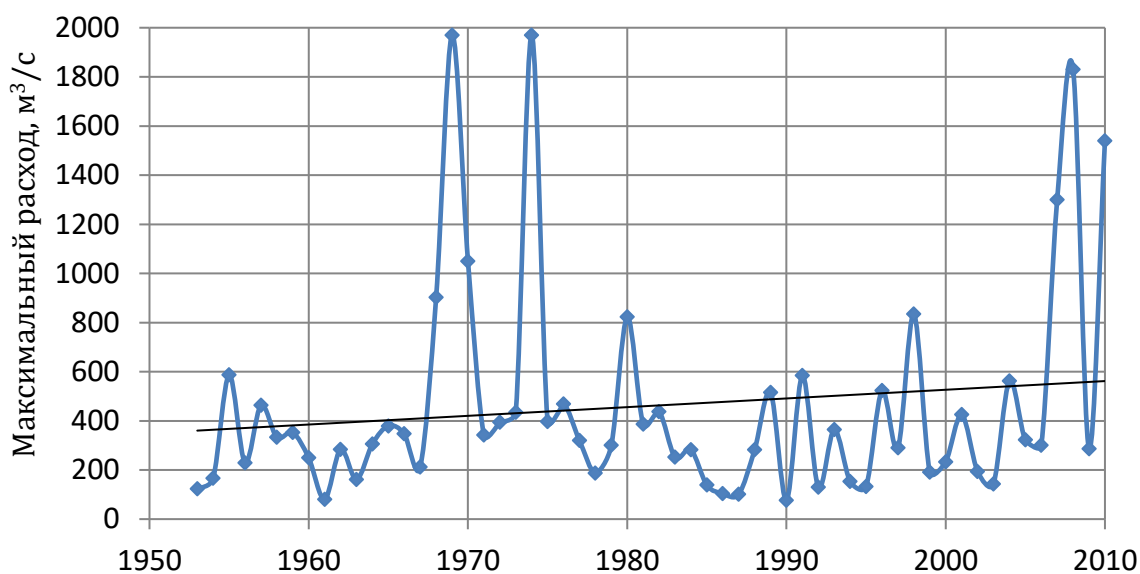


Рисунок 4.21 – Максимальный за год расход на р. Свича - с. Заречное.

Существование двух типов разностных интегральных кривых стока наносов можно объяснить различиями в изменениях максимального стока (рис.4.15, 4.16). Последние в свою очередь зависят от распределения динамики стока по правобережью Днестра.

В результате анализа стока наносов на правобережных притоках Днестра можно прийти к выводу, что реки в Северо-Западной части за исследуемый период имеют тенденцию к увеличению стока наносов в

соответствии с динамикой максимального стока. В центральной и Юго-Восточной части существующие тенденции в изменениях стока наносов статистически незначимы.

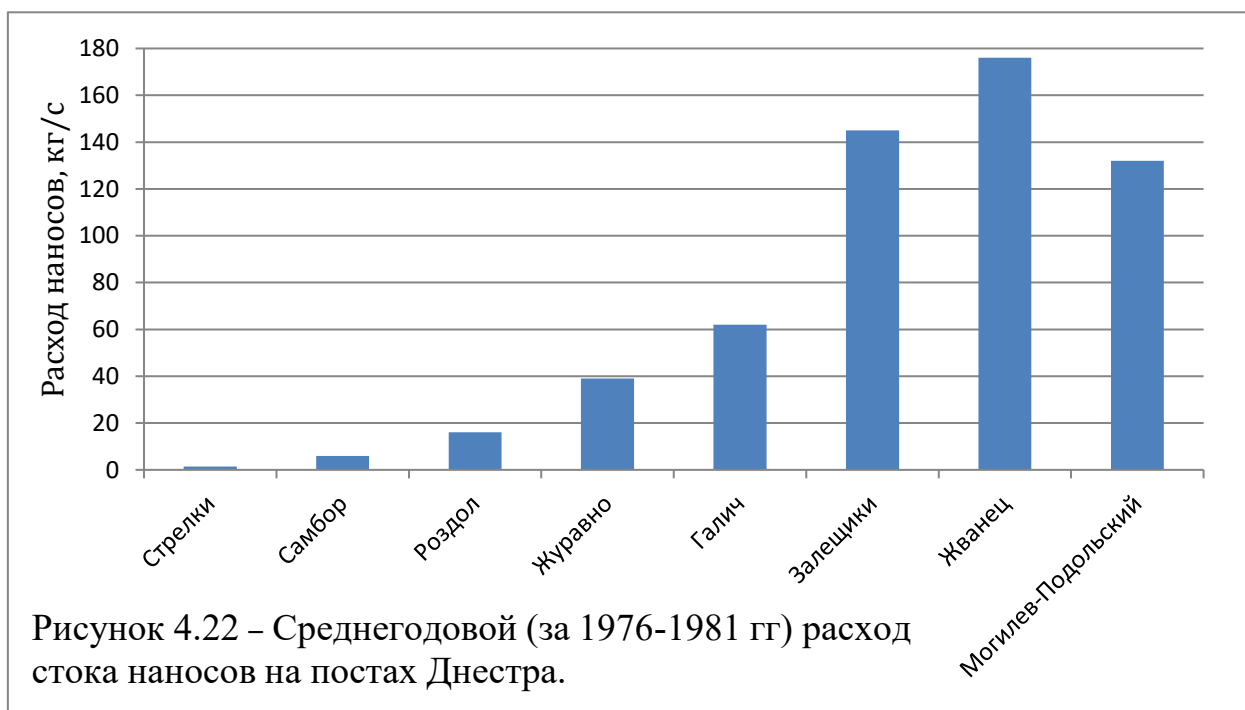
4.6 Динамика стока наносов по длине реки Днестр

Данные современных исследований стока наносов верхнего Днестра [38, 41, 161, 162, 146] свидетельствуют, что амплитуда колебания модулей стока взвешенных наносов и расходов воды за период 1950-2010 гг. довольно высокая. Так, по результатам многолетних наблюдений в створе г.Самбор максимальные значения модуля стока наносов ($740-640 \text{ т/км}^2$ за год) приходятся на 1968 – 1970 гг. и превышают средний многолетний показатель (166 т/км^2 за год) в четыре с половиной раза. Такая амплитуда является результатом многофакторного влияния, которое было проанализировано в работе [38] при изучении многолетней динамики стока наносов, расходов воды и количества осадков. Кроме этого, максимальные показатели стока взвешенных наносов слабо коррелируют с максимальным расходом воды и показателями количества осадков. Это обстоятельство, по мнению О.В. Пыльпович [38] может свидетельствовать о преобладающем влиянии других факторов, в частности о вырубке леса, которое интенсивно проводилось в бассейне верхнего Днестра в конце 60-х – середине 70-х лет прошлого столетия.

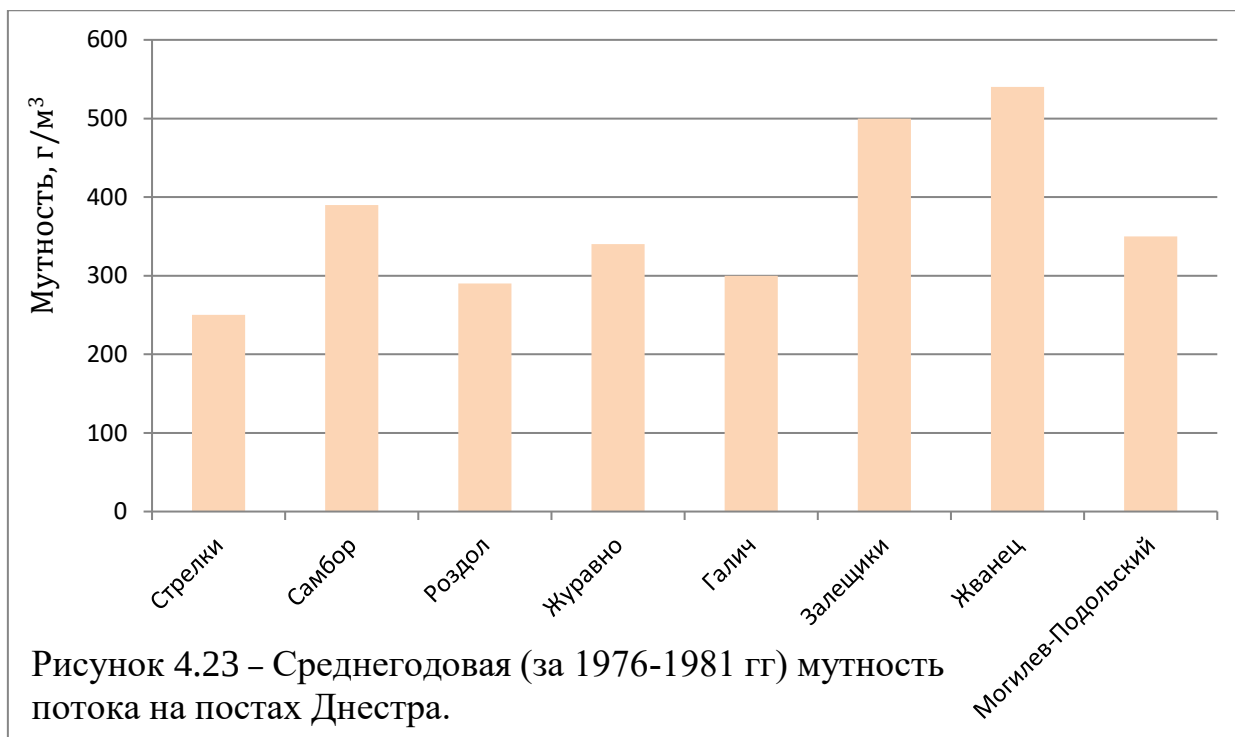
В верхнем течении Днестра (до г. Самбор) дно реки в основном каменистое. Ниже на участке до устья р. Стрый, вследствие малого падения, крупные отложения отсутствуют, и дно его покрыто глинами, песком, часто заилено. Наибольший слой ила наблюдается на участке Днестра выше устья р. Стрвяж, наименьший – после впадения р. Тысьменица [50]. Ниже по течению до г. Журавно дно преимущественно покрыто гравием и щебнем, а далее вновь каменистое. Крупные наносы, такие как гравий и галька, поступают в русло Днестра преимущественно от правых карпатских притоков (р. Ломница, р. Свича, р. Быстрица и др).

В среднем течении Днестра русло каменистое с отложениями гальки (иногда в виде сплошного покрова), которая иногда переходит в гравий с песком [50]. По данным А.Г. Ободовского [173] за последние 50 лет в большинстве створов наблюдается уменьшение диаметра наносов. Увеличение размеров наносов в отдельных створах связывают с добычей галечно-гравиевого аллювия.

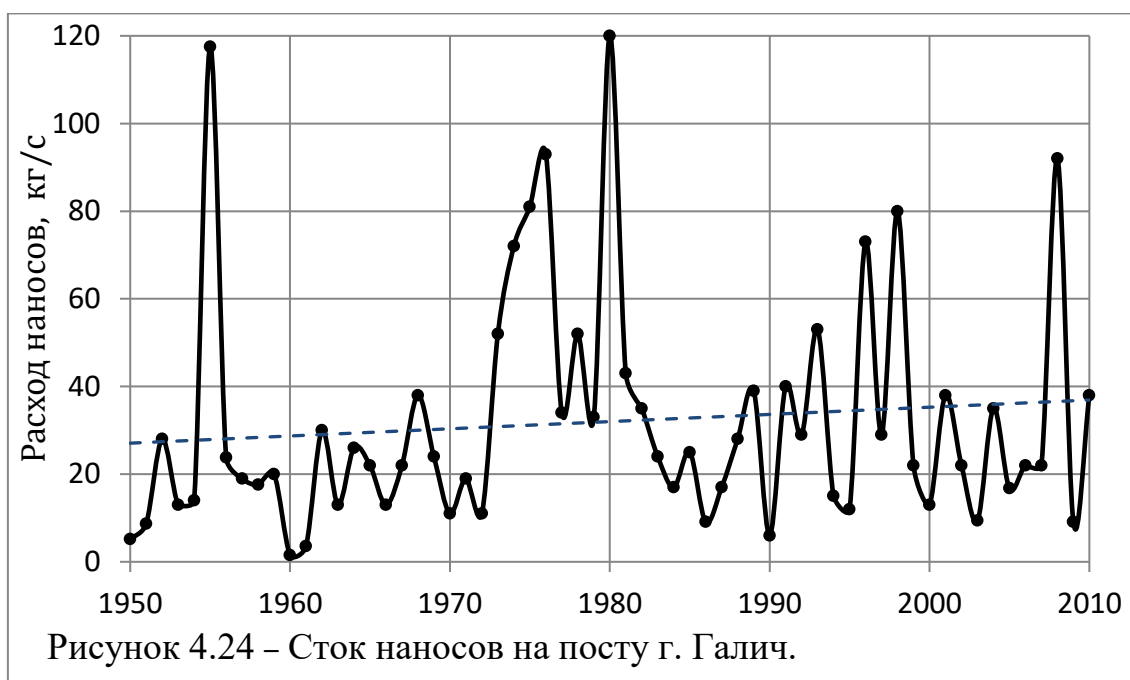
Для сравнения стока наносов на постах Днестра был выбран временной интервал синхронных измерений. Позже, чем на всех других постах, начались наблюдения на посту с. Журавно (1976г.), а уже с 1981 началось заполнение Днестровского водохранилища, что уменьшило сток наносов в створе г. Могилев-Подольский почти в 30 раз. Для анализа изменений стока наносов по длине р. Днестр был принят период продолжительностью с 1976 по 1981 годы. Этот период попадает в многоводную фазу колебаний стока, вследствие чего полученные данные по стоку оказались несколько завышенными по сравнению со средними многолетними. Как следует из рис.4.22, по длине реки Днестр происходит увеличение среднегодового стока наносов. Лишь в створе Могилев-Подольский произошло их снижение в результате строительства Днестровского водохранилища.



Распределение мутности потока по длине р. Днестр является более неравномерным (рис.4.23). С одной стороны, это можно объяснить неодинаковым распределением уклона на разных участках р. Днестр и соответственно разной транспортирующей способностью потока, с другой стороны – притоком вдоль основного русла рек с разной мутностью. Например, выше поста Залещики в Днестр впадают реки Коропец и Стрыпа со среднегодовой мутностью (за 1976-1981 гг.) около 550 г/м^3 , в результате чего сразу повышается мутность в районе поста.



В отличие от водности левобережных притоков (табл.3.5) водность главной реки (Днестр) имеет тенденцию к повышению (рис.4.24), что хорошо видно из графика разностных интегральных кривых (рис.4.25). Объясняется это тем, что на этом участке водность главной реки в основном формируется горными правобережными притоками, водность которых увеличивается (табл.4.2), и модуль годового стока в 5 раз выше чем на левобережных притоках.



Можно отметить, что колебания водности и стока наносов происходят не синхронно (рис. 4.25, 4.26), коэффициент корреляции между значениями годового стока воды и стока наносов изменяется от 0,55 до 0,80.



Рисунок 4.25 – Разностные интегральные кривые среднегодовых расходов воды на постах г. Самбор и г. Залежики.

Характер колебаний годового стока рек может существенно отличаться от колебаний максимального стока (рис. 4.25, 4.27). При этом коэффициент корреляции между ними составляет 0,6-0,7. Такого рода колебания принято называть синфазными.

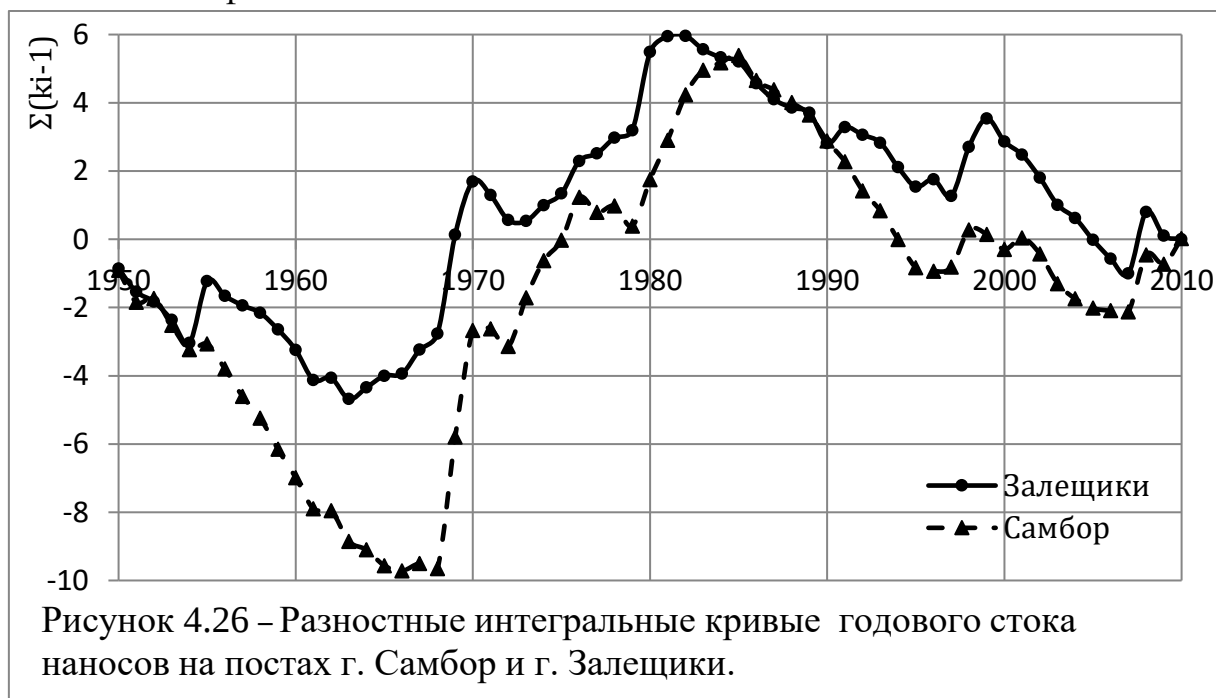


Рисунок 4.26 – Разностные интегральные кривые годового стока наносов на постах г. Самбор и г. Залежики.

Несоответствие стока наносов (рис. 4.26), колебаниям среднегодовых расходов воды (рис. 4.25) и максимальных расходов (рис. 4.27) объясняется

резким уменьшением наносов в левобережных притоках Днестра, причины которого рассмотрены в разделе 3 и более ранних работах авторов [151, 174].



Выводы по 4 разделу. За исследуемый период (1950-2010 гг.) на горных притоках Днестра наблюдается увеличение среднегодовой температуры воздуха в среднем на 1,0-1,5 °С. После 1988 года интенсивность увеличения температур воздуха резко возрастает. Установлена тенденция роста годовых сумм осадков. На высокогорных постах (например, Славское высота 600 м) этот рост достигает 200 мм, в низовьях рек (Дрогобыч высота 280 м, Ивано-Франковск 270 м) до 60 мм. В колебаниях годовых сумм осадков выделены два периода 1950-1982 гг. и 1983-2010 гг. с одной фазой отрицательной и положительной фазами в каждом периоде.

Несмотря на положительную фазу в колебаниях осадков, годовой сток на некоторых постах (например, Стрый-пгт Верхнее Синевидное) с 2000 г. начал уменьшаться и его колебания перешли в маловодную фазу, что в основном объясняется антропогенным влиянием (водозабором на хозяйственные нужды).

Поскольку увеличение осадков сопровождается ростом температур воздуха, а вместе с ним и испарения с поверхности суши, то средняя многолетняя величина годового стока основных горных притоков Днестра за исследуемый период практически не изменилась.

Сопоставление внутригодового распределения стока до и после начала значимых изменений в ходе колебаний климатических факторов позволило

установить тенденции к снижению процентного вклада весенних месяцев (III-V) и его увеличения в осенние месяцы (IX-XI). В весенний сезон снижение составило 1%, а осеннее увеличение – 4-5 %. Наибольший сток приходится на апрель-июнь и в некоторые месяцы составляет 14,6 % от годового. Наименьший наблюдается в январе и составляет около 4 %.

На территории горной части правобережья р.Днестр максимумы формируются в период прохождения весенне-летних паводков. Доля максимальных расходов во время весенне-летних паводков в Юго-Восточной части (бассейн р. Быстрицы) почти вдвое выше, чем в Северо-Западной (бассейн р. Стрый). Основная причина такого различия определяется интенсивными осадками летнего периода в высокогорных частях бассейна рек Быстрица Солотвинская и Быстрица Надворнянская.

При сравнении двух временных интервалов, существенного перераспределения максимальных расходов, неустановленно. Однако следует отметить увеличение доли летних и осенних максимумов за счет их снижения в зимний период, в бассейне р. Стрый. В бассейне р. Быстрица (Быстрица-Солотвинская, Быстрица-Надворнянская), доля летних максимумов наоборот уменьшилась, но увеличилась доля осенних.

В верховьях самого Днестра (до г. Самбор), бассейнах рек Быстрица, Тысьменица и нижней части бассейнов ряда рек (Стрия, Свичи, Ломницы) наблюдается рост абсолютных значений максимального стока.

В бассейнах рек Быстрица-Солотвинская, Тысьменица и в нижнем течении Свичи отмечено увеличение модуля годового стока в среднем на 20 %, на остальной территории значимых изменений не установлено. Изменения модуля стока на правобережье Днестра объясняется разнонаправленным изменением увлажнения исследуемой территории.

Среднее значение подземного стока для правобережных притоков Днестра составляет около 30 % от годового. На отдельных участках (р.Стрый-с.Завадовка, р.Луква-с.Боднаров) заметно меньше. Практически на всех постах наблюдается рост доли подземного стока, в среднем на 15 %. На правых притоках р. Стрый этот эффект наиболее выражен. Так, например, в створе р.Славска-пгт. Славское подземный сток увеличился с 27 до 46 %.

Реки Северо-Западного участка горных притоков Днестра за исследуемый период имеют тенденцию к увеличению стока наносов, что соответствует динамике максимального стока. В центральной и Юго-Восточной части динамика стока наносов статистически незначима.

За период 1950-2010 гг. на большинстве постов р. Днестр не происходит статистически значимого изменения стока наносов. Резкое снижение наносов на посту г. Могилев-Подольский с 1981 г. вызвано заполнением и началом

работы Днестровского водохранилища. Некоторое уменьшение наносов в период 1995-2010 гг. объясняется сокращением поступлений наносов от левобережных притоков.

5 ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ГОДОВОГО СТОКА БАССЕЙНА ВЕРХНЕГО И СРЕДНЕГО ДНЕСТРА В УСЛОВИЯХ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

5.1 Районирование годового стока с бассейна верхнего и среднего Днестра по характеру его колебаний на основе кластерного анализа

Речной сток характеризуется большой изменчивостью как во времени, так и в пространстве. Гидрологические посты распределены по территории неравномерно. Ряды наблюдений за стоком часто имеют короткий период наблюдений и характеризуются значительными погрешностями измерений и наличием пропусков. Эти обстоятельства вызывают определенные трудности при расчетах и прогнозах характеристик стока. Пространственные обобщения характеристик стока методом совместного анализа по группам гидрологически однородных объектов [175] дает возможность избежать многих случайных ошибок, связанных с особенностями отдельных рядов.

Классификация рек подразумевает их распределение по группам на основании выявленных наиболее существенных признаков, а районирование – приложение полученной классификации к конкретной территории, в пределах которой изучаемая величина подлежит осреднению [175, 176]. Такой подход позволяет определять характеристики недостаточно изученных гидрологических объектов, находящихся в выделенном районе. Для решения задач, связанных с оценкой пространственного распределения речного стока и его изменчивости, возникает необходимость разработки новых вариантов районирования. Особенно это важно для территории Верхнего Днестра, где климатические условия, рельеф и гидрогеология существенно различаются.

Вопросам классификации рек и гидрологического районирования уделялось много внимания различными исследователями. Классическими считаются работы С.Н. Крицкого, М.Ф. Менкеля [177], П.С. Кузина [175] по районированию территории всего Советского Союза. В основу этих работ были положены количественные показатели линейных зависимостей стока от факторов, его определяющих (площадь водосбора, уклон реки, озерность, заболоченность, залесенность, распаханность и др.). В этом случае были совмещены основные принципы районирования, изложенные в ландшафтной географии, а именно: генетический, комплексности, относительной однородности [175,]. Количественные показатели выполненного П.С. Кузиным районирования позволили выделить участки, которые имели не только однородные естественные условия формирования стока, но и определенный тип взаимосвязей, характерный лишь для установленной территории.

Позднее П.С. Кузин и В.И. Бабкин [178] с целью исследования синхронности колебаний годового стока рассматривали нормированные разностные интегральные кривые для годового, меженного и половодного

стока 200 опорных створов рек бывшего Советского Союза. Несмотря на разнообразие количественных показателей фаз водности были выделены районы со сходным характером циклических колебаний стока.

Непосредственно для территории Украины исследования по синхронности колебаний годового стока выполнялись в УкрНИГМИ [179]. В качестве критерия районирования использовался коэффициент асинхронности. Величина данного коэффициента определялась как отношение суммарного хронологического стока к суммарному равнообеспеченному стоку. Анализ коэффициентов асинхронности в пределах Украины показал, что лишь совместное рассмотрение Северского Донца, Днепра, Днестра, Дуная и Южного Буга дает ощутимый эффект асинхронности.

Еще одной схемой районирования, предложенной в УкрНИГМИ [179], является районирование территории Украины по условиям формирования минимального стока. Всего в пределах страны выделено 26 районов, причем часть из них разделена на подрайоны. Границы районов и подрайонов отвечают водоразделам средних и малых рек. При проведении районирования авторы исходили из подобия гидрогеологических условий и глубины вреза речных долин в земную поверхность относительно водоносных горизонтов.

Районирование территории Украины по синхронности колебаний годового стока на основе методов многомерного статистического анализа проводилось Н.С. Лободой [169]. Применяя Q-модификацию факторного анализа и метод главных компонент для анализа структуры корреляционных матриц, автор выделила три района с синхронными колебаниями годового стока. К первому отнесены водосборы рек Карпат, бассейны рр. Западный Буг, Днестр, Припять, верховье Южного Буга (до впадения притока - р. Ров) и правобережные притоки р. Днепр до впадения р. Рось. Ко второму району отнесены: среднее и нижнее течение р. Южный Буг, реки Причерноморья, бассейн р. Днепр, кроме указанной выше части, бассейн Северского Донца, водосборы рек Приазовья и степной части Крыма. Территория Горного Крыма выделена автором в отдельную область в связи с особенностями климатических условий формирования стока и влиянием подстилающей поверхности. Районы делятся на подрайоны, правомерность которых подтверждается более высокими (по отношению ко всему району) значениями осредненных коэффициентов корреляции между стоком рек [169].

Особое место в гидрологии занимает ландшафтно-гидрологическое районирование. Структура и иерархия таких систем была разработана учеными Сибирского отделения института географии РАН [180], которая для территории Украины разрабатывалась А.М. Мариничем, П.Г. Шищенко [181], что нашло свое дальнейшее развитие в работах В.В. Гребеня [182]. В соответствии с этой работой на территории Украины выделено 6 ландшафтно-гидрологических зон: зона достаточного увлажнения смешанных лесов, зона достаточного увлажнения широколиственных лесов, лесостепная зона недостаточного увлажнения, степная засушливая зона, Карпатская и

Крымская горные зоны. Ландшафтно-гидрологические зоны делятся на 12 провинций, а те, в свою очередь, на районы. Деление на зоны, провинции и районы выполнялось с учетом условий увлажнения территории и морфометрических показателей водосбора. В соответствии с [182] рассматриваемая территория верхнего и среднего Днестра делится на три района: Днестровско-Прутскую ландшафтно-гидрологическую провинцию, район Ростоцко-Опольской возвышенности и район Подольско-Приднепровской возвышенности. Это деление можно считать наиболее детальным для рассматриваемой территории на данный момент времени.

С другой стороны, изучаемая территория имеет и другие географические классификации. Так, в соответствии с агроклиматическим районированием она относится к горным районам Украинских Карпат (правые притоки Днестра) и Западной лесостепи [25].

Кроме того, рассматриваемая территория сильно отличается по климатическим условиям. Исходя из физико-географического районирования правобережье расположено в природной стране Украинских Карпат, а левобережье – в Западно-Украинской провинции лесостепной зоны. Среднее течение реки находится в пределах Днестровско-Днепровской провинции. Указанным районам соответствуют агроклиматические зоны Карпатских гор, Западной лесостепи, Центральной и Восточной лесостепи.

Значительное количество работ, связанных с районированием по синхронности колебаний стока, выполнялось на основе разностных интегральных кривых, рассчитанных по данным о стоке больших рек [175, 178, 179, 180, 181]. В работе [169] районирование по синхронности стока проводилось на основе факторного анализа с использованием данных до 1986 г. За последние годы произошли существенные климатические изменения [183] и определенные изменения ландшафта [184], что еще не нашло своего отражения в схемах районирования. Неоднородный ландшафт верхней и средней части Днестра, большая насыщенность территории водотоками и высокая вероятность формирования опасных паводков обусловила проведение детального районирования с использованием методов многомерного статистического анализа.

Задачей данного подраздела является проведение гидрологического районирования, основанного на анализе распределения речного стока путем формализации показателей его изменчивости и группирования временных рядов наблюдений среднегодовых расходов воды с помощью кластерного анализа.

В настоящее время кластерный анализ находит все более широкое применение при гидрологическом районировании территории. Так, он с успехом использовался для гидрологического районирования Каспийского бассейна [185] и ландшафтно-гидрологического районирования территории Украины [186].

Кластерный анализ (англ. Data clustering) позволяет решать задачу разбиения заданной выборки объектов на непересекающиеся подмножества,

называемые кластерами, так, чтобы каждый кластер состоял из схожих объектов, а объекты разных кластеров существенно отличались.

Наиболее часто выявления кластерной структуры производится в следующих целях: для упрощения дальнейшей обработки данных (к каждому кластеру можно применять свой метод анализа); для сжатия данных (если исходная выборка избыточно большая, то можно сократить её, оставив по одному наиболее типичному представителю от каждого кластера); для обнаружения новизны (выделяются нетипичные объекты, которые не удаётся присоединить ни к одному из кластеров).

Чаще всего используют два алгоритма кластеризации. Первый – обобщенная алгомеративная процедура или древовидная кластеризация. Этот метод используется при небольшом количестве исходных данных. На первом шаге каждый объект считается отдельным кластером. На следующем шаге объединяются два ближайших объекта, которые образуют новый класс, определяются расстояния от этого класса до всех остальных объектов, и размерность матрицы расстояний D сокращается на единицу. На p -ом шаге повторяется та же процедура на матрице, пока все объекты не объединятся в один класс (n – количество объектов в матрице).

При формировании кластеров используется мера “несходства” или расстояния между объектами. Эти расстояния могут определяться в одномерном или многомерном пространстве. Наиболее прямой путь определения расстояний между объектами в многомерном пространстве состоит в вычислении евклидовых расстояний следующим образом:

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - x_j)^2}$$
, где x_i, x_j измерения i -го и j -го объекта, m – количество измерений i -го и j -го объекта. Существует и другие методы определения расстояний: квадрат евклидового расстояния, “расстояние городских кварталов”, расстояние Чебышева и др.

На первом шаге, когда каждый объект представляет собой отдельный кластер, расстояния между этими объектами определяются выбранной мерой. Однако, когда связываются вместе несколько объектов в один кластер, то необходимо принять правило связи. Чаще всего используется “правило ближайшего соседа”, когда расстояние между кластерами рассчитывается по расстоянию между двумя ближайшими объектами, принадлежащими к разным кластерам. Другое название этого способа – метод одиночной связи. Как альтернативу иногда используют “соседей” в кластерах, которые находятся дальше всех остальных пар объектов. Этот метод называется методом полной связи. Существуют также другие методы объединения кластеров: метод невзвешенного попарного арифметического среднего, метод взвешенного попарного арифметического среднего, метод невзвешенного попарного центроидного усреднения и др. [187].

Наряду с иерархическими методами классификации, существует многочисленная группа так называемых итеративных методов кластерного анализа (метод k - средних). Их сущность заключается в том, что процесс классификации начинается с задания некоторых начальных условий

(количество образуемых кластеров, порог завершения процесса классификации и т.д.). Метод k - средних используется для обработки больших статистических совокупностей.

Математическое описание алгоритма метода k - средних. Пусть имеется n наблюдений, каждое из которых характеризуется m признаками. Эти наблюдения необходимо разбить на k кластеров. Для начала из n точек исследуемой совокупности отбираются случайным образом k объектов. Эти объекты принимаются за эталоны. Каждому эталону присваивается порядковый номер, который одновременно является и номером кластера. На первом шаге из оставшихся - объектов извлекается точка с координатами и проверяется, к какому из центров она находится ближе всего. Для этого используется одна из метрик, например, евклидово расстояние. Проверяемый объект присоединяется к тому центру, которому соответствует минимальное из расстояний. Центр заменяется новым, пересчитанным с учетом присоединенной точки, и вес его (количество объектов, входящих в данный кластер) увеличивается на единицу. На следующем шаге выбираем точку и для нее повторяются все процедуры. Таким образом, через “ p ” шагов все точки (объекты) совокупности окажутся отнесенными к одному из k кластеров, но на этом процесс разбиения не заканчивается. Для того чтобы добиться устойчивости разбиения по тому же правилу, все точки опять подсоединяются к полученным кластерам, при этом веса продолжают накапливаться. Новое разбиение сравнивается с предыдущим. Если они совпадают, то работа алгоритма завершается. В противном случае цикл повторяется. В конечном итоге, каждая точка будет относиться к такому кластеру, для которого расстояние от центра минимально. Итеративный алгоритм минимизирует дисперсию внутри каждого кластера, хотя в явном виде такой критерий оптимизации не используется.

Третий способ кластерного анализа – двухвходовое объединение в качестве конечного результата выдает переупорядоченную матрицу данных, отображаемую в виде карты линий уровня. На графике по горизонтали откладываются участвующие в классификации переменные, а по вертикали - наблюдения. Цвета ячеек, находящихся на пересечении, указывают на принадлежность элементов матрицы к определенному кластеру. Такая сложная интерпретация результатов делает процедуру двухвходового объединения не столь наглядной, особенно при большом количестве переменных.

Расходы воды на рассматриваемых постах отличаются на несколько порядков, поэтому к матрице исходных величин была применена процедура нормализации в соответствии с которой каждое значение в ней рассчитывалось как $X_i^N = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$, где x_i – текущее значение величины, $\bar{x}$ - среднее значение, σ - среднеквадратическое (стандартное) отклонение величины.

Применение древовидной кластеризации к матрице нормализованных среднегодовых расходов гидрологических постов верхнего и среднего

Днестра с использованием евклидового расстояния и объединения методом одиночной связи дает диаграмму, представленную на рис. 5.1.

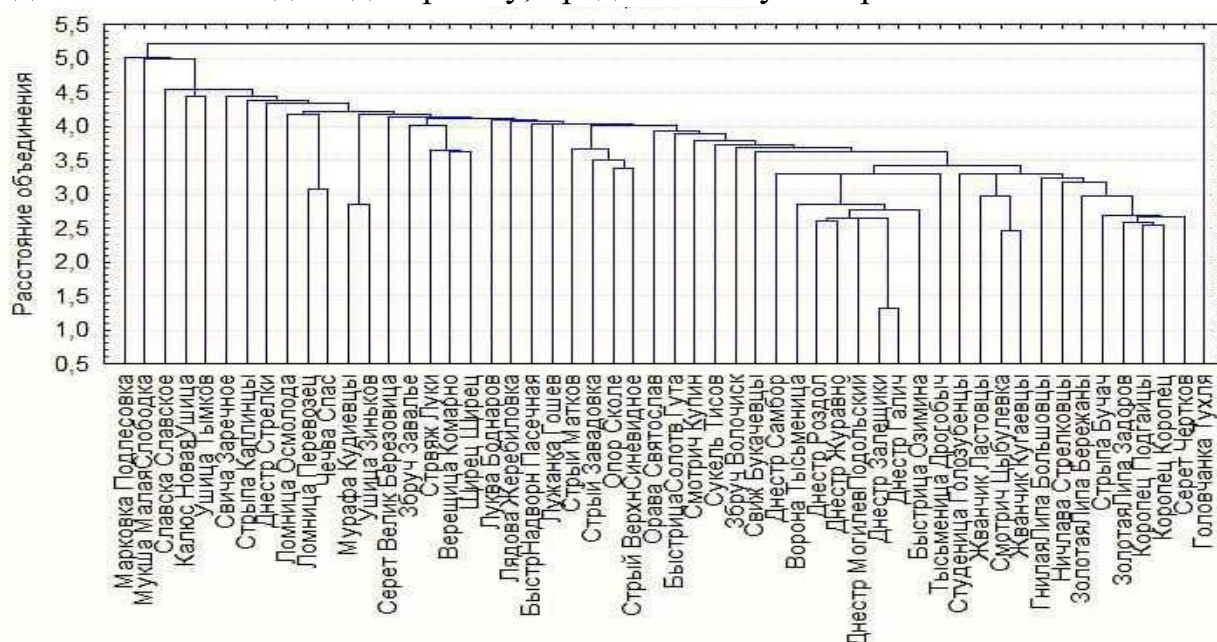


Рисунок 5.1 – Дендрограмма объединения рек бассейна верхнего и среднего Днестра.

С помощью древовидной диаграммы можно наглядно проследить процесс объединения и делать предварительные выводы. Например, ранее всего происходит объединение двух рядов наблюдений на р. Днестр – в створах Залещики и Галич (рис. 5.1.), что является логичным и свидетельствует о правильной подготовке исходных данных и верном алгоритме работы. Объединение рядов р.Головчанка-с.Тухля и р.Марковка-с.Подлесовская происходит на последнем шаге, т.е. эти ряды существенно отличаются от всех остальных. При выделении конкретных кластеров использование древовидной диаграммы при большом количестве переменных является малоэффективным.

Метод k – средних предполагает задание процедуры выбора начальных центров кластера. Выберем способ максимизации расстояний между кластерами. В этом случае на первом этапе выбираются первые k (в соответствии с количеством кластеров) наблюдений, которые служат центрами кластеров. Последующие наблюдения заменяют ранее выбранные центры в том случае, если наименьшее расстояние до любого из них больше, чем наименьшее расстояние между кластерами. В результате этой процедуры расстояние между кластерами максимизируются.

Использование метода k – средних гарантировано позволяет разбить все посты наблюдений на классы (кластеры). Одной из важных задач исследователя при использовании этого способа является указание количества кластеров, на которые нужно разделять исследуемые переменные.

При делении на два кластера получаем традиционное деление территории на Подольский и Карпатский кластеры. Схема деления на три кластера представлена на рис.5.2. Следует отметить, что границы этих

кластеров практически совпадают с толтровым кряжем т.е. границами между Западно-Подольской и Северо-Подольской физико-географическими областями (рис. 1.2).

В предыдущих работах авторов [188] по данным до 2006 г. выделялось 5 районов. В настоящей работе в связи с удлинением рядов стало возможным детализировать районы и выделить на исследуемой территории 6 кластеров. Это количество совпадает с количеством областей, выделенных при физико-географическом районировании территории Украины (табл. 1.1).

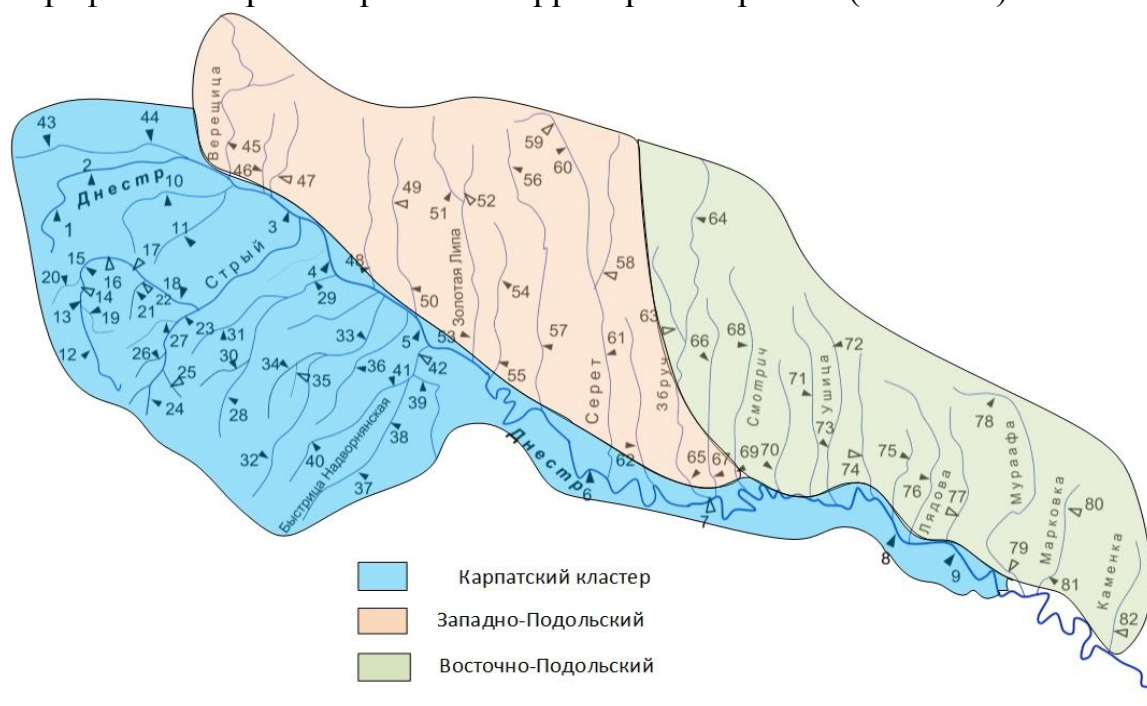


Рисунок 5.2 – Распределение территории при выделении трех кластеров.

Применение метода k – средних, к матрице нормализованных среднегодовых расходов позволяет получить разбиение на 6 кластеров, представленное на рис. 5.3, а расстояние между кластерами представлены в табл. 5. 1.

Различные изменения в расчетах (количество постов, длина ряда наблюдений, способ расчета расстояний и т.д.) оказывают влияние на результаты районирования, но общий характер распределения сохраняется и в какой-то степени аналогичен физико-географическому районированию (рис. 1.2).

У трех рек (Свича, Збруч, Ушица) верхняя и нижняя части бассейнов попадают в разные кластеры, что свидетельствует о различных условиях формирования стока на водосборе.

Принадлежность постов, расположенных непосредственно на р. Днестр, к Карпатскому кластеру означает, что сток р. Днестр формируется, в основном, за счет притока горных рек.

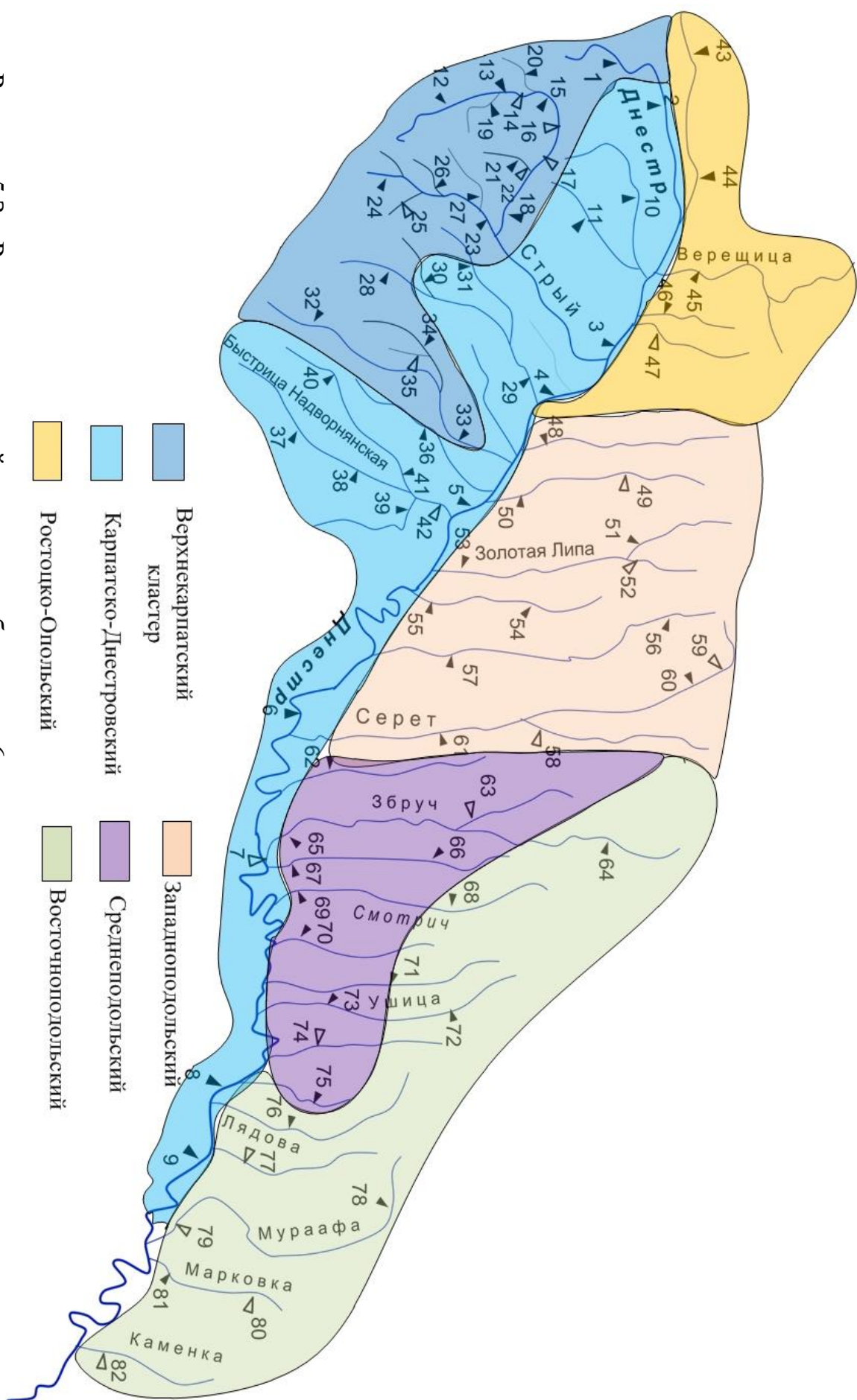


Рисунок 5.3 – Распределение районов при разбиении на 6 кластеров

Таблица 5.1 – Евклидовы расстояния между кластерами. Расстояния под диагональю. Квадраты расстояний над диагональю

	1	2	3	4	5	6
1	0	0,5018	0,6163	0,3988	0,8414	0,5247
2	0,7084	0	0,2032	0,5745	0,4782	0,8023
3	0,7851	0,4508	0	0,7554	0,8553	0,7106
4	0,6315	0,758	0,8691	0	0,7221	0,4193
5	0,9173	0,6915	0,9248	0,8498	0	1,4276
6	0,7243	0,8957	0,843	0,6475	1,1948	0

Обозначения кластеров в таблице: 1 - Восточноподольский; 2 – Карпатско-Днестровский; 3 – Верхнекарпатский; 4 – Среднеподольский; 5 – Ростоцко-Опольский; 6 – Западноподольский.

Как видно из рис. 5.3, в большинство кластеров входят малые и средние реки (по площади водосбора – S) и лишь Восточноподольский практически полностью состоит из малых водосборов. Самые существенные различия в колебаниях стока рек наблюдаются между Ростоцко-Опольским и Западноподольским кластерами. Хронологические ряды этих колебаний показаны на рис. 5.4.

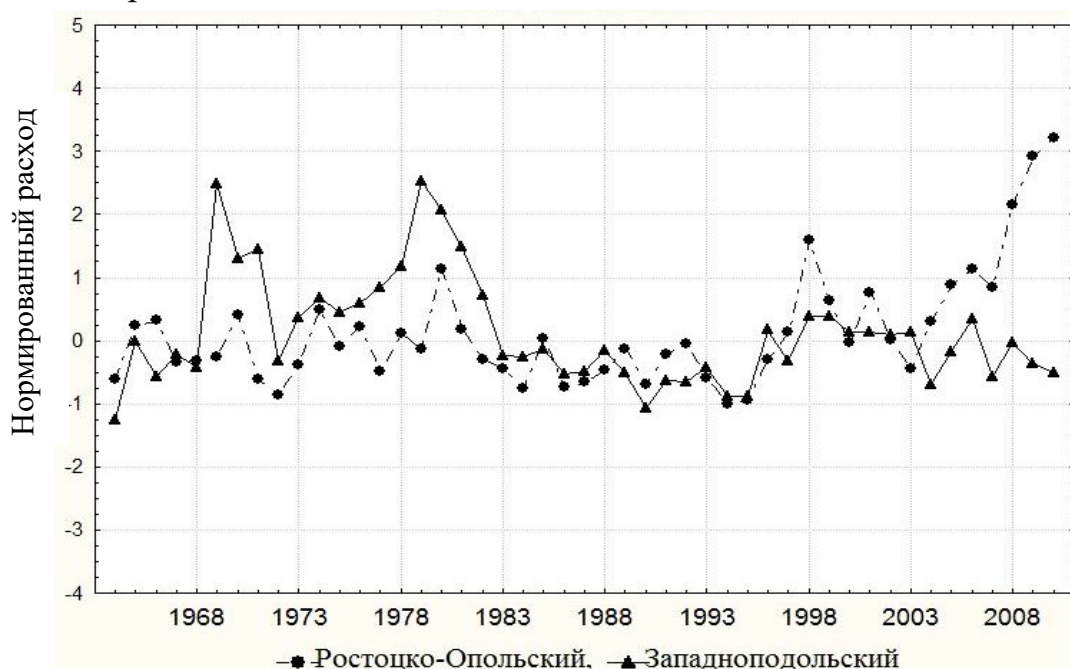


Рисунок 5.4 – Хронологический ход осредненных по кластеру нормированных значений годового стока.

Как видно из графика, представленного на рис. 5.4, отличительной особенностью Ростоцко-Опольского района является растущие значения среднегодовых расходов с 2003 по 2010 гг. Это является следствием растущего

количества осадков в этом районе по сравнению с соседними, о чем упоминалось в разделе 3.1.

Представленное на рис. 5.3 районирование отражает суммарное воздействие пространственного распределения годовых сумм осадков (Рис. 1.3) [3] и антропогенных воздействий, оцененных через комплексный показатель антропогенной нагрузки [189].

Таблица 5.2 – Значение коэффициентов вариации и асимметрии в выделенных кластерах

№	Название кластера		Cv	Cs	Cv/Cs
1	Востоchnоподольский	макс	0,74	3,98	0,56
		мин	0,261	0,53	0,186
		сред	0,342	1,08	0,388
2	Карпатско-Днестровский	макс	0,404	1,04	4,564
		мин	0,284	-0,126	-3,506
		сред	0,324	0,412	0,723
3	Верхнекарпатский	макс	0,34	0,595	5,909
		мин	0,195	-0,32	-1,858
		сред	0,26	0,260	0,820
4	Среднеподольский	макс	0,423	0,742	1,191
		мин	0,227	0,355	0,545
		сред	0,375	0,447	0,883
5	Ростоцко-Опольский	макс	0,507	2,04	0,442
		мин	0,396	0,934	0,248
		сред	0,450	1,533	0,312
6	Западноподольский	макс	0,563	1,96	0,968
		мин	0,239	0,316	0,244
		сред	0,381	0,993	0,539

Наибольший разброс значений коэффициента вариации и асимметрии характерен для Восточноподольского кластера. Для Ростоцко-Опольского кластера характерно малые изменения коэффициента вариации годового стока, но высокие значения коэффициента асимметрии.

С целью проверки распределения бассейнов рек по кластерам проведем разбиение исследуемой территории с помощью другого метода многомерного статистического анализа – факторного. Одной из двух главных целей факторного анализа является: определение структуры взаимосвязей между переменными, т.е. классификация переменных. Сущностью факторного анализа является процедура вращения факторов, то есть перераспределения дисперсии по определённому методу. Наибольшее распространение получил метод ортогональных вращений — "varimax". Метод "varimax" максимизирует

разброс квадратов нагрузок для каждого фактора, что приводит к увеличению больших и уменьшению малых значений факторных нагрузок. Более детально теория факторного анализа изложена в работе [190], а его применение к гидрологическим расчетам [191].

Применение факторного анализа дает пространственное распределение очень похожее на полученное при кластерном анализе. Отличия составляют лишь бассейны рек с небольшим (менее 0,6) значением факторной нагрузки. Как правило это бассейны, расположенные на границе кластеров и в зависимости от метода обработки данных они могут переходить от одного кластера к другому. Так применение метода "varimax" к исходной матрице данных относит р.Головчанка-с.Тухля, р.Орава-х.Святослав к верхнекарпатскому кластеру. Применение этого же метода к нормализованной матрице данных относит эти бассейны к Карпатско-Днестровскому кластеру.

Выделение небольших кластеров с неустойчивыми границами свидетельствует о подверженности их антропогенному воздействию.

Появление значимых изменений в характере стока рек исследовалось с помощью суммарных интегральных кривых годового стока (рис. 5.6-5.8). На некоторых изменение условий формирования стока отражается в виде изменения их наклона к оси абсцисс. Для р.Стрый – пгт. Верхнее Синевидное годом перелома является 2002 год (рис. 5.6), для р.Ушица – с. Тымков 1968 и 1992 гг. (рис. 5.7), для водосбора р. Ушица – с. Зиньков 1968, 1982, 1997 (рис. 5.8). Изменение угла наклона в 1982 г. связано со сменой фаз водности, но в остальные обусловлены антропогенным воздействием.

Так Верхнекарпатский кластер входят водосборы рек (Стрый, Опор рис. 5.5) с которых осуществляется значительный водозабор воды [113], начатый причем относительно недавно с 2002 г. рис. 5.6. Этим и объясняется резкое снижение на разностной интегральной кривой (рис. 4.7). Установлено, что после 2002 г. нарушена статистическая однородность рядов, оцененная через параметрические критерии Фишера и Стьюдента [115].

Водосборы Среднеподольского кластера сильно зарегулированы [51]. Так в нижней части бассейна р. Ушица находится около 100 ставков, которые практически полностью сгладили переход в 1982 г. в маловодную фазу стока (рис. 5.7). Верхняя часть бассейна р. Ушица менее зарегулирована и этот переход на ней выделяется (рис. 5.8). Поэтому верхняя и нижняя часть водосбора этой реки отнесены к разным кластерам.

Схожесть этих распределений свидетельствует о достоверности полученных результатов.

Особенность предлагаемого в районирования состоит в том, что разделение территории на районы базируется на анализе колебаний годового стока не только крупных, а практически всех рек верхнего Днестра, на которых имеются наблюдения, что дает более детализированную картину.

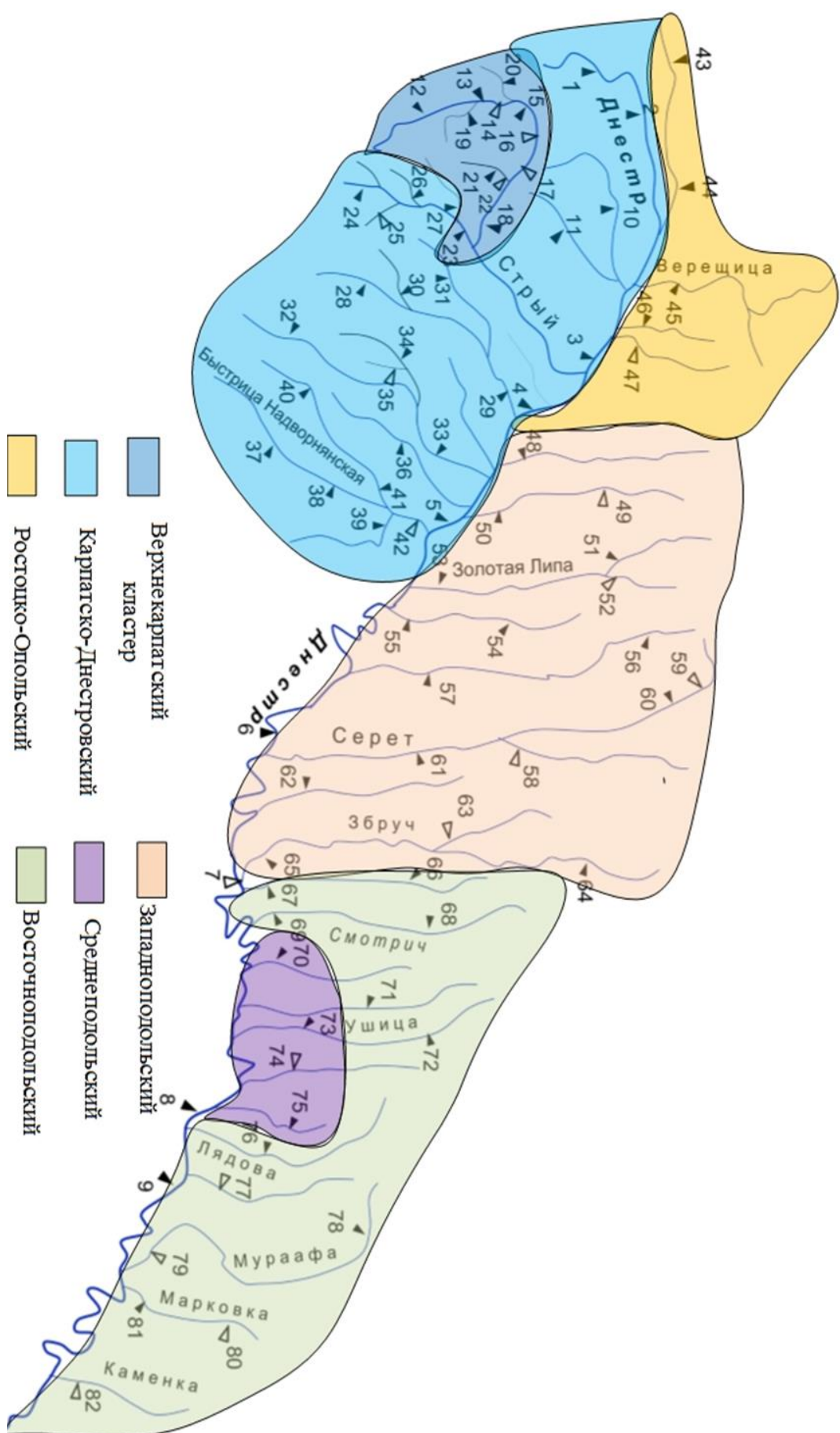


Рисунок 5.5 – Распределение районов при разбиении на 6 кластеров с помощью факторного анализа

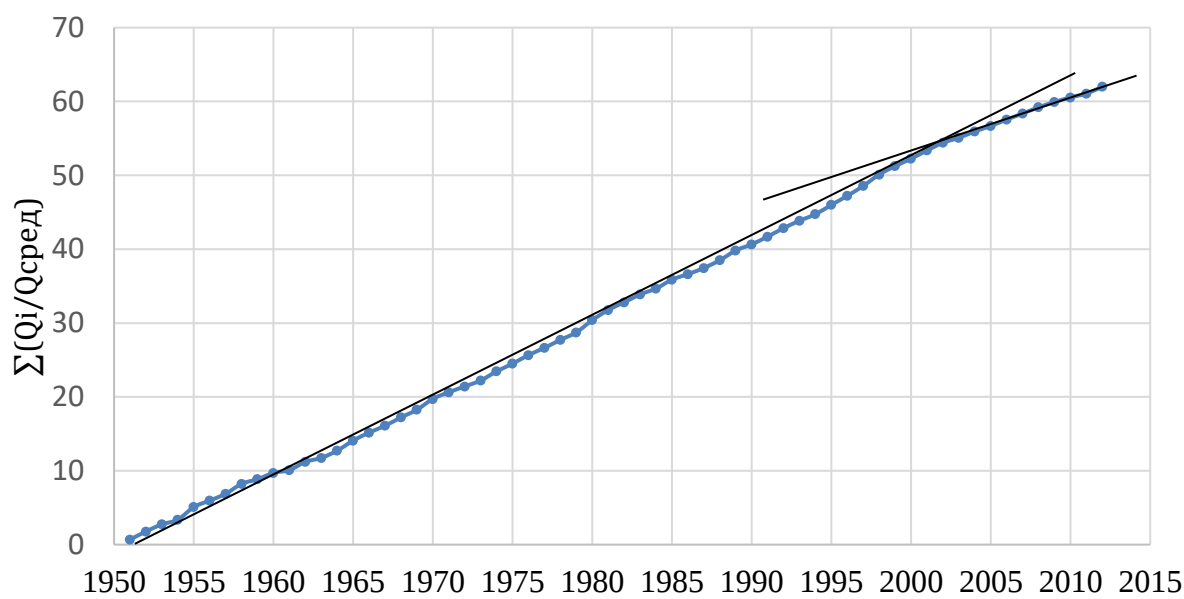


Рисунок 5.6 – Суммарная интегральная кривая стока р. Стрый-пгт Верхнее Синевидное.

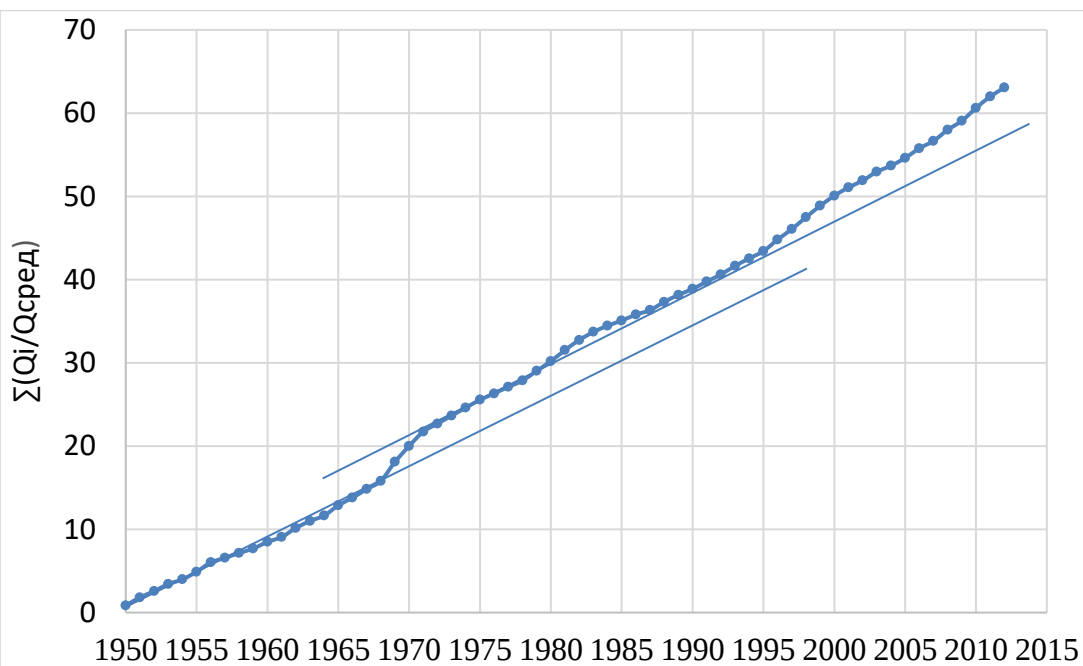
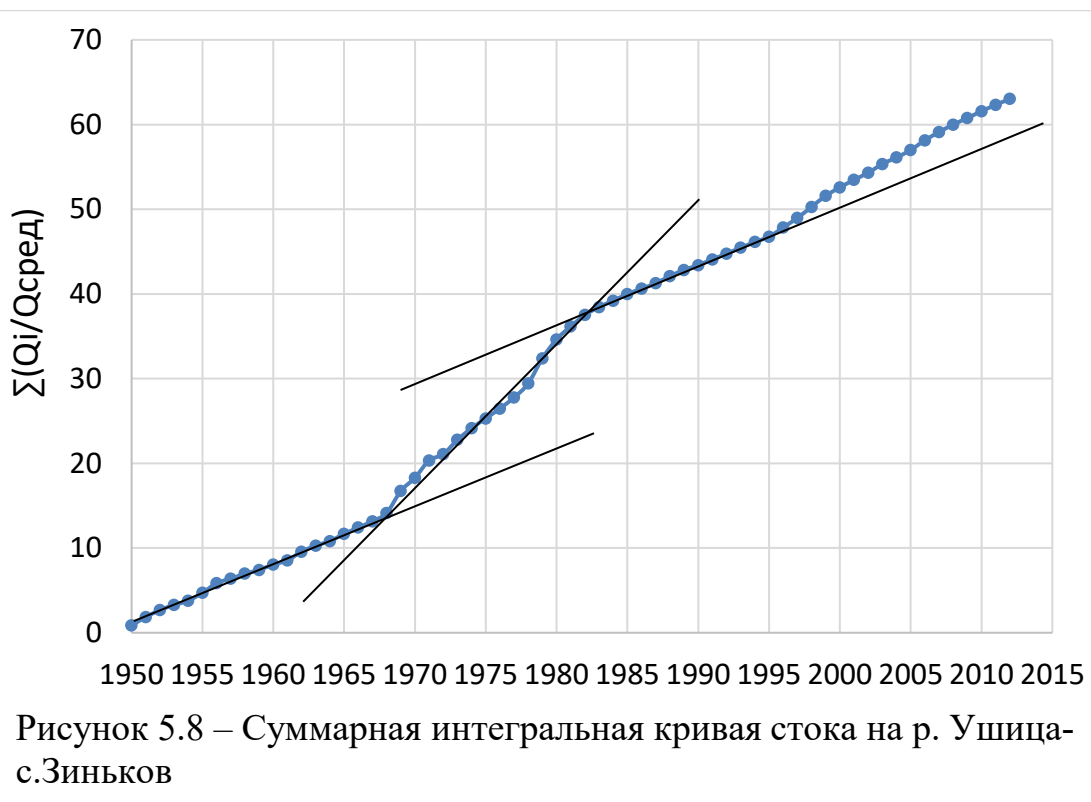


Рисунок 5.7 – Суммарная интегральная кривая стока на р. Ушица-с.Тымков



5.2 Изменения в характере колебаний стока рек верхнего Днестра в современных климатических условиях

Большинство факторов, определяющих характер колебаний стока рек на конкретных участках, претерпевают изменения во времени. К ним относятся изменения климатических факторов (температура, количество осадков и т.д.), природных факторов (подстилающая поверхность, карст в пределах бассейна), антропогенных факторов (зарегулированность стока, изменения лесистости бассейнов рек). По данным В.С. Олейника и И.П. Ковальчука [184, 192] площадь земель Карпат, покрытых лесом, за последние годы уменьшилась с 94 до 58 %, что в свою очередь в 2-10 раз ослабляет водопроникающую способность почв, в 3-4 раза усиливает процессы образования поверхностного стока и влияет на стокорегулирующие функции бассейна. По мнению Я. В. Коваля [193] регион Карпат срочно нуждается в увеличении лесистости территории, по меньшей мере, на 10-12 %. Прежде всего в регионе Карпат возникает насущная необходимость поднятия верхней границы леса хотя бы на 150-200 м, настолько же – снижения нижней границы. Только на основании реализации указанных мер, водорегулирующая функция лесов может восстановиться.

Учитывая большую пространственную и временную неравномерность распределения осадков, запасов подземных вод, карстовых пород, временную изменчивость естественных и антропогенных факторов, необходимо

произвести детальное гидрологическое районирование и оценить эти изменения во времени.

Задача данного раздела – выявление временной изменчивости при гидрологическом районировании, основанном на формализации показателей изменчивости стока и группирования временных рядов наблюдений среднегодовых расходов воды с помощью кластерного анализа.

Рассмотренные разностные интегральные кривые (рис. 3.6 и 4.28) показывают, что почти на всех рассматриваемых реках можно выделить два периода. Первый – 1950-1982 гг. и второй – 1983-2010 гг., который заканчивается положительной фазой с 1996 по 2010 гг. На некоторых реках наблюдения начинаются после 1950 г. (см. табл. 1.4) поэтому для охвата наибольшего количества постов, имеющих синхронные наблюдения, начало периода сравнения решено было перенести на 1963 г. С учетом этого предлагается рассмотреть колебания стока рек верхнего и среднего Днестра 1963-1982 гг., 1983-2010 гг. и отдельно последний отрезок 1996-2010 гг.

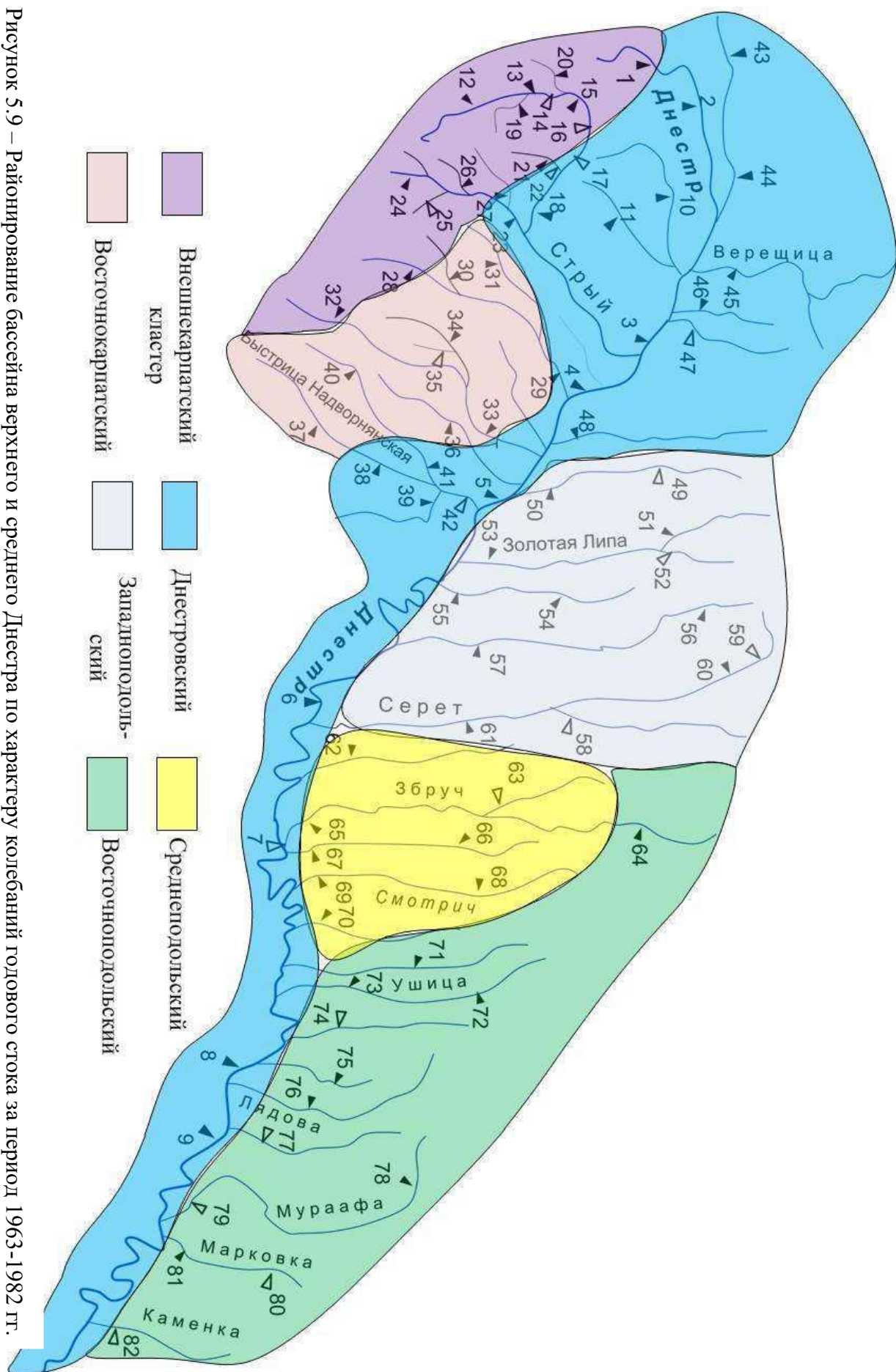
Применение метода k – средних к матрице нормализованных среднегодовых расходов за период 1963-1982 гг. позволяет получить разбиение на 6 кластеров, представленное на рис. 5.9.

Для обозначения кластеров воспользуемся принципами, изложенными в предыдущем подразделе. Особенностью данного районирования является отсутствие Ростоцко-Опольского кластера, но выделяется в юго-восточной части карпатских притоков Днестра новый кластер, который назван «восточнокарпатским». Различные изменения в расчетах (количество постов, длина ряда наблюдений, способ расчета расстояний и т.д.) оказывают влияние на результаты районирования, но общий характер распределения сохраняется.

Самые существенные различия в колебаниях стока рек проявляются между районами «Внешнекарпатский» и «Среднеподольский» (рис. 5.10).

Коэффициенты корреляции между расходами воды на реках этих кластеров изменяются в пределах 0,25-0,30, а между реками других кластеров от 0,3 до 0,4. Следует отметить, что корреляция между характеристиками годового стока внутри кластеров достигает 0,7-0,9.

Рисунок 5.9 – Районирование бассейна верхнего и среднего Днестра по характеру колебаний годового стока за период 1963-1982 гг.



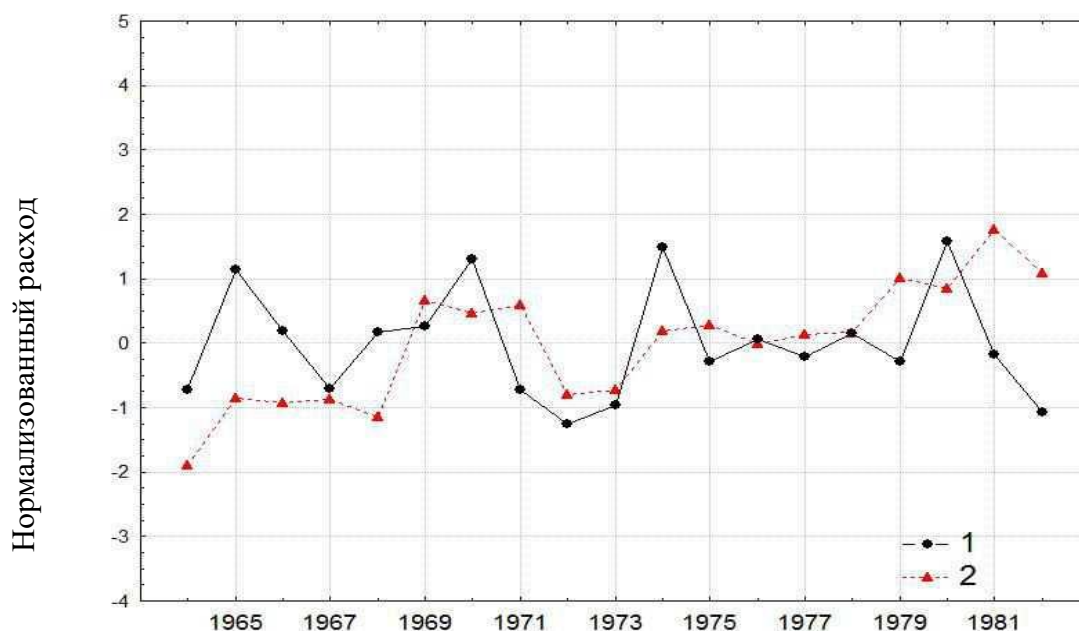


Рисунок 5.10 – Хронологический ход нормированных значений годового стока для кластеров: 1 – внешнекарпатского; 2 – среднеподольского.

Сток р. Днестр на этом участке формируется, в основном, за счет стока правобережных притоков, поэтому вполне логично, что посты, расположенные в нижнем течении этих рек (р.Быстрица, р.Стрый и т.д.) относятся к Днестровскому кластеру.

Кластерный анализ колебаний годового стока за период 1983-2010 гг. позволил выполнить районирование, представленное на рис. 5.11.

При сравнении рис. 5.9 и 5.11 обращает на себя ряд особенностей. Первая состоит в значительном уменьшении размеров Внешнекарпатского и увеличении Восточнокарпатского кластеров. Вторая заключается в том, что Восточноподольский и Западноподольский остаются на протяжении рассматриваемых десятилетий очень стабильными; третья в том, что бывший Среднеподольский кластер распадается на две части, которые назовем «северо-западная» и «центральная» части Подольского кластера.

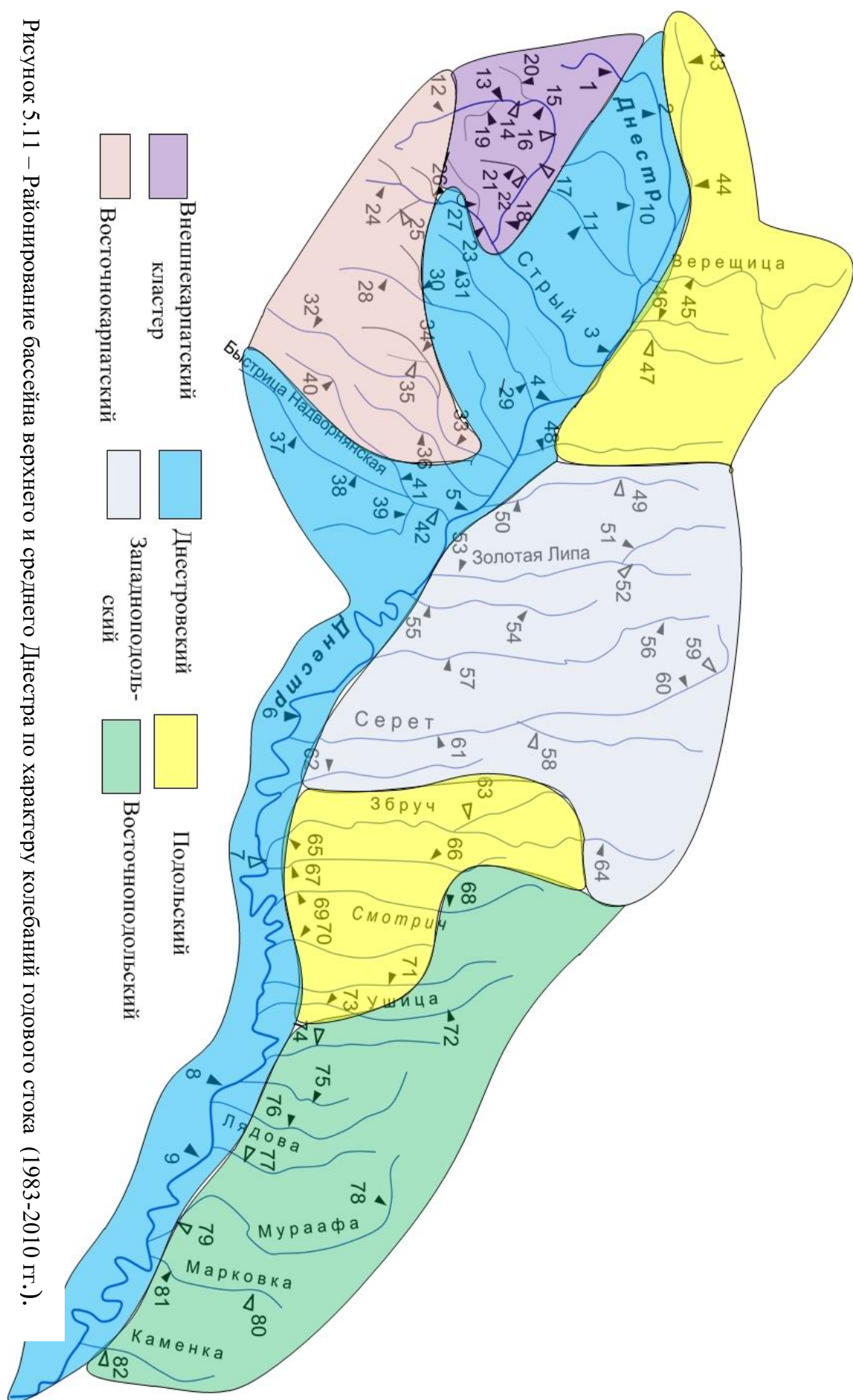


Рисунок 5.11 – Районирование бассейна верхнего и среднего Днестра по характеру колебаний годового стока (1983-2010 гг.).

Отличительной чертой Подольского кластера является рост стока за 2003-2010 гг., что и выделило его в отдельный кластер в период 1983-2010 гг. Увеличение стока в «северо-западной» части Подольского кластера объясняется ростом количества осадков в северо-западной Подолии (Львовская область).

В «центральной» части Подольского кластера – междуречье Збруча, Жванчика, Смотрича, Ушицы с 1995 г. происходит аналогичное увеличение количества осадков (рис. 5.12). Хотя такого роста не наблюдается в расположенной между ними Тернопольской области (рис. 3.5). Именно поэтому колебания стока рек Верещица и Жванчик («северо-западной» и «центральной» части Подольского кластера) в период 1983-2010 гг. оказались более схожи, чем колебания стока рек в соседних с ними кластерах.

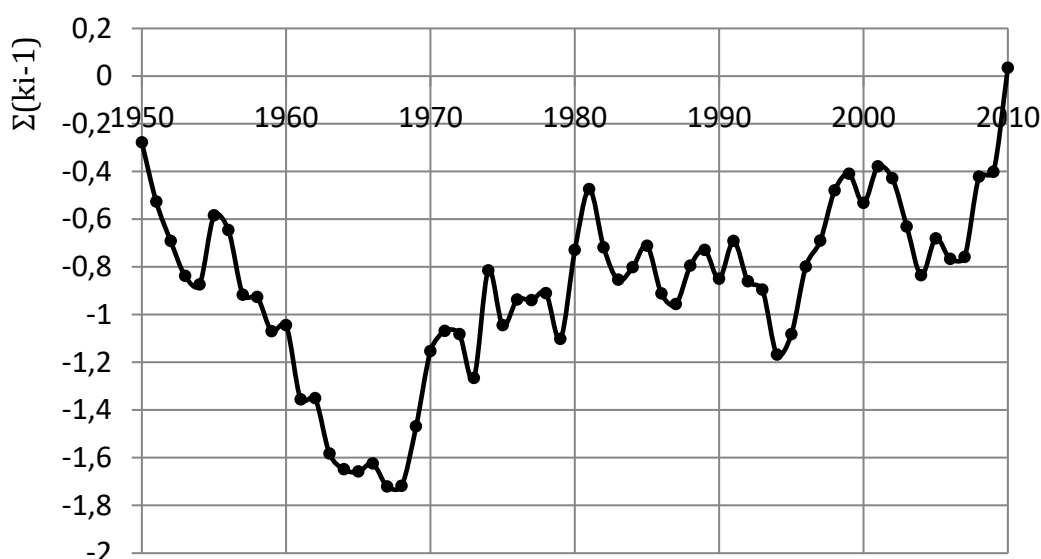


Рисунок 5.12 – Разностная интегральная кривая годовых осадков по метеостанции Каменец-Подольский.

В качестве примера приведены разностные интегральные кривые рек Верещица («северо-западная» часть Подольского кластера), Жванчик («центральная» часть подольского кластера), Золотая Липа (расположенный между ними западноподольский кластер) и Марковка (восточноподольский кластер) рис. 5.13.

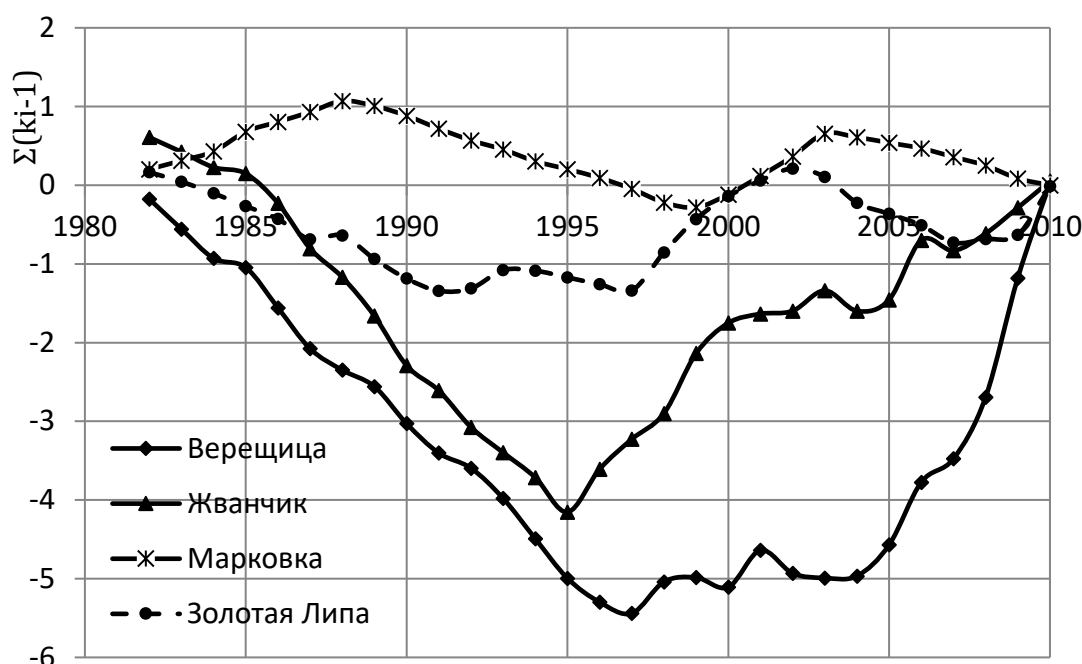


Рисунок 5.13 – Разностные интегральные кривые годового стока рек Верещица - г. Комарно, Жванчик - с. Ластовцы, Марковка - сл. Подлесовская, Золотая Липа - с. Задоров.

Колебания стока ряда рек в некоторые годы совпадают, а в некоторые существенно разнятся. Из-за этого они могут в определенный период принадлежать одному кластеру, а в другой – разным. Примером может служить изображенные на рис. 5.14 разностные интегральные кривые. На рисунке видно, что колебания стока р. Стрый - с. Завадовка и р. Славска - с. Славское до 1980 г практически совпадают, а начиная с 1981 г. существенно отличаются. Поэтому в период 1963-1982 гг. они относятся к одному кластеру (Верхнекарпатскому), а в период 1983-2010 гг. – к разным (Верхнекарпатскому и Восточнокарпатскому).

Перераспределение состава кластеров вызвано изменениями стока, колебания которого в свою очередь зависили от изменения климата. Эти особенности рассмотрены в разделах 3.1 и 4.1.

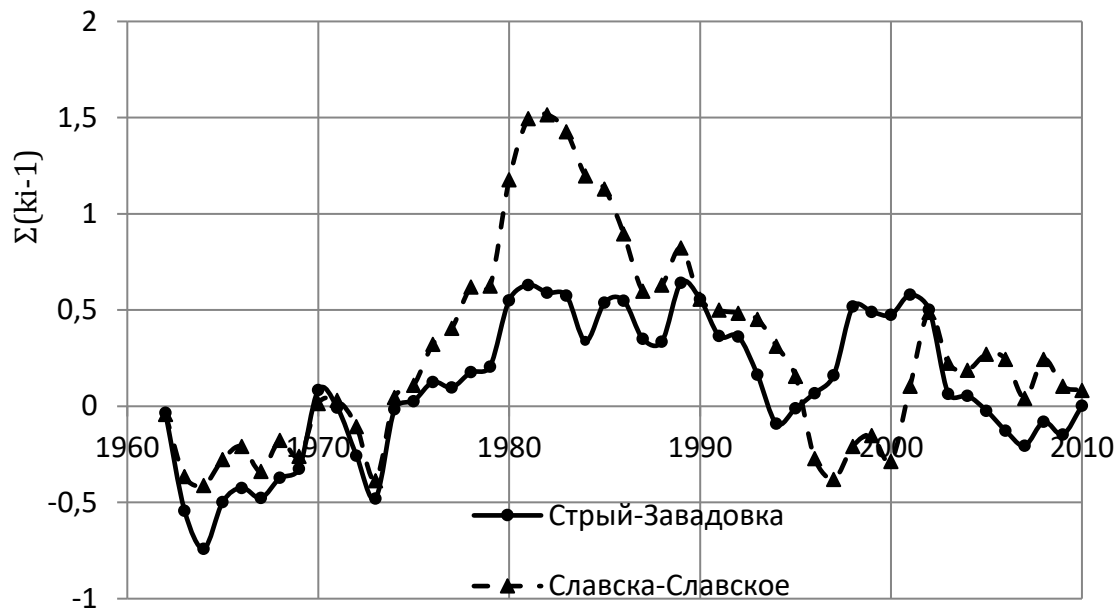


Рисунок 5.14 – Разностные интегральные кривые стока рек Стрый - с. Завадовка и р. Славска - с. Славское.

Поскольку характер потепления и его воздействие на сток рек в разных высотных и географических зонах различно, то и ход колебаний годового стока также может изменяться. В виду изначально значимой доли подземного стока в пределах Подолии (в среднем около 70 %), на ее территории не происходит существенного перераспределения границ кластеров. В пределах Карпат, где роль подземной составляющей значительно меньше (в среднем около 30 %), и “восприимчивость” стока к изменению условий его формирования в период потепления выше, перераспределение состава кластеров более выражена.

Для проверки устойчивости распределения кластеров при изменении длины ряда увеличим первый период на 10 лет т.е. теперь он будет иметь продолжительность с 1953 по 1982 гг. При этом количество постов, на которых осуществлялись синхронные измерения (в этот период), будет уменьшено с 52 до 35. В этом случае получить достоверную разбивку территории на 6 кластеров невозможно. Поэтому воспользуемся разбивкой всего на 3 кластера. Кластерный анализ колебаний годового стока за период 1953-1982 гг. позволил провести выделение районов, представленное на рис. 5.15.

При сравнении рисунков 5.9 и 5.15 видно, что в неизменном виде сохранились границы Западноподольского кластера. Внешнекарпатский,

Восточнокарпатский и Днестровский (по рис. 5.9) на рис. 5.15 объединены в

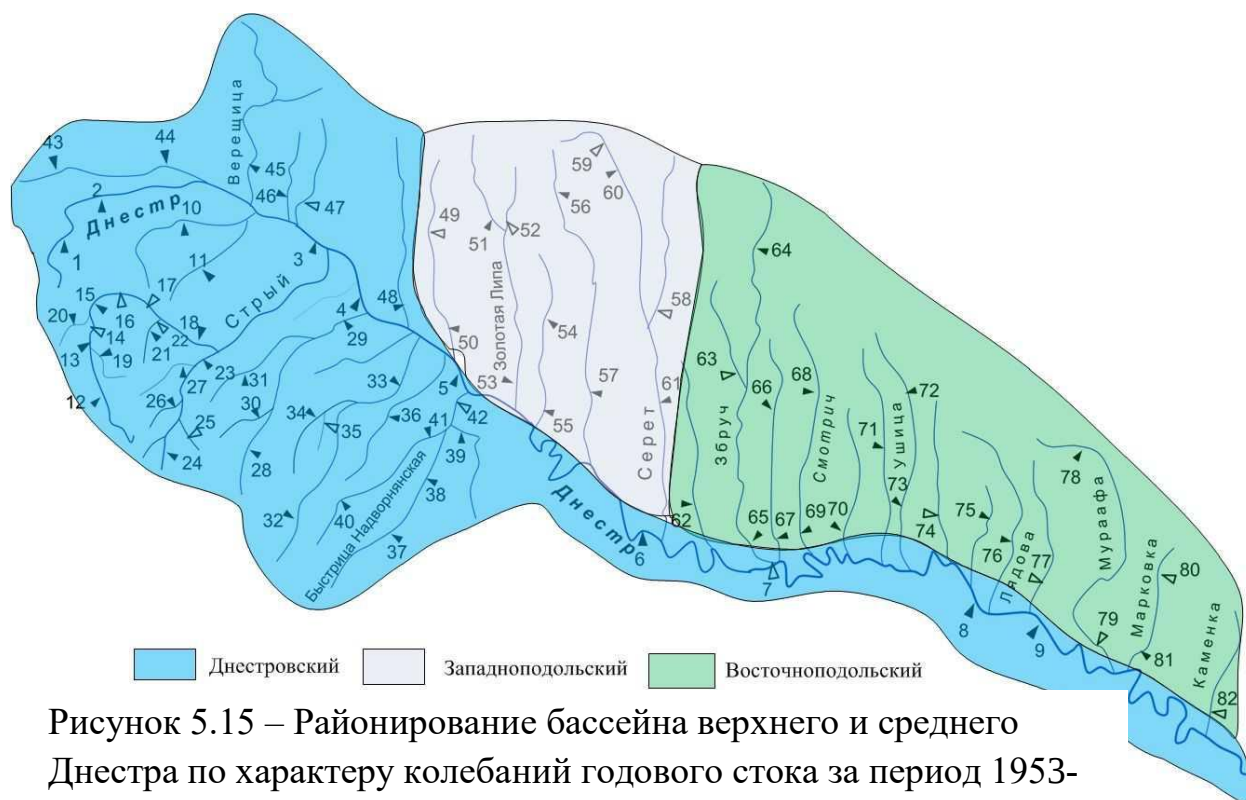


Рисунок 5.15 – Районирование бассейна верхнего и среднего Днестра по характеру колебаний годового стока за период 1953-

Днестровский кластер.

При выделении 3 кластеров за период 1983-2010 гг. (рис. 5.16) Подольский кластер также, как и в случае деления на 6 кластеров (рис. 5.11) разделяется на 2 фрагмента. Это свидетельствует об устойчивости факторов, вызвавших этот процесс.

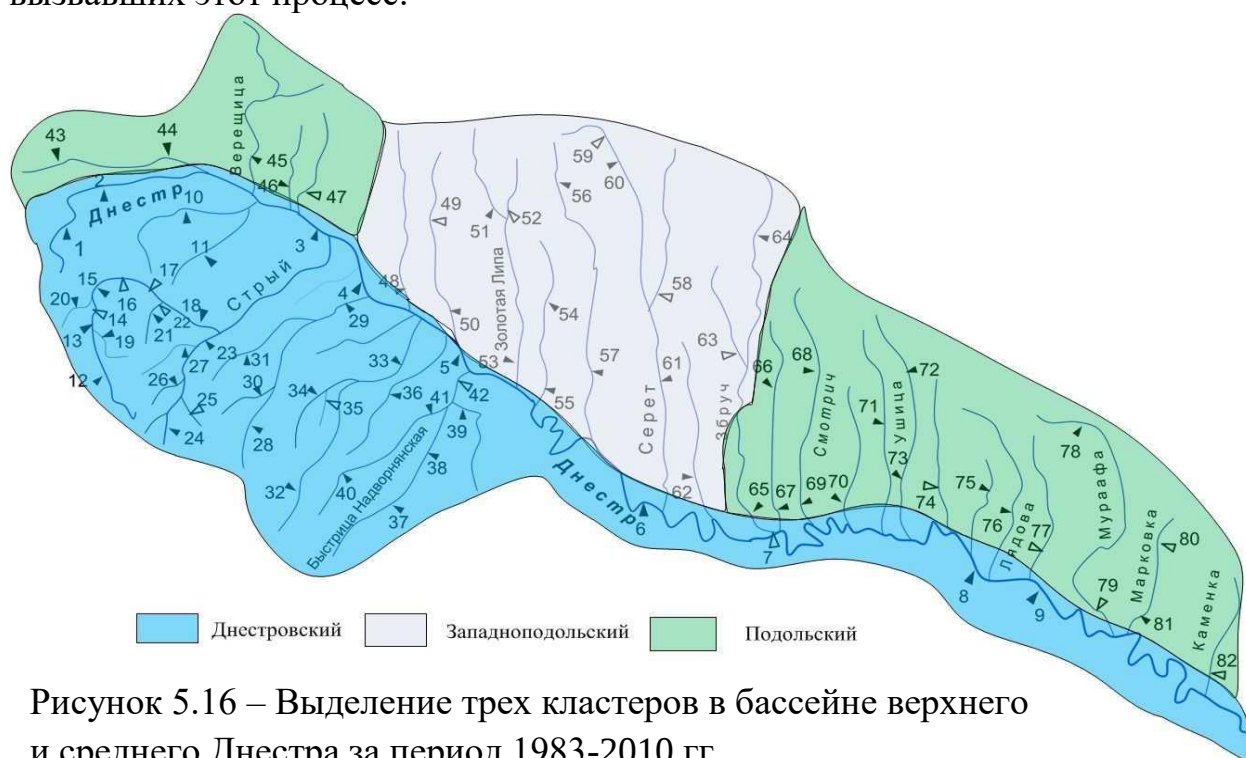


Рисунок 5.16 – Выделение трех кластеров в бассейне верхнего и среднего Днестра за период 1983-2010 гг.

5.3 Пространственно-временная динамика мутности в бассейне верхнего Днестра

Как упоминалось в разделе 2.2 карты мутности рек Украины составлялись С.А. Антоновой [60] по данным до 1980 г., А.В. Яцыком – по данным до 2000 г. [67]. Вместе с тем постоянно меняющаяся антропогенная нагрузка на бассейны рек региона, изменения климата, подстилающей поверхности, включая лесистость и целого ряда других факторов существенно влияют на характеристики.

Регулярные наблюдения за твердым стоком проводятся с 1950 г. Тогда на рассматриваемой территории функционировало 7 постов. С 1960 г. – 14 постов, с 1968 г. – 37, а с 1972 г. – 42. По состоянию на 2010 г. на действующими являются только 25 постов.

Имеющийся период наблюдений, продолжительностью 43 года, был поделен в соответствии с фазами водности рек. Поскольку в бассейне Днестра имеются горные реки (Стрый, Свича, Ломница, Быстрица), фазы водности которых могут отличаться от равнинных рек (Гнилая Липа, Золотая Липа, Серет, Збруч) для выделения фаз и циклов водности была использована разностная интегральная кривая годового стока в створах р. Днестр – г. Самбор и р.Днестр – г. Залещики (рис. 4.28).

Первый расчетный период 1966-1981 гг. соответствует положительной фазе водности, (средний за этот период расход в створе р.Днестр-г.Залещики составил 254 м³/с), второй (1982-1995 гг.) – отрицательной фазе водности (195 м³/с), а третий (1996-2010 гг.) вновь образует многоводную фазу (260 м³/с).

Таблица 5.3 – Средняя многолетняя мутность воды в створах главной реки и притоков за разные периоды и их изменение (номера в таблице соответствуют номерам в табл. 1.4)

№	Река - пост	I -1966 -1981 гг, г/м ³	II- 1982 - - 1995 гг, г/м ³	Измене- ние II-I, %	III 1996- - 2010 гг, г/м ³	Измене- ние III-I, %	Измене- ние III-II, %
1	Днестр - с.Стрелки	318	193	-39	100	-68	-48
2	Днестр - г.Самбор	560	211	-62	309	-44	46
3	Днестр - пгт.Роздол	282	187	-33	108	-61	-42
4	Днестр - с.Журавно	340	160	-52	141	-58	-11
5	Днестр - г.Галич	257	170	-33	184	-28	8,2
6	Днестр - г.Залещики	500	280	-44	280	-44	0
7	Днестр - с.Жванец	510					
9	Днестр - г. Могилев- Подольский	440	19	-95	9	-98	-47
	Среднее	400	174	-51	161	-57	-13
Горные притоки Днестра							
10	Быстрица - с.Озимица	327	170	-48	590	80	247

12	Стрый с.Матков	74					
13	Стрый - с.Завадовка	355	215	-39	138	-61	-36
16	Стрый - с.Новый Крапивник	257					
17	Стрый - с.Сопот		430				
18	Стрый - пгт. Верхнее Синевидное	360	243	-32	217	-40	-11
20	Яблонька - г.Турка	172					
22	Рыбник - с.Рыбник	705					
23	Опор - г.Сколе	152	166	9	270	78	63
24	Славска-пгт. Славское	80					
25	Рожанка -с.Ружанка	70					
26	Головчанка - с.Тухля	200	148	-26	28	-86	-81
27	Орава - х.Святослав	115	110	-4	123	7	12
29	Свича - С.Заречное	293	118	-60	63	-78	-47
30	Лужанка - с.Гошев	233	205	-12	174	-25	-15
31	Сукель - с.Тисов	132	280	112	188	42	-32
33	Ломница - с.Перевозец	132	70	-47	99	-25	41
37	Быстрица-Надворнянская - с.Пасечная	257	78	-70	36	-86	-54
42	Быстрица - с.Ямница	415	270	-35			
	Среднее	236	168	-18	133	-16	6
Подольские притоки Днестра							
46	Щерек - Пгт. Щирец	77	39	-50			
50	Гнилая Липа - пгт. Большовцы	68	31	-54	38	-44	23
51	Золотая Липа - г.Бережаны	53	63	19	23	-57	-64
55	Коропец - С. Коропец	550	366	-33	155	-72	-58
60	Серет - Пгт. Великая Березовица	290	52	-82			-
61	Серет - г. Чертков	150	84	-44	61	-60	-28
64	Збруч - г. Волочиск	166	73	-56			
65	Збруч - с.Завалье	340	87	-74	26	-92	-70
67	Жванчик - с.Ластовцы	286	78	-73	80	-72	2,5
68	Смотрич - с.Купин	242	54	-78	24	-90	-55
70	Мукша - с. Малая Слободка	480	100	-80			
76	Лядова - с. Жеребиловка	400	120	-70	65	-84	-46
82	Каменка - с. Каменка	1300					
	Среднее	338	95	-56	59	-71	-37

Для составления пространственной динамики производилось районирование бассейнов рек по показателю средней мутности в каждом из

трех выделенных периодов. Хотя изменчивость мутности по бассейну Днестра очень высокая, для выделения районов различимых на пространственной схеме выделялось 5 диапазонов: с мутностью до 100 г/м^3 ; от 100 до 200 г/м^3 ; от 200 до 300 г/м^3 ; от 300 до 400 г/м^3 и выше 400 г/м^3 .

Пространственное распределение средней мутности за первый период представлено на рис. 5.17. На схеме выделяются два основных района с высокой мутностью рек. Первый – верховья Днестра, среднее течение р. Стрый и нижнее р. Быстрица. На этом участке высокая мутность (выше 400 г/м^3) обусловлена переходом горных рек с высокими скоростями потока в предгорные участки, где они сохраняют высокую размывающую способность, особенно во время паводков и половодий.

Второй район включает бассейн р. Мукши и распространяется вниз по течению Днестра до р. Каменка. Высокая мутность этого участка обусловлена рядом причин. Главная состоит в том, что подстилающая поверхность этой части бассейна включает легко размываемые грунты. Преимущественно это оподзоленные грунты на лёсовых породах. Среди других причин - более высокая (по сравнению с Западной Подолией) степень земледельческого освоения, что способствует интенсификации эрозионных процессов.

Третий участок высокой мутности – бассейн р. Коропец. Здесь высокая мутность объясняется формой русла. Повышенная ширина русла (18,5 м), пониженная глубина (0,4 м) и скорости потока около 1 м/с. Такая форма русла способствует повышенной боковой эрозии, что и выделяет эту реку на фоне соседних.

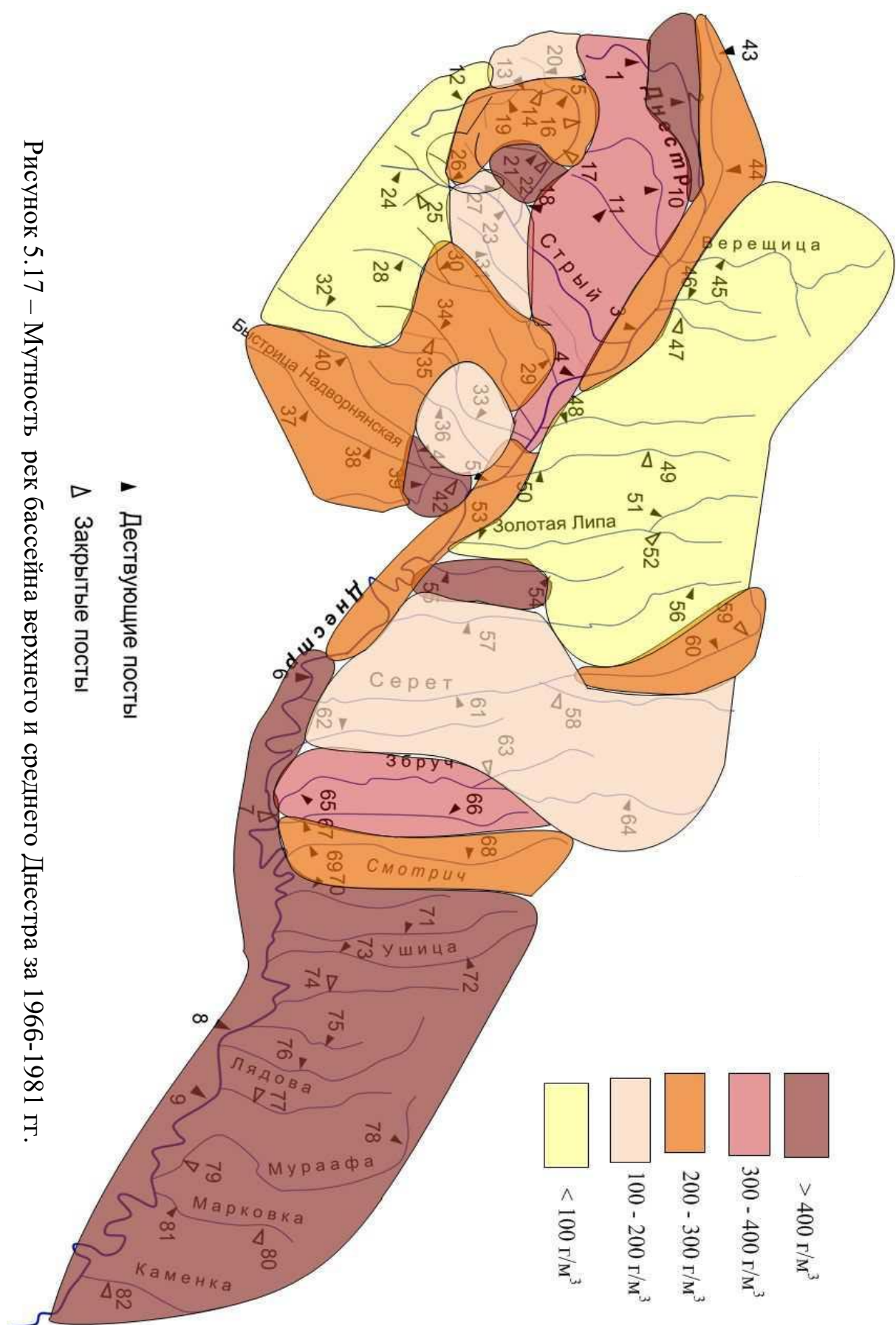


Рисунок 5.17 – Мутность рек бассейна верхнего и среднего Днестра за 1966-1981 гг.

Поскольку для второго периода характерна пониженная водность, то мутности рек на всей рассматриваемой территории уменьшаются (рис. 5.18). На р. Коропец мутность остается самой высокой и достигает 366 г/м^3 . Днестровское водохранилище, начавшееся заполняться с 1982 г., существенно снижает мутность в р. Днестр ниже по течению. Так, среднегодовая мутность на посту г. Могилев-Подольский до строительства водохранилища составляла – 330 г/м^3 , после окончания строительства – 14 г/м^3 .

Третий период, несмотря на рост водности, характеризуется дальнейшим уменьшением мутности почти на всех реках верхнего Днестра (рис. 5.19). Так на р. Днестр – г. Залещики, по сравнению с первым периодом, мутность уменьшилась почти в двое, а водность увеличилась на 3-4 %.

Характерной особенностью распределения мутности является ее внутригодовая изменчивость. На горных реках наибольших значений, как в первый, так и во второй периоды, она достигает во время летних паводков (рис. 5.20). Именно на этот период приходится наибольшее количество осадков (рис. 4.8). Распределение осадков практически не изменилось, а в период половодья (февраль-март) их количество даже увеличилось. На Подольских реках и на самом Днестре мутность достигает максимума, как в период весеннего половодья, так и период дождевых паводков (рис. 5.21).

Если рассматривать первый и третий исследуемые периоды, когда водность рек была приблизительно одинаковая, то из рисунка видно, что уменьшились не только абсолютные значения, но само распределение мутности. В первый период мутность во время половодий и летних паводков была практически одинаковой. Во второй период мутность во время весенних половодий существенно меньше, чем в период летних паводков. Это как уже объяснялось ранее, является следствием изменения климата.

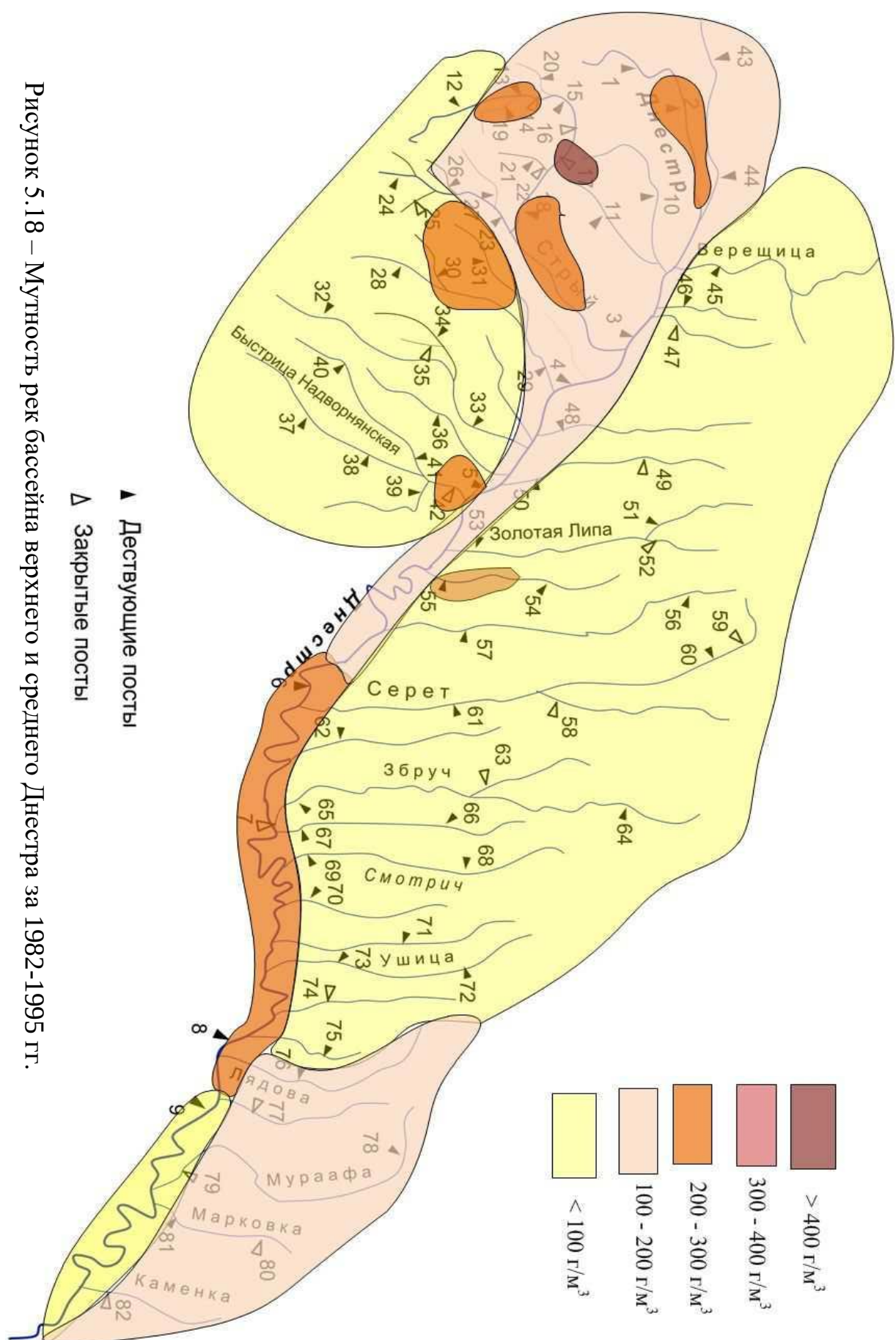


Рисунок 5.18 – Мутность рек бассейна верхнего и среднего Днестра за 1982-1995 гг.

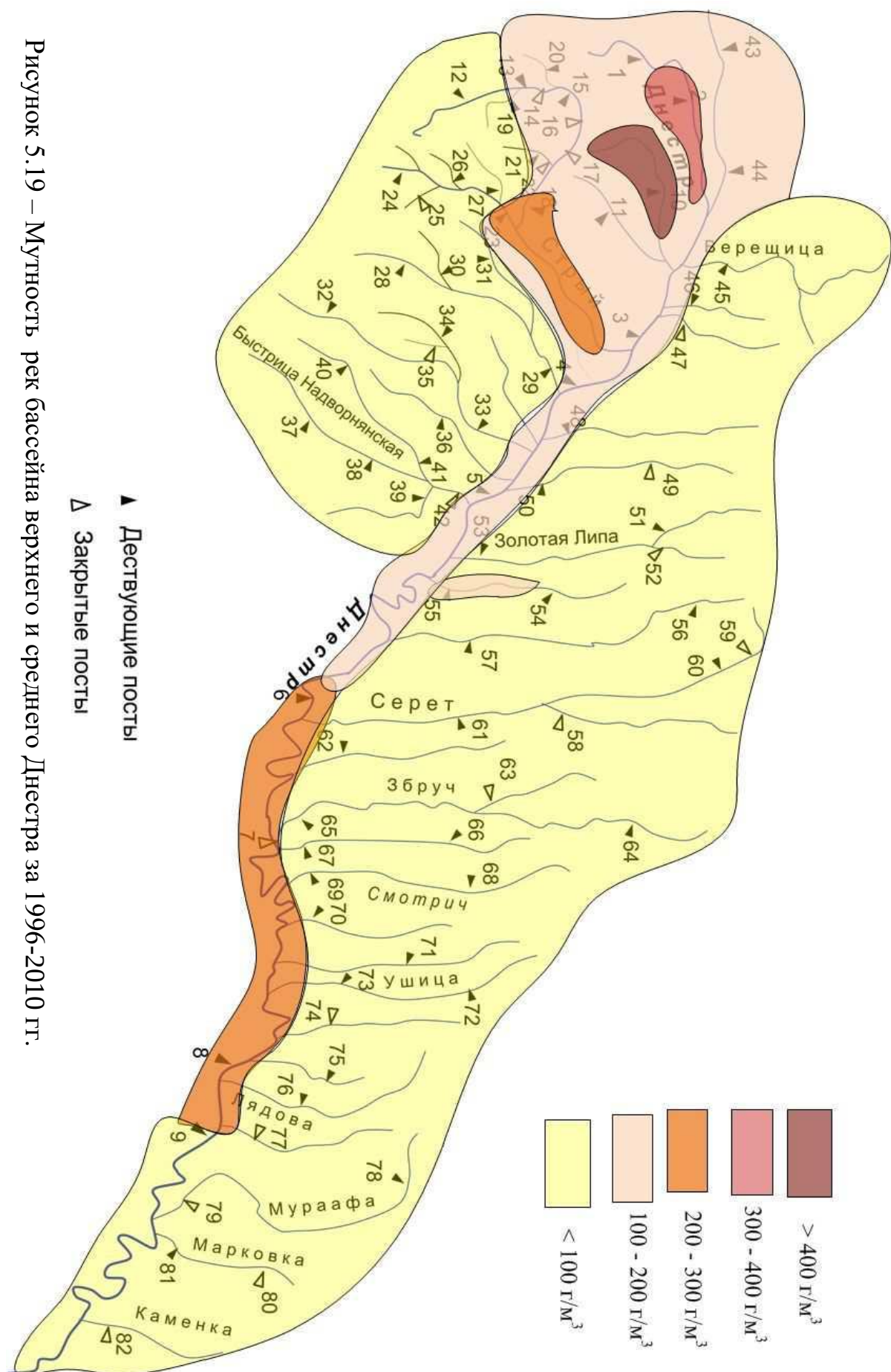


Рисунок 5.19 – Мутность рек бассейна верхнего и среднего Днестра за 1996-2010 гг.

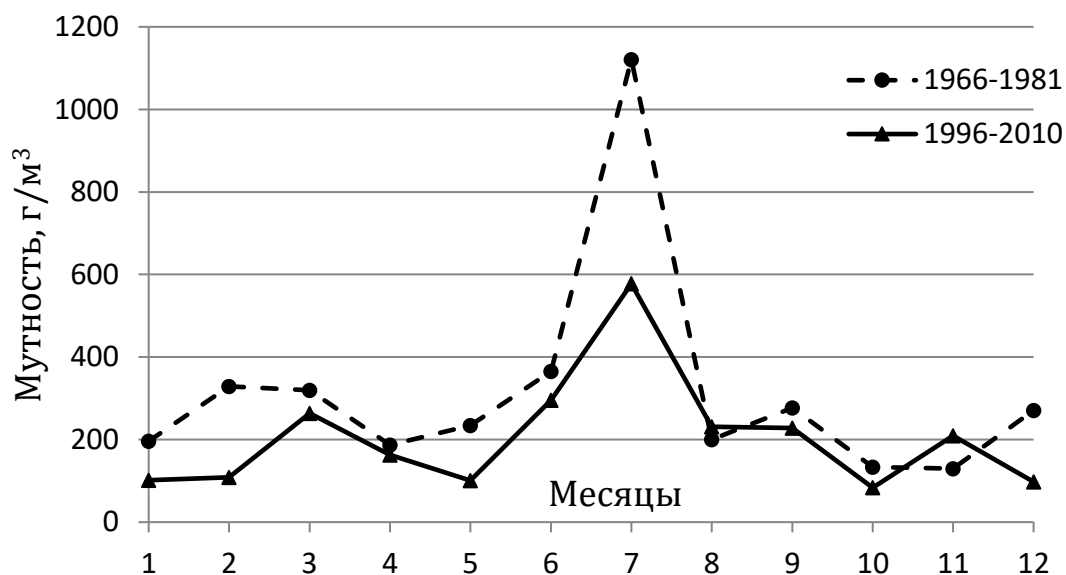


Рисунок 5.20 – Внутригодовое распределение мутности р. Стрый – п.г.т. Верхнее-Синевидное

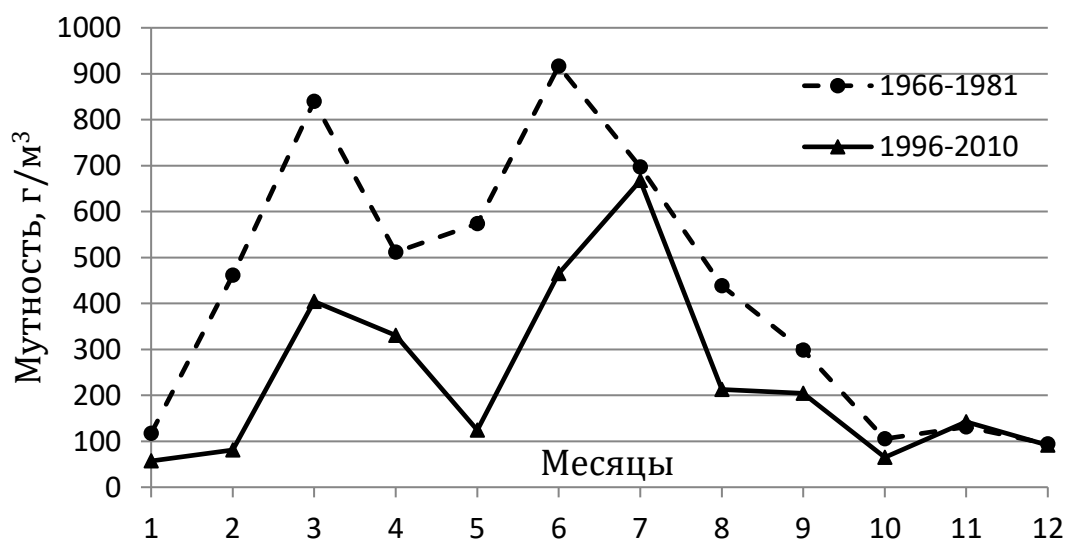


Рисунок 5.21 – Внутригодовое распределение мутности р. Днестр – г. Залещики

На некоторых реках, например, р. Орава, р. Опор, за рассматриваемые периоды мутность, наоборот, увеличилась на 5-20 %. Причиной этого, по данным [193], могут быть разрушение противопаводковых водохранилищ, неконтролируемая вырубка леса, функционирование русловых карьеров и т.д.

У постов вдоль Днестра мутность также со временем значительно уменьшилась (рис. 5.22).

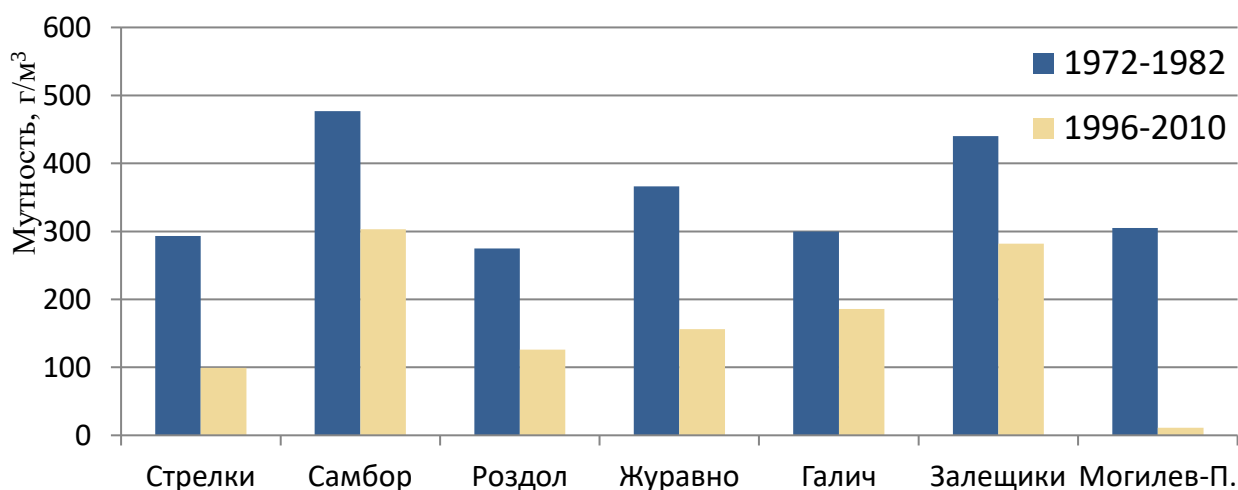


Рисунок 5.22 – Распределение мутности на постах Днестра

Рост мутности на участке г. Галич – г. Залещики с одной стороны можно объяснить, как в работах В.И. Вишневого [85] неотектоническим подъемом участка Днестра ниже г. Галич. С другой стороны, впадением на этом участке левобережных притоков (Коропец, Стрыпа) с большой мутностью, за счет которых и происходит повышение мутности самого Днестра.

Выводы по 5 разделу. В результате применения кластерного анализа к рядам годового стока (1963-2010 гг.) в пределах верхнего Днестра можно выделить от 3 до 6 районов с общими особенностями колебаний стока. Схемы этих районов приведены на рисунках.

Внешние границы Подольских кластеров (при делении на 6 кластеров) практически совпадают с физико-географическим районированием.

Деление временных последовательностей годового стока рек Верхнего Днестра на периоды (1963-1982) и (1983-2010), при проведении кластерного анализа, позволило установить различия в пространственно-временных закономерностях распределения колебаний годового стока. Сравнение схем распределения кластеров за эти периоды позволило сделать выводы, что границы западноподольского и восточноподольского кластеров остались практически неизменными. Рост осадков в пределах Львовской и Хмельницкой областей, во второй период, обусловил объединение двух разрозненных частей, с очень схожими характеристиками колебания стока, в один кластер. Одной из особенностей Подольского кластера является сильная зарегулированность стока его рек. В пределах Карпат за эти периоды происходит существенное перераспределение границ кластеров. И если в первый период выделение Внешнекарпатского кластера было связано с особенностями выпадения осадков в горной части Карпат, то во второй период с усилившимся антропогенным воздействием на эту часть бассейна, проявившуюся с 2000 г.

Анализ распределения мутности за выделенные расчетные периоды позволил установить ее снижение по мере перехода от одного интервала к другому (рис. 5.17, 5.18, 5.19). Это обусловлено снижением максимальных расходов весеннего половодья и увеличением стока межени на левобережных

притоках, работой Верхнеднепровской ГЭС, водохранилище которой благоприятствуют осаждению наносов, а также изменениями в условиях формирования стока в горной (правобережной) части Днестра. Ввиду установленной разнонаправленности изменений стока горных снижение мутности воды не является столь выраженным как на равнинных притоках.

6 АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ СТОКА

6.1 Обзор методов выявления периодичностей временных колебаний рядов стока

Рациональное использование водных ресурсов, а также интенсивное земледелие базируются на знаниях о ритмичности природных процессов. Получение такого рода знаний возможно на основе понимания и учета того, что энергетическая мощь процессов, протекающих в естественном природном цикле, на несколько порядков выше энергетических возможностей объектов, созданных человеком [194].

Необходимость исследования временных рядов стока диктуется возросшим интересом к изменчивости климата и речного стока [195, 196]. Речной сток (по теории А.И. Воейкова 1884 г.) является, в основном, результатом взаимодействия климатических факторов, поэтому статистические макромасштабные составляющие, выявленные в его многолетних колебаниях, отражают колебания климатических характеристик исследуемой территории. Вопрос генезиса цикличности колебаний речного стока, как и других естественных процессов, довольно сложный и пока не может считаться окончательно решенным [197, 198].

Фундаментальное изучение свойств и закономерностей изменения во времени гидрометеорологических процессов должно опираться на исследование динамики их объективных характеристик. В существующих нормативных документах [115, 199, 200] учет динамики гидрологических процессов рекомендуется выполнять на основе анализа автокорреляционной функции, сглаживания кривых колебаний стока или построения разностных интегральных кривых. Кривая обеспеченности речного стока, с помощью которой решается задача расчета характеристик стока в годы различной водности, практически не отображает реальную динамику колебаний речного стока.

Базисом прогнозирования стока может быть рассмотрение многолетних колебаний речного стока как параметра сложной динамики физической системы, которая характеризуется разномасштабными, тесно связанными между собой составляющими (серии лет роста и уменьшения стока, выделение циклов разной частоты, проявление агрегированных составляющих и прочее).

Многолетние колебания речного стока, как и любого другого природного процесса, И.П. Дружининым [201] представляются набором составляющих разного масштаба на разных “стадиях”. На протяжении каждой “стадии” или их совокупности происходят определенные количественные изменения, которые обеспечивают качественный переход на новый уровень. Система таких уровней представляет собой иерархическую структуру, которая относительно атмосферной циркуляции была показана еще А.А. Гирсом [202]. По отношению к речному стоку похожая иерархия построена на основе кривой Леонардо Фибоначчи и представлена Ю.О. Черноморец, В.В. Онищуком в работе [203].

В соответствии с иерархией А.А. Гирса при анализе многолетних колебаний речного стока можно выделить шесть уровней. Первый (нижний) уровень формируется сериями лет повышенной и пониженной водности. Второй уровень (внутривековые циклы) формируется совокупностью двух серий лет повышенной и пониженной водности, или наоборот. Третий уровень состоит из серии экстремумов. Четвертый представляет собой внутривековые циклы, образованные сериями экстремумов. Пятый и следующие уровни включают в себя серии, которые образуют большие внутривековые, вековые и сверхвековые циклы, а также циклы, которые формируются на основе составляющих более низких уровней.

По мнению И.П. Дружинина [201] серии лет повышений и понижений речного стока представляют собой наиболее короткие составляющие его многолетних колебаний и характеризуют однонаправленные изменения водности на протяжении определенного периода времени (один, два, три и т.д. года) в сторону ее повышения или снижения.

В работах И.П. Дружинина, З.П. Коноваленко [204] серии лет роста и уменьшения водности рассматриваются как генетически однородные элементарные составляющие многолетних колебаний речного стока, поскольку отвечают разным по продолжительности действия факторам формирования стока. По данным этих авторов в показателях речного стока двух - и трехлетние циклы составляют 98,6-99,5 % от общего количества серий.

Характеристиками второго, четвертого и последующих уровней иерархической структуры являются внутривековые, вековые и более продолжительные циклы. Вопрос о генезисе серий лет высокой и низкой водности, а также их экстремумов, довольно сложный и пока что не может считаться окончательно решенным [205, 206, 207, 208].

В изучении природы цикличности колебаний стока можно выделить две точки зрения. Ряд исследователей, например, А.В. Рождественский, Д.Я. Раткович [197, 198] считают, что главная причина цикличности речного стока состоит в цикличности, которая наблюдается в колебаниях гелиофизических, геофизических (циркуляционных) и бассейновых процессов, при которых на влияние атмосферных процессов накладывается действие подстилающей поверхности. Так, согласно исследованиям Д.Я. Ратковича цикличность колебаний стока и наличие внутрирядных связей влияет на процесс испарения с поверхности суши. По мнению других, например, Н.А. Картвелишвили [209], цикличность является свойством любой случайной последовательности. С другой стороны, возросшее количество исследований влияния климата на характер колебаний речного стока [87, 123, 125], свидетельствуют о его существенном изменении, обусловленном изменением глобального климата, которое происходит в последние десятилетия.

Для исследования многолетних колебаний речного стока. А.В. Рождественский и А.И.Чеботарев [197] проводили проверку степени постоянства спектральных функций, рассчитанных по выборкам разной

продолжительности и с разным нулевым отсчетом для р. Днепр - пост Лоцманская Каменка. Учитывая ограниченную продолжительность рядов наблюдений, авторы пришли к выводу о случайном характере ритмических колебаний годового стока, которые характеризуются достоверной связью лишь между смежными членами ряда. По мнению самих авторов, эти выводы могут существенным образом измениться по мере накопления информации и проверке на другом эмпирическом материале. Исследование А. А. Любушина, В. Ф. Писаренко и других авторов [210], которые проводили обработку результатов наблюдений по 16 рекам Европы, указывают на наличие в колебаниях циклов в 33, 54, 223 года. Они совпадают с рядом климатических факторов. Причем, 200-летний период был характерным для периода 550 - 1450 гг. Период колебаний продолжительностью 54 года, по мнению авторов, является доминирующим за последние 1000 лет.

Ряд исследований В. Ф. Логинова, В. Ф. Иконникова, И. И. Лиштвана по многолетним колебаниям весеннего половодья р. Неман и других рек Белоруссии [211], установили более короткие периоды колебаний стока рек: 2,94; 5,88; 8,33; 10,2; 14,3 года. Эти периоды в основном являются общими для всех рек, но для некоторых характерны свои мощные ритмы. Так для р. Неман по посту Гродно характерны ритмы с продолжительностью 2,8 г. и циклы продолжительностью 14,3 г. и 41,7 г. Периодичности выявлялись на всей площади материка вплоть до Дальнего Востока. В качестве примера можно рассмотреть работы Бубина М. Н. [212] и Новороцкого П. В. [213]. По мнению Бубина М. Н. структура многолетних колебаний стока рек Челябинской области характеризуется набором ведущих внутривековых ритмов продолжительностью: 2 - 4, 6 - 8, 11 - 14, 17 - 18, 22 - 23 года, локализованных преимущественно в пределах районов с синхронными колебаниями сезонного стока.

В работе Новороцкого П. В. спектральное разложение многолетнего ряда годового стока Амура позволило выявить статистически значимые (на уровне 5 %-ной значимости) циклы с периодом 4–5, а также 12 и 28 лет на уровне 1 %-ной значимости. Большинство авторов склоняются к выводу, что все циклы в той или иной степени связаны с солнечной активностью.

В. А. Касаткина, О. И. Шумилов, А. Г. Канатьев, Н. П. Шакина, Е. Н. Скриптунова и другие [214, 215] связывают проявление солнечных ритмов с периодами 11, 22, 33 и 88 лет с климатическими вариациями метеорологических величин (температура, влажность), которые, в свою очередь, влияют на речной сток. Известно, что 22-летняя периодичность (цикл Хейла) выявлена в климатических рядах во многих регионах земного шара. В то же время наличие 11-летнего солнечного цикла (цикла Швабэ) не является столь распространенным. Что касается 33-летнего цикла (цикл Брюкнера), физическая природа которого до конца не изучена, то он был выявлен в климатических вариациях лишь в отдельных регионах Северной Америки и Европы (Северная Финляндия, Кольский полуостров).

Таким образом, среди авторов работ в этой области нет единого мнения о цикличности колебаний стока рек бассейна Днестра.

6.2 Выделение циклов водности и периодичностей на основе спектрального анализа в колебаниях стока р. Днестр (главная река)

Рассмотрены временные ряды годового стока продолжительностью в 63 года (1950-2012 гг.), полученные по данным наблюдений на р.Днестр (главная река).

В качестве основного метода исследований использовался спектральный анализ. Основное назначение спектрального анализа - выделение частот регулярных составляющих сигнала, зашумленного помехами. Односторонняя функция мощности спектральной плотности (далее спектральная плотность) [216] определяется следующим образом

$$G_x(f) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) e^{-f 2\pi i \tau} d\tau, \quad (6.1)$$

где τ - некоторый временной сдвиг который обусловлен как $\tau = k\Delta t$; k - количество дискретных временных интервалов; $R_x(\tau)$ - автокорреляционная функция случайного процесса; f - текущая частота.

Для сравнения рядов разных масштабов используют нормированную спектральную плотность, которая рассчитывается путем деления спектральной плотности на дисперсию

$$G_x(f) / \sigma_x^2. \quad (6.2)$$

Применение многих видов спектрального анализа (оценка спектральной мощности методом Берга, методом Уэлча, методом Юлла-Уолкера) [216] показало целесообразность использования на первом этапе классических преобразований Фурье. Использование этого вида не представляет собой сложности и имеет большую разрешающую способность.

Анализ временных рядов принято начать с наблюдений, полученных на главной реке. Как правило на больших площадях водосбора меньше изменчивость колебаний стока. Результаты преобразований Фурье представлены в виде графиков нормированного спектра, поскольку последний является безразмерной величиной, что позволяет сравнивать разные временные ряды.

Расчеты нормированной спектральной плотности выполнялись по рядам максимального, годового стока воды и стока наносов (рис. 6.1) и среднемесячных расходов воды.

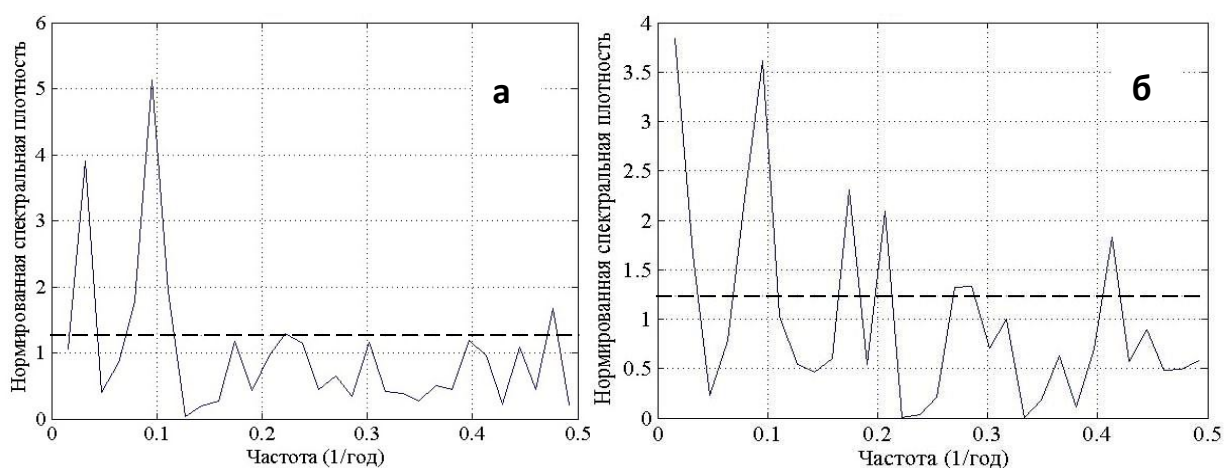


Рисунок 6.1 – Нормированный спектр среднегодовых колебаний: **а** - расходов воды; **б** – стока наносов (р. Днестр-г. Залещики). Пунктирные линии соответствуют верхней границе 95 % доверительного интервала.

В качестве статистически значимых принимались циклы, у которых нормированная спектральная плотность больше либо равна верхней границе 95 % доверительного интервала. Выявленные циклы приведены в таблице 6.1. Практически на всех постах в колебаниях годового стока выделялись периодичности 3,3-4,0; 9,5-11; и 27-30 лет. В колебаниях максимального стока и стока наносов – 3,5-3,8; 8,3-11,0 лет.

Некоторые циклы обнаруживаются не для всех рядов. Полученные результаты несколько отличаются от приведенных Ю.А. Черноморец в работе [217], в которой для поста г. Галич указаны периодичности в 3; 7; 11; 22 и 54 года. Некоторое различие между спектральными оценками, получаемыми в результате обработки, можно объяснить разной длиной исследуемых рядов, различными способами усреднения и т.п. Особо существенно это расхождение проявляется в установлении продолжительности коротких циклов.

Таблица 6.1 –Выявленные циклы стока на постах р. Днестр

Посты	Продолжительность выявленных циклов среднегодового стока, лет.	Продолжительность выявленных циклов стока наносов, лет.	Продолжительность выявленных циклов максимального стока, лет.
с. Стрелки	2,5; 3,8; 5,0.	4,6; 46.	2,3; 3,8; 9,2.
г. Самбор	3,5; 5,6; 11; 28.	3,6; 5,5; 6,6; 27.	3,7; 4,6; 6,6; 10; 20.
пгт. Роздол	3,9; 5,5; 9,5.	3,4; 11; 44.	3,9; 11.
г. Галич	3,4; 5,6; 10; 27.	2,2; 3,6; 6,7; 11; 18.	3,6; 5,6; 8,3; 28

г. Залещики	2,2; 11 и 29.	2,4; 3,5; 5,5; 11; 32.	2,5; 3,5; 5,5; 10; 30
г. Могилев- Подольский	3,3; 11; 30.		

Для дальнейшего исследования был проведен кросс-спектральный анализ. Этот вид анализа определяет наличие или отсутствие общих гармонических составляющих в исследуемых рядах и оценку тесноты связи между этими рядами.

Взаимный спектр, или кросс-спектр определяется для пары стационарных временных рядов и характеризует их взаимодействие на различных частотах. Кросс-спектральный анализ является обобщением спектрального анализа для двухмерного случая и сводится к вычислению двух спектральных функций (Гренджер, Хатанака, 1972) [218]: ко-спектра –

$$c(\omega_j) = \lambda_o / 4\pi (C_{xy}(0) + C_{yx}(0)) + 1/2\pi \sum_{k=1}^m \lambda_k (C_{xy}(k) + C_{yx}(k)) \cos(\omega_j k) \quad (6.3)$$

и квадратурного спектра –

$$q(\omega_j) = 1/2\pi \sum_{k=1}^m [C_{xy}(k) - C_{yx}(k)] \sin \omega_j k, \quad (6.4)$$

где $\omega_j = \pi j / m$; $j = 0, 1, K, m$, k – временной сдвиг (лаг), C_{xy} и C_{yx} значения ковариационных функций, которые зависят от выбора оценок весов λ_k и их вычисление осуществляется по итерационной процедуре, как и в обычном спектральном анализе. λ_k – веса значений автоковариационной функции, зависящие от числа частот - m .

Показателем тесноты связи между гармоническими составляющими рядов на соответствующих частотах ω_j является функция когерентности $C(\omega_j)$, которая определяется как отношение оценки спектра мощности, т.е. модуля взаимного спектра, к произведению оценок индивидуальных спектров обоих рядов $f_x(\omega_j)$ и $f_y(\omega_j)$ соответственно:

$$C(\omega_j) = \frac{c(\omega_j)^2 + q(\omega_j)^2}{f_x(\omega_j) f_y(\omega_j)}. \quad (6.5)$$

Когерентность интерпретируется как квадрат коэффициента корреляции, т.е. значение когерентности - это квадрат корреляции между циклическими компонентами двух рядов соответствующей частоты. Значения

когерентности варьируются в интервале от 0 до 1. Однако значения когерентности не следует объяснять всегда таким образом; например, когда оценки спектральной плотности обоих рядов очень малы, могут получиться большие значения когерентности (делитель в выражении когерентности может быть очень маленьким), даже если нет существенных циклических компонент в каждом ряду соответствующей частоты [216].

Кросс-анализ временных рядов стока р. Днестр - г. Залещики представлен на рисунке 6.2.

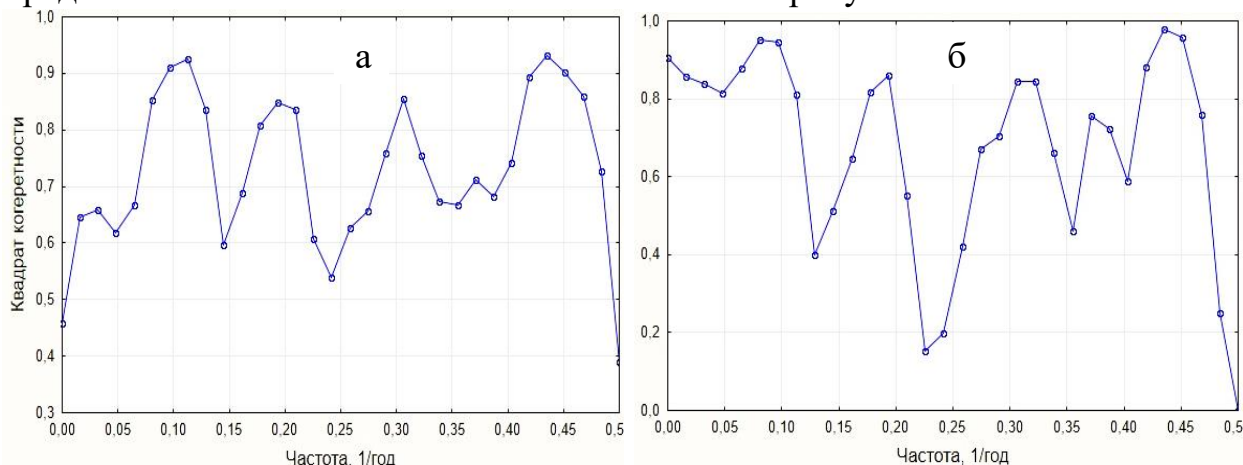


Рисунок 6.2 – Когерентности стока наносов р. Днестр - г. Залещики с:
а – максимальными за год расходами; **б** – среднегодовыми расходами.

Самые высокие значения квадратов когерентности выявлены на частотах 0,43-0,44 и 0,09-0,1 (1/год), что соответствует периодичности 2,2-2,5 года и 10-11 лет. На этих же частотах имеет место повышенная спектральная плотность во временных рядах отдельных величин (рис. 6.1.). Поэтому можно утверждать, что на указанных частотах существует тесная связь стока наносов как со среднегодовыми расходами, так и с максимальными. На частотах 0,18-0,20 и 0,31-0,33 (1/год), что соответствует периодичности 5-6 и 3-3,3 года, так же отмечается существование тесной связи, которое подтверждается высокими значениями спектральной плотности рассматриваемых величин (табл. 6.1).

Для подтверждения периодичности в 2-3 года и 10-11 лет была проанализирована автокорреляционная функция среднегодового расхода на посту г.Самбор (рис. 6.3). Превышение автокорреляционной функцией границы доверительного интервала (при 5 % уровне значимости) обусловлено наличием связей между членами ряда, с шагом (лагом) 1; 2 и 9 лет. Что является еще одним подтверждением периодичности 2-3 года и 10-11 лет в рядах стока Днестра.

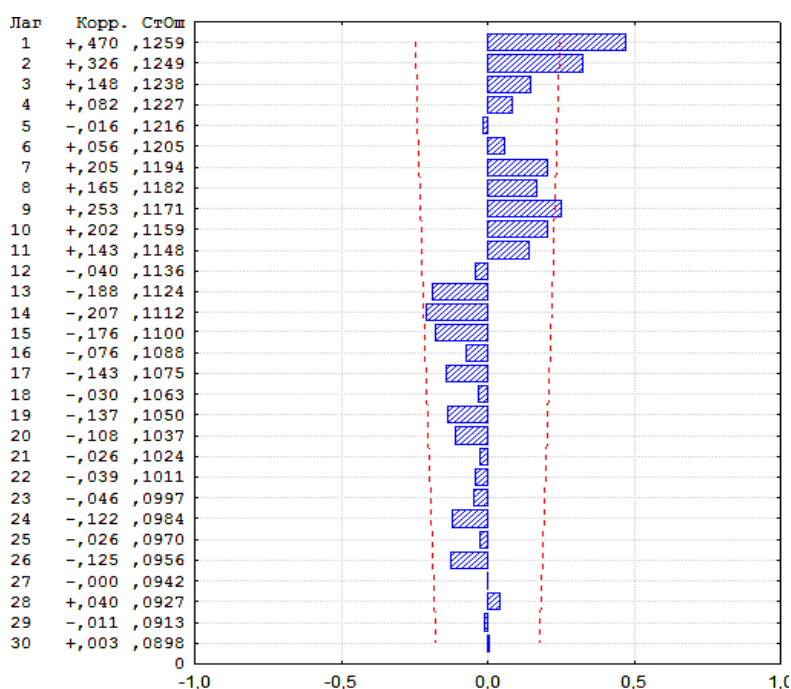


Рисунок 6.3 – Автокорреляционная функция среднегодовых расходов р.Днестр - г.Самбор. Пунктиром показана граница доверительного интервала при 5 % уровне значимости.

упоминаются в работах [212, 214, 217]. Второй особенностью является меньшее количество (например, по сравнению с [211]) выделенных коротких циклов. Третье, - во всех временных рядах не обнаруживается одновременное присутствие двух циклов продолжительностью 10,2 и 14,3 лет, о которых упоминается в работе [212]. Четвертой особенностью является отсутствие циклов более 32 лет. Эта особенность может частично объясняться длиной используемых временных рядов.

6.3 Анализ временных рядов стока левобережных притоков Днестра

На графиках нормированного спектра, построенных с помощью преобразований Фурье, были выделены наиболее выраженные пики.

Изменения выделенных периодичностей в пределах некоторых интервалов (2-3; 9-11 лет и др.) объясняется тем, что большинство природных процессов, в том числе и солнечная активность, являются процессами не строго периодическими, а квазипериодическими.

В целом выделенные циклы (табл. 6.1) аналогичны приведенным в работах [210, 214, 219], но имеют свои особенности. Главной особенностью является отсутствие 22 летних циклов, которые

На рис. 6.4 за верхнюю границу доверительного интервала выходят пики, которые соответствуют продолжительности циклов 6, 11 и 35 лет.

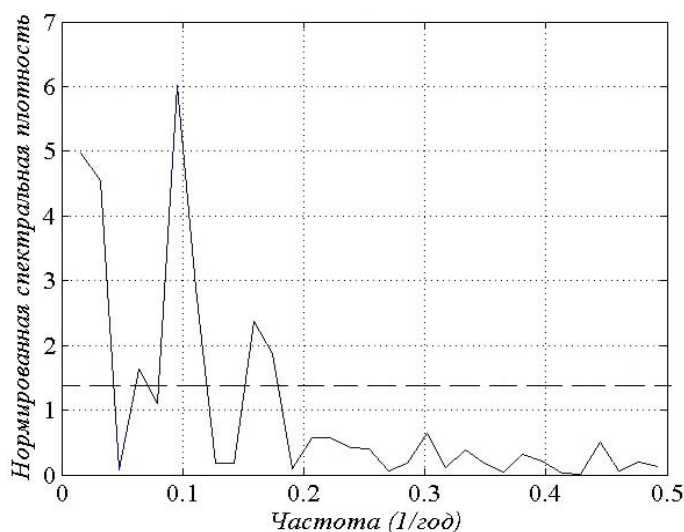


Рисунок 6.4 – Нормированный спектр годового стока р. Щерек – с. Щирец. Пунктирная линия соответствует верхней границе 95 % доверительного

литературных источников [211, 215].

Другой пример нормированного спектра представлен на рис. 6.5. Длина ряда в этом случае несколько больше, поскольку наблюдения начинались с 1945 г. За линию 95% доверительного интервала выходят только пики соответствующие продолжительности 11 и 34 года.

На других реках Подолии в рядах среднегодового стока выделялись циклы продолжительностью 7, 11, 17, и 33 года.

Нормированные спектры максимальных расходов и стока

наносов представлены на рис. 6.6. В этом случае выделяемые циклы носят более случайный характер. Даже 11 летние циклы выделяются не везде.

Данное распределение спектральной плотности хотя и отличается от полученного в более ранних работах авторов [220] главным образом за счет изменения длины рядов, но подтверждает общий вывод о наличии и продолжительности циклов.

Циклы продолжительностью в 6 лет выделяются и в спектрах построенных по среднемесячным значениям расходов. Кроме того, данные про аналогичные циклы встречаются в других

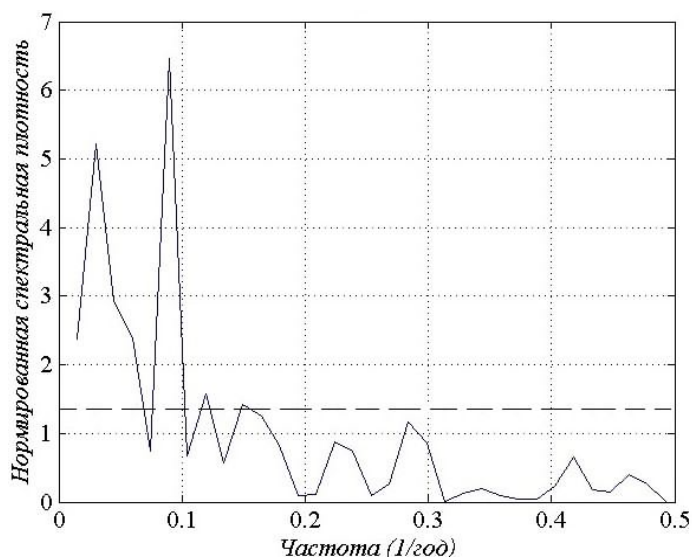


Рисунок 6.5 – Нормированный спектр р. Серет – г. Чертков.

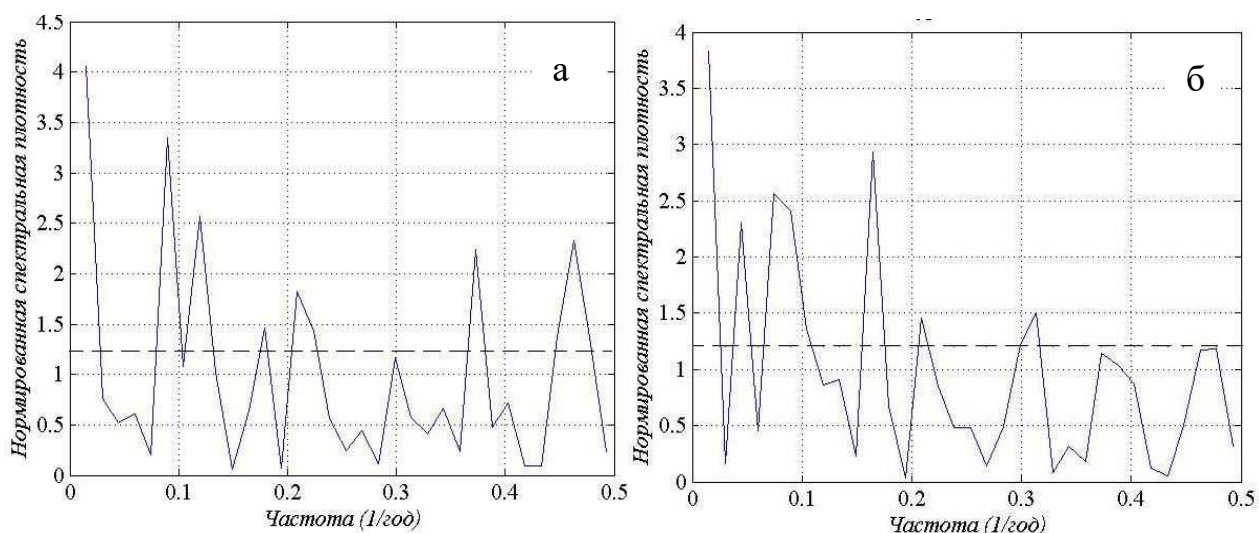


Рисунок 6.6 – Нормированные спектры максимальных расходов – а; стока наносов – б на р. Серет – г. Чертков.

Спектры стока наносов для рек Подолии весьма разнообразны из-за различных длин анализируемых рядов (от 63 до 45 лет). Но в 85 % случаев выделяются 7-8 летние циклы и в 60 % случаях 11 летние. Наличие циклов продолжительностью от 2 до 6 лет носит случайный характер и они имеют меньшую спектральную плотность.

Графики когерентности на рис. 6.7 указывают на тесную связь стока наносов р. Серет - г. Чертков со среднегодовыми расходами на частотах, соответствующих периодичностям 2, 11 и 22 года. Теснота связи стока наносов с максимальными расходами хорошо выражена и прослеживается во всем диапазоне для периодичностей от 2 до 11 лет.

На всех графиках когерентности теснота связи стока наносов с максимальным стоком на 5-7 % выше чем со среднегодовым.

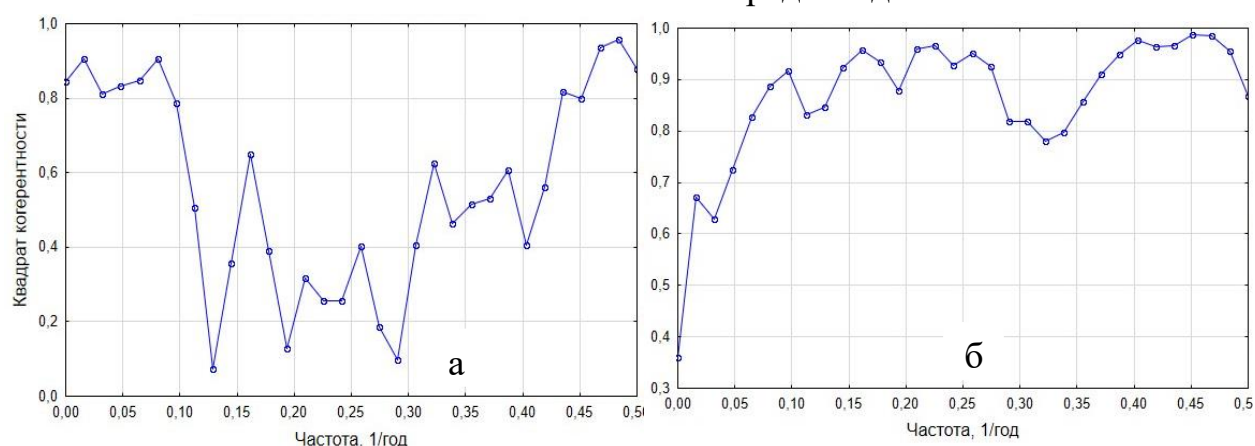


Рисунок 6.7 – Когерентности стока наносов р. Серет - г. Чертков с: а – среднегодовыми расходами; б – максимальными за год расходами.

6.4 Анализ временных рядов стока Карпатских притоков Днестра

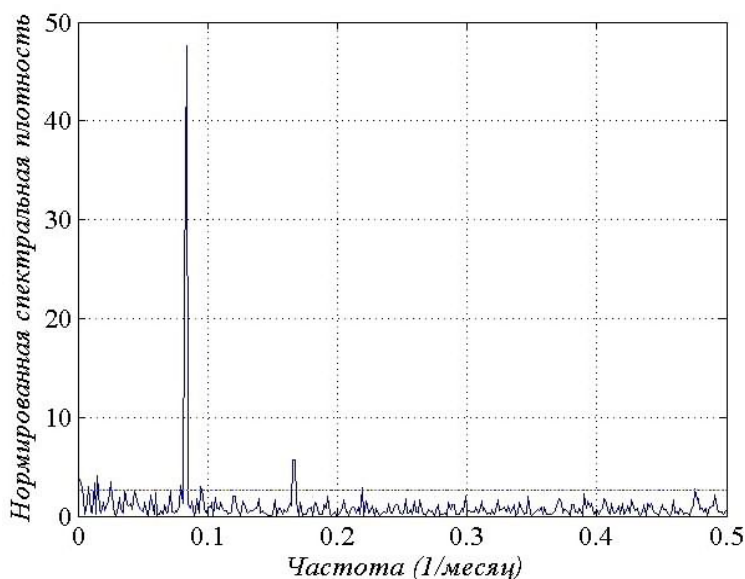


Рисунок 6.8 – Спектр стока р. Ломница – с. Перевозец построенный по среднемесячным расходам.

При исследовании закономерностей колебаний стока воды и наносов на основе метода спектрального анализа в качестве входных данных использовались годовые и среднемесячные значения.

На всех спектрах, построенных по среднемесячным значениям стока хорошо заметны сезонные колебания на частотах $0,166$ и $0,083$ (месяц)⁻¹ соответствующие 6 и 12 месяцам (рис. 6.8).

При построении спектров по среднемесячным значениям удобно анализировать внутригодовые циклы и короткие циклы продолжительностью до 15 лет. В левой части графика рис. 6.8 заметны пики, выходящие за линию 95% доверительного интервала. Величина нормированной спектральной

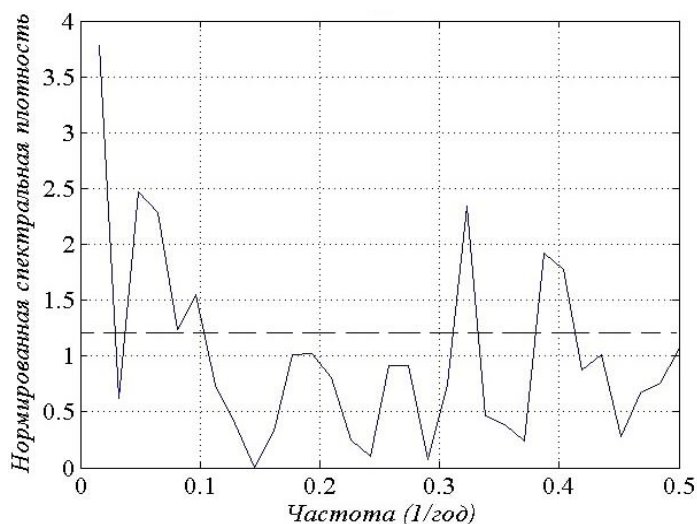


Рисунок 6.9 – Спектр годового стока р. Стрый – пгт. Верхнее-Синевидное.

плотности для них значительно меньше чем для цикличности в 12 месяцев. Низкочастотные пики (меньше $0,083$ месяца⁻¹ – годовая периодичность) на рис. 6.8 соответствуют периодичности 6 и 11 лет.

Для выявления и анализа длинных циклов необходимо использовать спектры, построенные по среднегодовым значениям стока. По оси x – частота измеряемая (год)⁻¹.

Такие спектры стока р.Стрый – пгт. Верхнее-Синевидное и р. Орава – г. Святослав показаны на рис. 6.9 и 6.10.

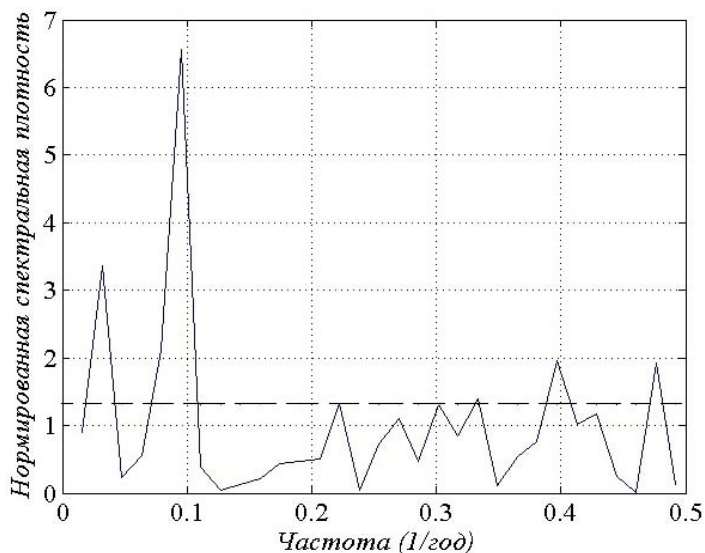


Рисунок 6.10 – Спектр годового стока р. Орава – г. Святослав.

На обоих графиках (рис. 6.9 и 6.10) имеются пики с частотами от 0,32 до 0,47 год⁻¹. Но на каждом спектре они разные.

Циклы продолжительностью около 6 лет обнаруживаются на спектрах, построенных по среднемесячным расходам, но на построенных по среднегодовым значениям они обнаруживаются не везде (рис. 6.12 и 6.13). Однозначно установлено существование 11 летнего цикла (рис. 6.8, 6.9 и 6.10). Более длительные циклы также обнаруживаются везде, но

имеют различную продолжительность от 25 лет (рис. 6.9) до 33 лет (рис. 6.10).

В спектрах максимальных расходов однозначно проявляются пики только 11 летних циклов (рис. 6.11). В 50 % случаях выявляются 33 летние

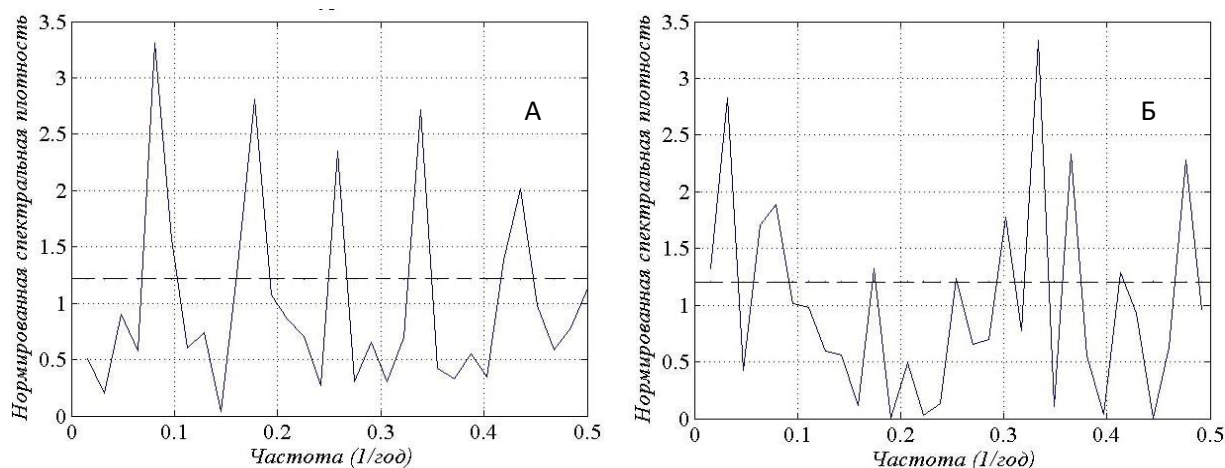


Рисунок 6.11 – Спектры максимальных расходов р. Стрый – пгт. Верхнее-Синевидное (А) и р. Лужанка – с. Гошев (Б)

циклы (рис. 6.11, Б). В 78 % присутствуют 6 летние и в 65 % - 3 летние. Остальные выявляемые периодичности имеют вероятность менее 50 %.

На рис. 6.12 показаны спектры, построенные по расходам взвешенных наносов. Почти на всех спектрах расхода наносов (в 85 % случаях)

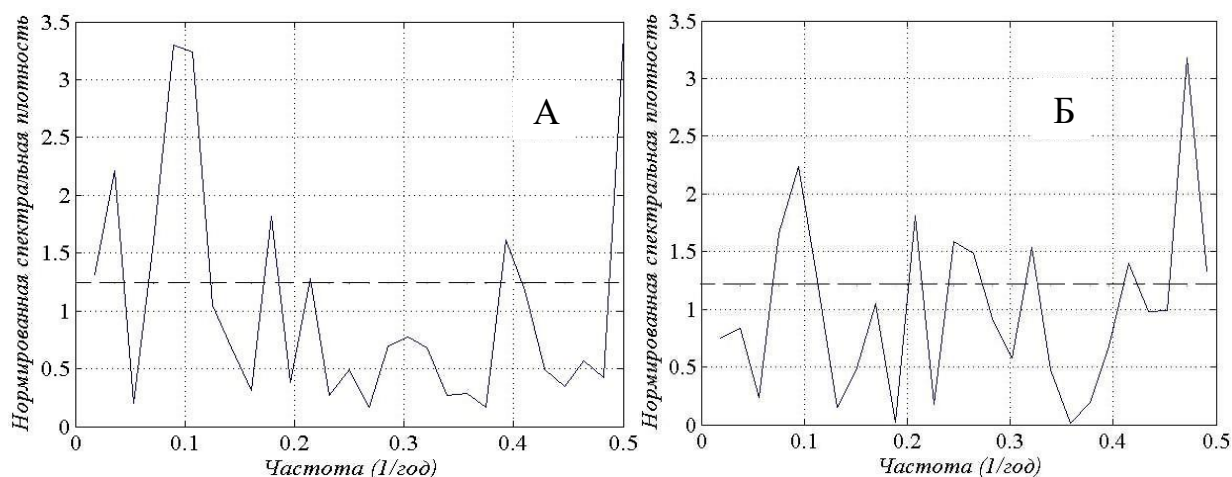


Рисунок 6.12 – Спектры стока наносов: А - р. Быстрица – с. Озимица, Б - р. Опор – с. Сколе.

выделяются 11-ти летние циклы. В 60 % случаях выделяются циклы с периодичностью около 33 лет (рис. 6.12, А). На большинстве спектров можно обнаружить 6-7-ми летние циклы. Но основной особенностью стока наносов Карпатских притоков является наличие 2-х летних циклов. Это хорошо заметно и на спектрах построенных по среднемесячным значениям. На рис. 6.13 приведена левая часть такого спектра. Точка (а) на рисунке соответствует периодичности 12 месяцев, точка (б) периодичности 24 месяца и точка (в) периодичности 132 месяца (11 лет).

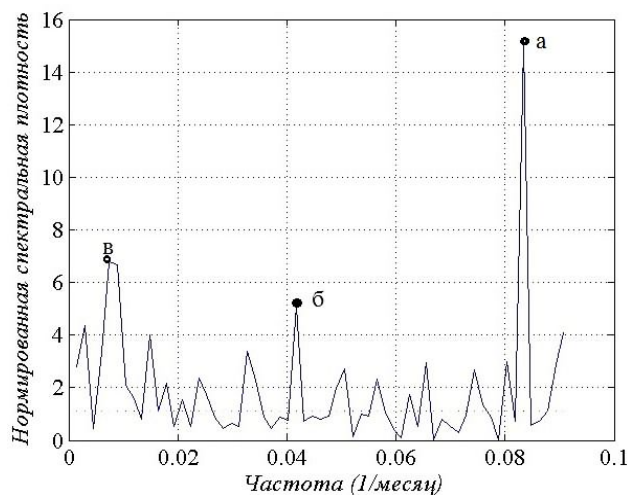


Рисунок 6.13 – Низкочастотная часть спектра стока наносов р. Быстрица – с. Озимица построенный по среднемесячным значениям.

выше чем со среднегодовым.

На всех графиках когерентности горных притоков Днестра обнаруживается тесная связь стока наносов со среднегодовыми и максимальными расходами на частотах соответствующих периодичностям 2,2; и 6 лет. На некоторых не обнаруживается связь с периодичностью 11 лет, например, рис. 6.14, но она присутствует в 70 % графиков когерентности. На 50 % графиках когерентности выявлены периодичности в 22 года (рис. 6.14, а) и 45-50 лет (рис. 6.14, б).

На всех графиках когерентности теснота связи стока наносов с максимальным расходом

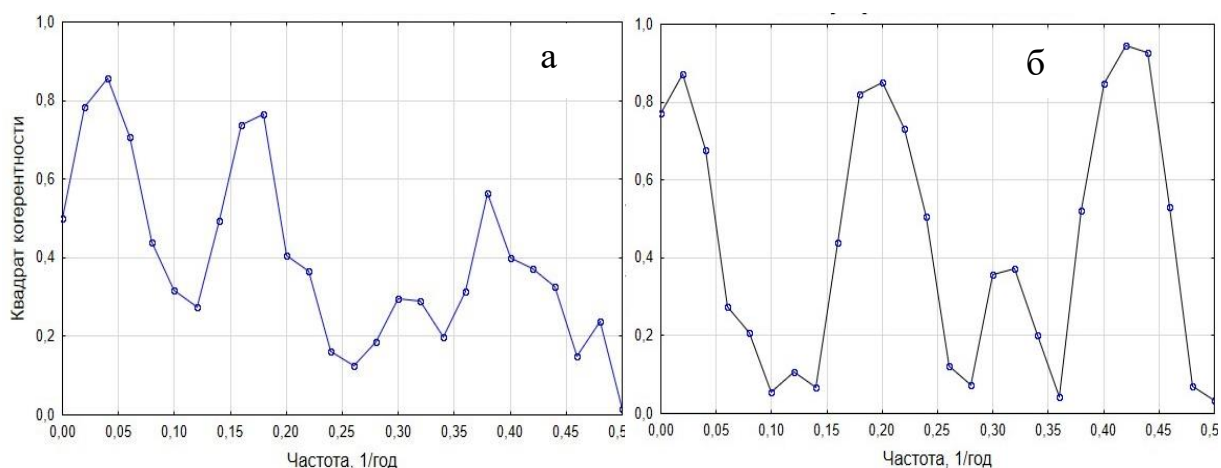


Рисунок 6.14 – Когерентности стока наносов р. Ломница - с. Перевозец с:
а – среднегодовыми расходами; б – максимальными за год расходами.

6.5 Периодические составляющие многолетних колебаний выявленные на основе метода "гусеница"-SSA

Метод «гусеницы» является мощным средством исследования временных рядов и используется в основном, в метеорологии, гидрологии, климатологии, геофизике. В Великобритании и США аналог метода «гусеницы» получил название SSA (Singular Spectrum Analysis). Базовый вариант метода состоит в преобразовании одномерного ряда в многомерный с помощью однопараметрической процедуры сдвига, исследовании полученной многомерной траектории с использованием метода главных компонент и последующем восстановлении исходного ряда по главным компонентам. Таким образом, результатом применения метода «гусеницы» является разложение временного ряда на простые компоненты: медленные тренды, периодические составляющие, а также шумовые компоненты.

Базовый алгоритм, согласно [221] состоит из дополняющих друг друга этапов, разложения и восстановления.

На первом шаге с помощью процедуры вложения переводят исходный временной ряд в последовательность многомерных векторов с получением траекторной матрицы (развертка одномерного ряда в многомерный).

На втором шаге производят сингулярное разложение (SVD - Singular Value Decomposition) траекторной (ковариационной) матрицы.

На третьем шаге мы получаем разложение матрицы ряда по ортогональным составляющим (главным компонентам). При этом собственные векторы матрицы выступают в роли переходных функций соответствующих фильтров.

Визуальное изучение главных компонент, полученных в результате линейной фильтрации, может дать информацию о структуре изучаемого процесса и свойствах его составляющих. На этом этапе среди главных

компонент можно выделить: относящиеся к тренду (медленно меняющиеся), периодические и шумовые составляющие.

Максимальное количество главных компонент, предлагаемое для анализа равно длине окна (половина длины ряда). Компоненты выстраиваются в зависимости от доли дисперсии которые они описывают. Первая компонента хотя и описывает большую часть дисперсии, но отражает в основном зашумленный тренд.

При выделении периодических составляющих чрезвычайно большую информацию дает визуальное построение и анализ двумерных графиков, когда по осям x и y откладываются различные пары главных компонент (рис.6. 15 а). Чем больше график похож на спираль или концентрические окружности, тем более выражена периодичность в главной компоненте. Проверить предположение о периодичности можно построив их линейные графики компонент (рис.6.15 б, в). Главная задача третьего шага отбор составляющих (главных компонент) из которых (или из которой) будет состоять моделируемый ряд. В состав “избранных компонент” входят те из них, в которых выявлены ранее установленные периодичности (2-3; 10-11 лет и др.)

На четвертом шаге базового алгоритма выполняется генерация искусственного ряда, отражающего заданную периодичность или периодичности.

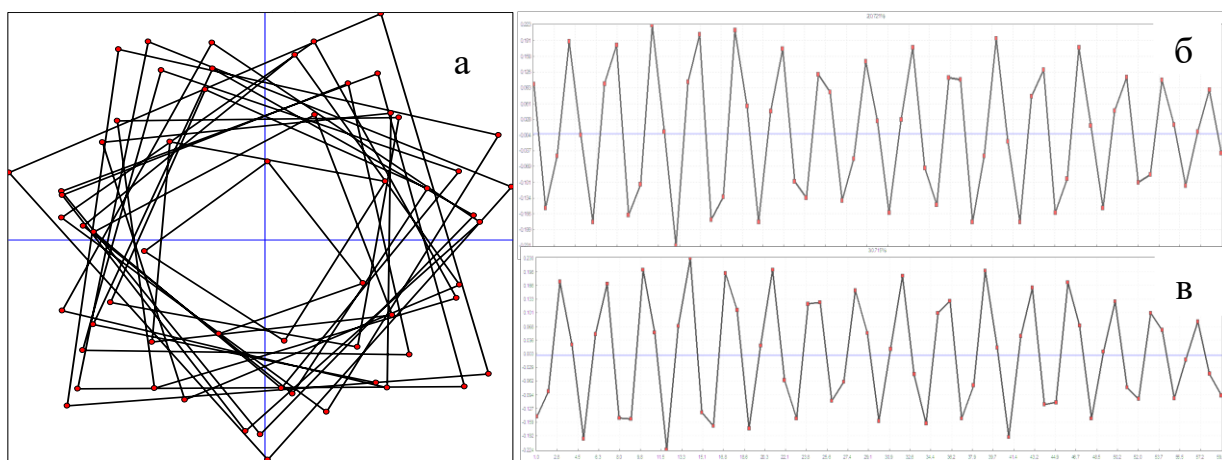


Рисунок 6.15 – Графики компонент разложения ряда стока Днестр-г.Залещики: а – парный (2-3 компоненты); б - линейный 2-й компоненты; в - линейный график 3-й компоненты.

Если на третьем шаге была выбрана одна компонента с заданной периодичностью (см. параграфы 6.2, 6.3, 6.4) то на четвертом шаге получим ряд, состоящий из одной периодической составляющей. Такой ряд удобно исследовать для анализа изменения амплитуды колебания, синхронности или синфазности с аналогичными колебаниями других рек или процессов (Солнечной активностью). Смоделированные периодические ряды описывают до 9 % дисперсии исходной информации.

В данной работе для вычислений использовался алгоритм, разработанный в Санкт-Петербургском университете [221, 222].

Начнем рассмотрение сгенерированных рядов с периодичностями 25-27 лет (рис. 6.16). Пики 25-27 годовых гармоник приходятся на 26-28-и и 53-55 года наблюдений, которые соответствуют 1976-1978 и 2003-2005 гг.

Максимумы этих гармоник приходятся на многоводные годы, минимумы – на маловодные см. рис. 6.17. Выделение гармоник связано с выбором длины и временного интервала исходного ряда. При увеличении длины исследуемых рядов с 63 до 118 лет гармоника 25-27 лет уже не выделяется. Для проверки такого вывода рассмотрим разностные интегральные кривые двух рядов. На рис. 6.17 период пониженной водности с 1950 по 1963 гг. может рассматриваться как полупериод 26 летней гармоник. При удлинении ряда (рис. 6.17) видно, что период пониженной водности длился не с 1950 г., а с 1926 по 1963 гг. поэтому 26 летняя гармоника уже не обнаруживается. Таким образом, образование 26 летней гармоник характерно только для длины ряда 1950-2010 гг.

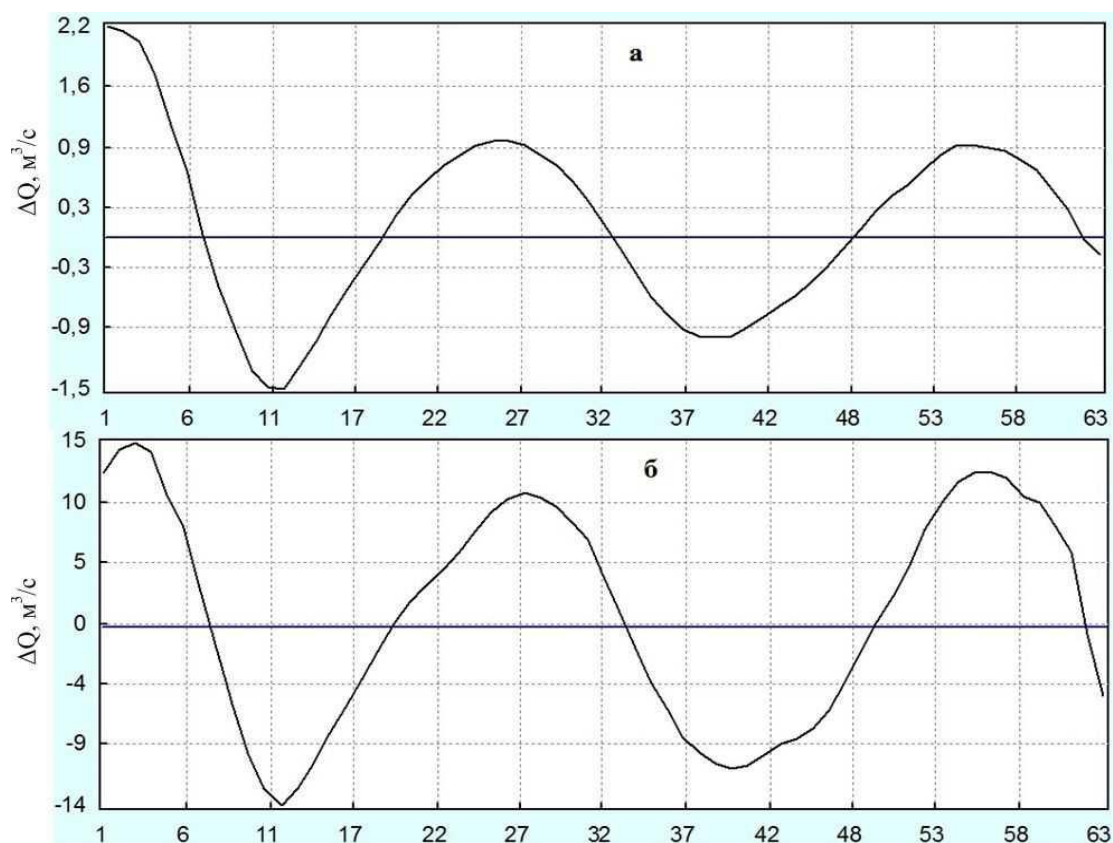
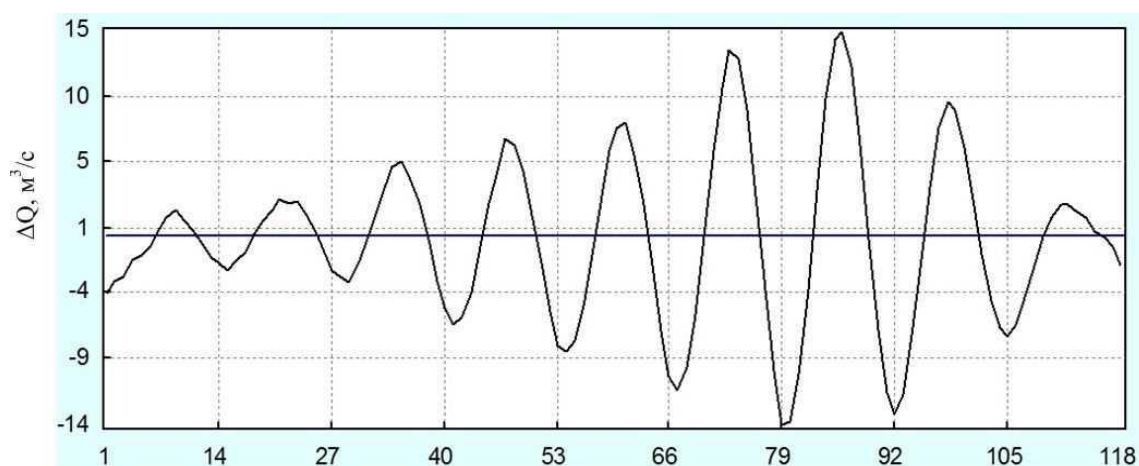


Рисунок 6.16 – Выделенные 25-27 летние гармонические составляющие многолетних колебаний (1950-2012 гг.) речного стока. Днестр-г. Самбор – а, Днестр-г. Галич – б.



Максимальная амплитуда циклов 11 летней гармонической составляющей (рис. 6.18) приходится на 63, 75 и 86 годы представленного ряда



наблюдений. Эти цифры соответствуют 1957, 1968 и 1980 календарным годам и соответствуют максимумам на кривой чисел Вольфа (рис. 6.19).



Начиная с 1980 г. уменьшение амплитуды 11-ти летней гармоники можно обнаружить не только на Днестре, но и практически на всех реках водосбора (рис. 6.20). Частично это явление можно объяснить уменьшением амплитуды Солнечных циклов.

В колебаниях максимального стока и стока наносов также прослеживаются 11 летние составляющие (рис. 6.21). Эти колебания синфазны соответствующим колебаниям среднегодового стока.

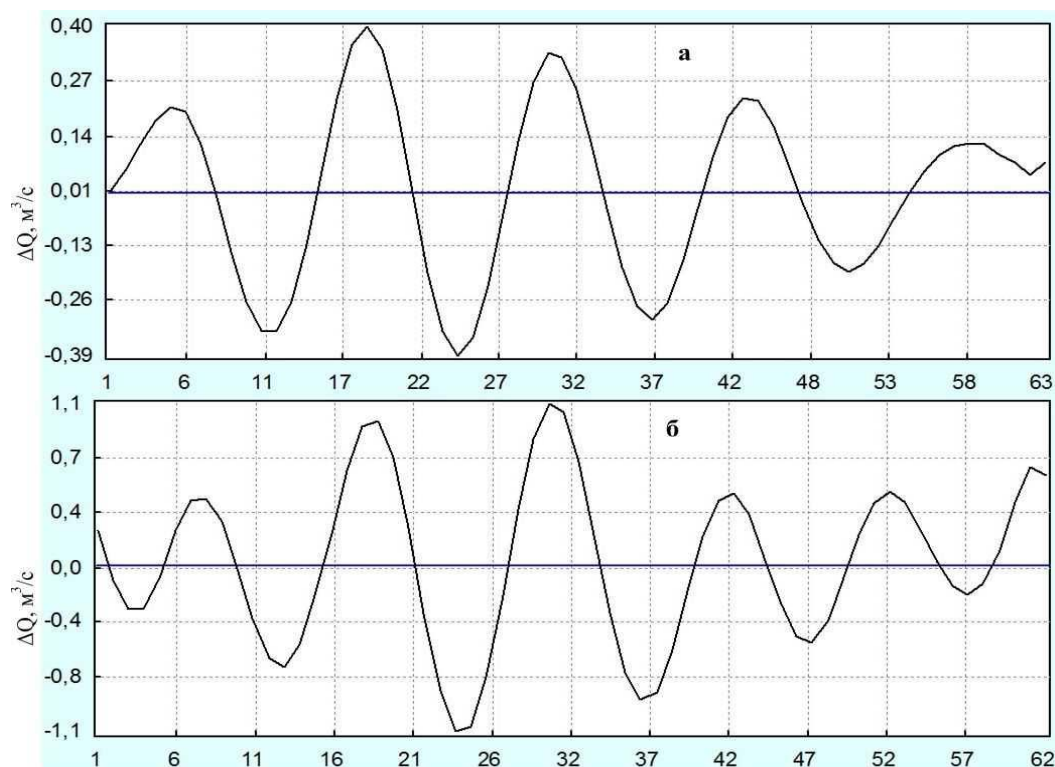


Рисунок 6.20 – Выделенные 11-12 летние гармонические составляющие многолетних колебаний (1950-2012 гг.) речного стока. Гнилая Липа -с. Большовцы – а, Серет-г. Чертков – б

Установлено, что наиболее выраженные и устойчивые колебания имеют 11 летние гармоники, полученные при разложении полей годового стока, максимального и стока наносов. Эти колебания синфазны и соответствуют колебаниям Солнечной активности. Что касается

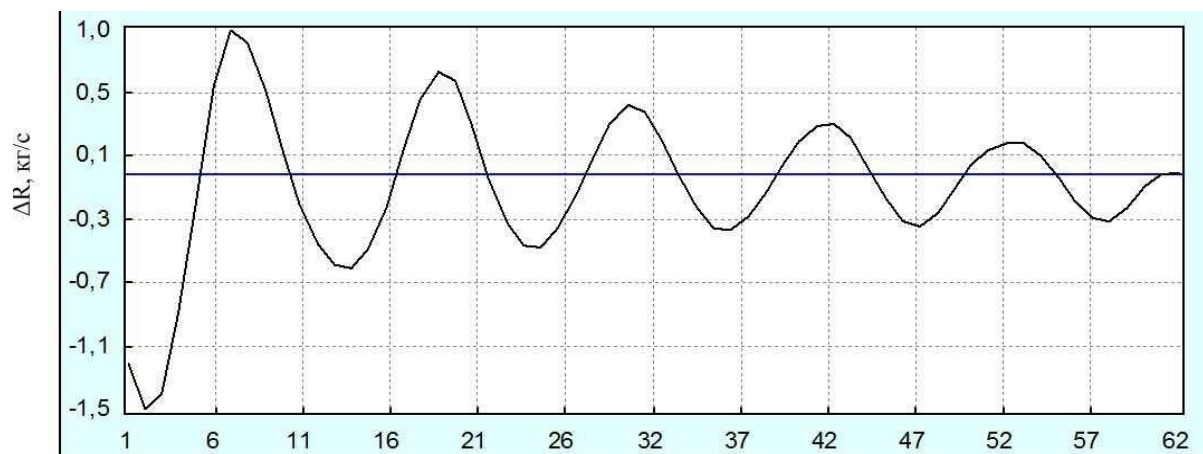


Рисунок 6.21 – 11-ти летние гармонические составляющие стока наносов (1950-2012 гг.) р.Серет-г. Чертков.

периодичностей от 2,5 до 8 лет, то проявление синфазности или синхронности их гармоник не установлено.

6.6 Оценка влияния климатических осцилляций на сток рек бассейна

Пристальное изучение временной изменчивости гидрометеорологических характеристик как глобального, так и регионального масштаба обусловлено отмечаемыми на данном этапе тенденциями изменения климата [224, 225, 226, 227]. В связи с этим очень важно выделять глобальные изменения климата и их периодические составляющие – осцилляции, или колебания.

Северо-Атлантическая осцилляция (САО) и Арктическая осцилляция (АО) являются одними из основных влияющих на Причерноморский регион природных источников климатической изменчивости в системе океан - атмосфера [225]. Наряду с ними значимое влияние на климатические процессы Земли оказывает Южная осцилляция (ЮО), состоящая из теплой и холодной фаз – Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Однако большему влиянию ЮО подвергается климат Южного полушария [210]. Утверждение о влиянии этой осцилляции на территорию Европы, по мнению А.Б. Полонского, In. Solomon, D. Qin, M. Manning, Е.Н. Воскресенской, [224, 225, 228, 229], носит спорный характер и подлежит дальнейшему изучению.

Исследование влияний климатических осцилляций на сток рек бассейна Днестра позволит усовершенствовать процесс управления водными ресурсами Днестра, повысить его качество и надежность.

В работах А.Б. Полонского, Н.П. Смирнова, В.Н. Воробьева, С.Ю. Качанова [225; 230] рассматривается взаимосвязь изменений индекса САО с колебаниями различных климатических характеристик Северной Атлантики и прилегающих регионов Северной Америки и Европы. Рассмотрены сезонные и многолетние изменения интенсивности и положения Исландского минимума и Азорского максимума давления, которые определяют интенсивность циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой. Установлена взаимосвязь изменений индекса САО с колебаниями различных климатических характеристик (температуры воздуха, количества осадков, температуры воды в океанах).

Метеорологи Д. Томпсон и Дж. Уоллес дали более детальное объяснение влияния АО [226]. По их мнению, Арктическая осцилляция проявляется в том, что температура и атмосферное давление в высоких широтах Северного полушария (включая географический полюс, южные районы Аляски и всю Центральную Европу) подвержены циклическим колебаниям. Когда АО вступает в положительную фазу, над полярной шапкой давление падает, а в районах, расположенных вдоль 55° с. ш., поднимается, приводя к усилению западных ветров. В связи с этим штормы в океане смещаются к северу, принося, например, влагу в Скандинавию и на Аляску и лишая осадков

Испанию и Калифорнию. Тепло вторгается в Евразию, в центральных районах Европы учащаются оттепели.

В.В. Ефимов, А.А. Сизов и др. [231] установили, что влияние структур Северо-Атлантического и Евро-Азиатского колебаний особенно заметно в зимний сезон. В их работе показано, что процессы переувлажнения и атмосферной засухливости в регионе Черного моря и других регионах Европы в зимние сезоны 80-90-х гг. можно описывать, используя структуру барического поля в разные фазы САО. Позднее А.А. Сизов и А.Е. Чехлан [229] уточнили, что в годы четного цикла солнечной активности преобладают положительные индексы САО и отрицательные аномалии осадков в Причерноморском регионе. В годы нечетного цикла – наоборот: отрицательные индексы САО и положительные осадков.

Влияние климатических осцилляций на водные ресурсы Европы и Украины отмечено в работах А.Б. Полонского [224, 225]. Он описывает статистически значимую взаимосвязь аномалий температур поверхности океана со стоком Дуная и других крупных рек Европы. Температурные аномалии океана определяются САО и ЮО, а также их взаимодействием, усиливающимся в зимний период.

Е.Н. Воскресенская, В.Н. Маслова совместным влиянием САО и ЮО объясняют более 50 % межгодовой изменчивости циклонов в Средиземноморско-Черноморском регионе [233]. Такого же порядка величины были получены при оценке связи САО и ЮО с расходами рек Черноморского бассейна (Днепра, Дуная и Южного Буга) в весенний сезон, обусловленными преимущественно циклонической активностью над площадями водосборов.

А.А. Сизов и А.Е. Чехлан [232] наряду с долговременной изменчивостью аномалий гидрометеорологических характеристик находят и относительно короткопериодную флуктуацию, которая определяется экстремальными значениями индексов САО и СЧМ (градиент температуры между Саргассовым и Черным морями). Ими установлено, что при САО и СЧМ ≥ 1 формируются отрицательные аномалии температуры воздуха, воды, осадков и скорости ветра. При этом наблюдается отрицательная аномалия стока Дуная.

Исследования Н.С. Лободы и А.А. Коробчинской [234; 235] показали статистически значимую связь между индексами Скандинавского и Северо-Атлантического колебания с гидрометеорологическими характеристиками и среднегодовым стоком ряда рек Украины. В работах также выявлено, что воздействие атмосферных процессов, происходящих в Северной Атлантике, на формирование полей годового стока более явно прослеживается в западной части Украины.

В данных работах исследуется связь климатических осцилляций с водными ресурсами на больших территориях крупных рек. Бассейн Днестра в этом вопросе мало изучен.

Климатические осцилляции воздействуют на обширные территории, но на одних территориях, по результатам статистического анализа, это влияние

выделяется, а на других оно перекрывается действием региональных факторов. В настоящей работе оценивается влияние осцилляций не только на бассейн Днестра в целом, но и на региональные водные ресурсы.

Бассейн реки Днестр находится под воздействием климатических изменений [143, 224, 233, 236], которые должны отражаться в изменениях его гидрологического режима. Для анализа использованы 23 ряда среднегодовых расходов в створах, расположенных на водосборе р. Днестр. Сравнение их с рядами индексов САО, АО и ЮО позволит судить о наличии связи между гидрологическим режимом рек бассейна Днестра и атмосферными осцилляциями.

Временные ряды, используемые в исследовании, начинаются с момента начала наблюдений на постах. Для большинства постов это непрерывный ряд в 66 лет (с 1945 по 2010 гг.). Для трех постов на Днестре этот период составляет 115 лет, для некоторых рек промежуточные значения (р. Смотрич 81 год, р. Ушица - 75 лет). Для некоторых рядов при восстановлении пропущенных значений середины XX века использовались данные работы А.Н. Бефани, О.Н. Мельничук [143].

Индексы САО рассчитываются как максимальное значение разности атмосферных давлений в Азорском максимуме и Исландском минимуме за зимне-весенний период. Северо-Атлантическое колебание рассматривается как часть более масштабного Арктического колебания. АО выражается в изменении давления в Арктике и противоположных изменениях в районе 37-45° с. ш. Индекс АО определяется как первая мода разложения на естественные ортогональные функции аномалий высоты поверхности 1000 гПа. Индекс ЮО вычисляется как разность давлений над Таити и над Дарвином (Австралия). Отрицательные значения индекса свидетельствуют о фазе Эль-Ниньо, а положительные — о Ла-Нинья [224].

В качестве одного из методов исследования использован корреляционный анализ - совокупность основанных на математической теории корреляции методов обнаружения корреляционной зависимости между двумя случайными признаками или факторами. Корреляционный анализ экспериментальных данных основан на:

1) составление корреляционной таблицы; 2) вычисление коэффициентов корреляции, или корреляционного отношения; 3) проверка статистической гипотезы значимости связи [237, 238].

Применение этих приемов к индексам САО и среднегодовым расходам рек показало, что статистически значимые коэффициенты корреляций колеблются от – 0,26 до – 0,38. Эти значения приблизительно соответствуют тем, что были получены в работе [234] при сравнении индексов САО с амплитудными функциями разложения полей годового стока на естественные ортогональные функции. Посты, по данным которых установлена корреляционная зависимость с индексами САО представлены на рис. 6.24.

Статистически значимая связь между индексами АО и среднегодового стока установлена только на 7 постах. Расположение их по территории

бассейна аналогично расположению постов, на которых установлена зависимость с индексами САО. Эти результаты вполне логичны с учетом выводов [234; 226] о том, что Северо-Атлантическая осцилляция является лишь составной частью Арктического колебания.

Безусловно, все климатические колебания воздействуют на значительные площади океанов, морей и суши. Влияние САО и АО не ограничивается водосбором отдельных, указанных на рис. 6.22, рек или даже всего Днестра. Это воздействие распространяется на всю Европу, Причерноморский регион [231; 232; 234; 235] и ряд других регионов Земного шара. Но действие климатических осцилляций на водосборы отдельных малых рек может статистически не проявляться ввиду более значительного влияния на них природных азональных факторов и хозяйственной деятельности. На водосборах других рек это воздействие статистически значимо. Выделение территорий, находящихся под влиянием того или иного атмосферного процесса, может иметь большое значение при долгосрочном прогнозировании стока и динамики водных ресурсов.

При расчете корреляции между индексами ЮО и среднегодовыми расходами не получено статистически значимых величин. Это объясняется тем, что коэффициенты корреляции параметров черноморских циклонов с индексом ЮО в 1,5-2,0 раза меньше коэффициентов корреляции этих параметров с индексами САО и имеют сдвиг в 4-7 месяцев для всех территорий [225].

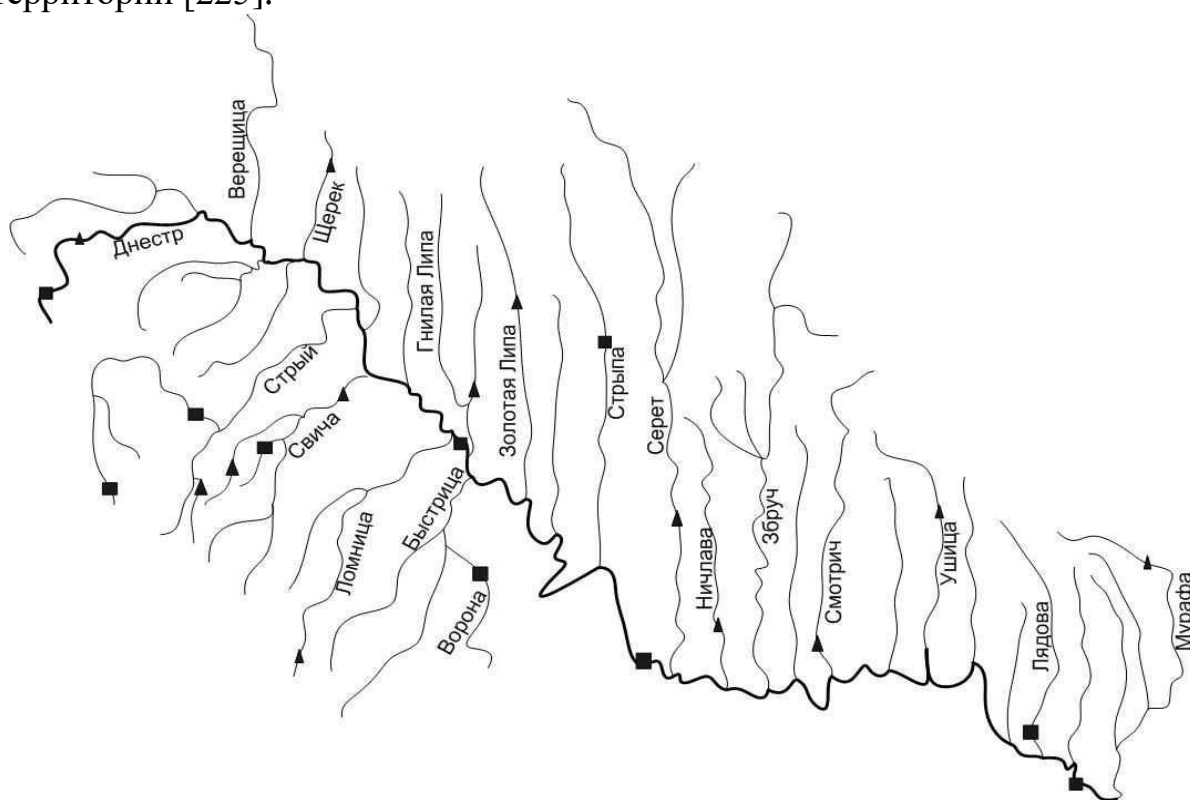


Рисунок 6.22 – Схема расположения постов. ▲ - посты у которых не выявлена связь с индексами САО; ■ - посты на которых выявлена связь с индексами САО.

Природные системы развиваются путем циклических колебаний, а среднегодовой расход является подсистемой региональных и глобальных изменений. Соответственно их динамика также является циклической [239]. Поэтому для проверки результатов корреляционного анализа проведем сравнение периодических составляющих во временных рядах осцилляций и стока рек с помощью спектрального анализа.

На рисунке 6.23 показана спектрограмма временного ряда индексов САО.

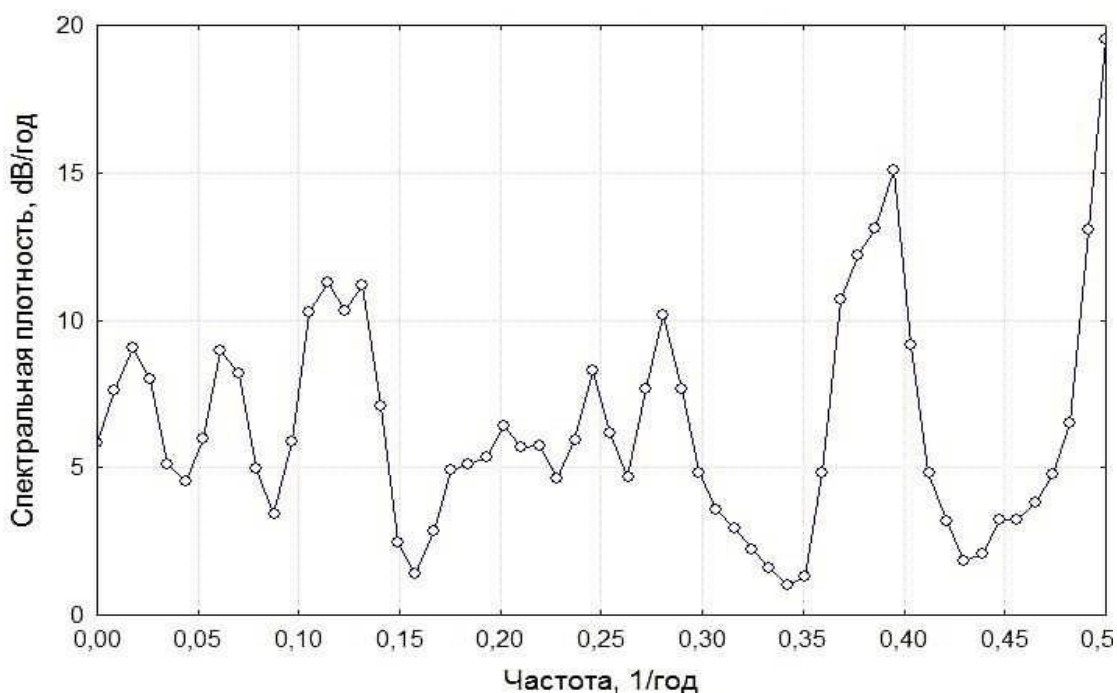


Рисунок 6.23 – Распределение спектральной плотности индексов САО (1895-2012 гг.)

Как видно из рисунка 6.23, на средних и больших частотах спектры имеют пики, которые соответствуют цикличности в 2,5; 3,8; 5,0 и 8 лет. На низких частотах САО имеет пик, соответствующий 18 и 57 годам.

Периодичность САО, по данным разных авторов, колеблется в очень широких пределах. В работах А.Б. Полонского [224; 225] периодичность САО составляет 6-8 лет, в работах М.Ю. Бардина и Е.Н Воскресенской [236] 8-25 лет. Таким образом, полученные в результате спектрального анализа САО низкие периодичности (2,5; 3,6-4,0; 5,0 лет) и длинные (55-60 лет) не могут относиться к циклам САО. Можно сделать вывод что, выявленные периодичности САО, которые входят в общепринятый диапазон, имеют продолжительность около 8 и 18 лет.

Распределение спектральной плотности АО на рис. 6.24 имеет аналогичный вид, но отсутствует периодичность в 57 лет. По данным Д. Томпсона, Дж. Уоллеса [226] и Эндрю У. Робертсона [240], периодичность АО должна составлять 2-4 года. Исходя из этого, показатели цикличности индекса АО продолжительностью 5 и более лет объясняются наложением других периодичностей, например, той же САО, солнечных циклов и др. Таким образом, наиболее вероятной (по величине пика) периодичностью АО в наших исследованиях является 2,6 и около 4 лет.

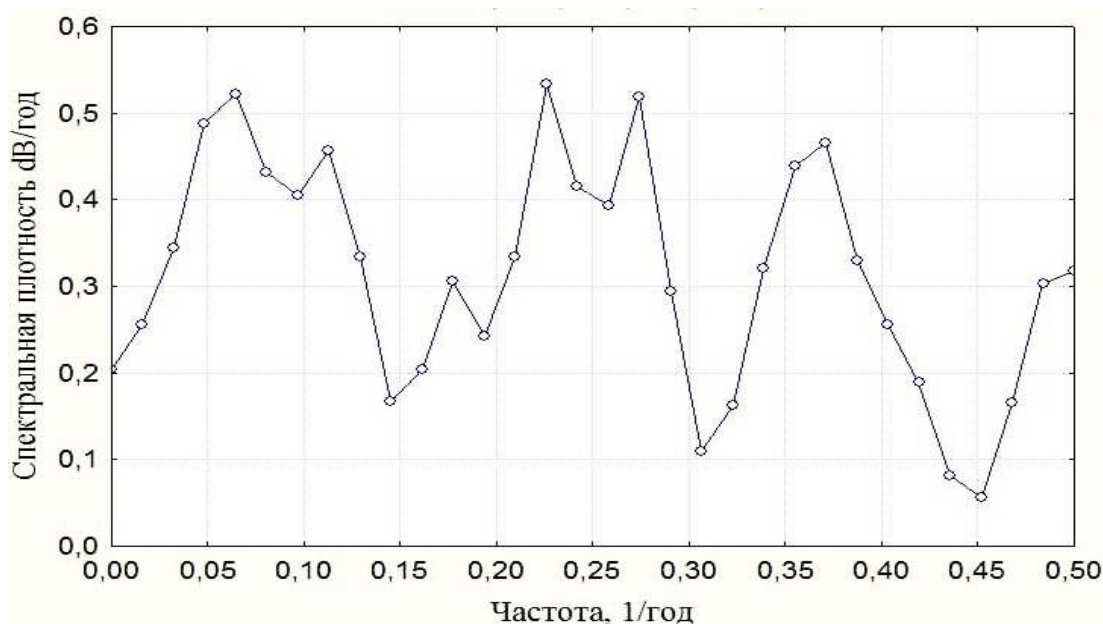


Рисунок 6.24 – Распределение спектральной плотности индексов АО (1950-2012 гг.)

Цикличность осцилляций сравнивалась с цикличностью среднегодовых стоков рек бассейна. Цикличность стока рассмотрим на примере р. Днестр – с. Стрелки. Спектральная плотность временных рядов представлена на рис. 6.25.

Наличие общих циклов продолжительностью 2,5 и 3,8 года в спектрограммах АО и рек подтверждает корреляцию между этими рядами.

Циклы продолжительностью 8-9 и 17-18 лет, общие в спектрограммах рек и САО, также свидетельствуют о закономерности корреляционной связи между ними.

Из графика распределения квадрата когерентности между индексами АО и среднегодовым стоком р.Днестр - г.Галич на рис. 6.26 видно, что наибольшие значения достигают на периодичностях 3,8; 5,6 и 18 лет.

Сопоставление временных рядов индексов САО и среднегодовых расходов других рек дает аналогичные результаты.

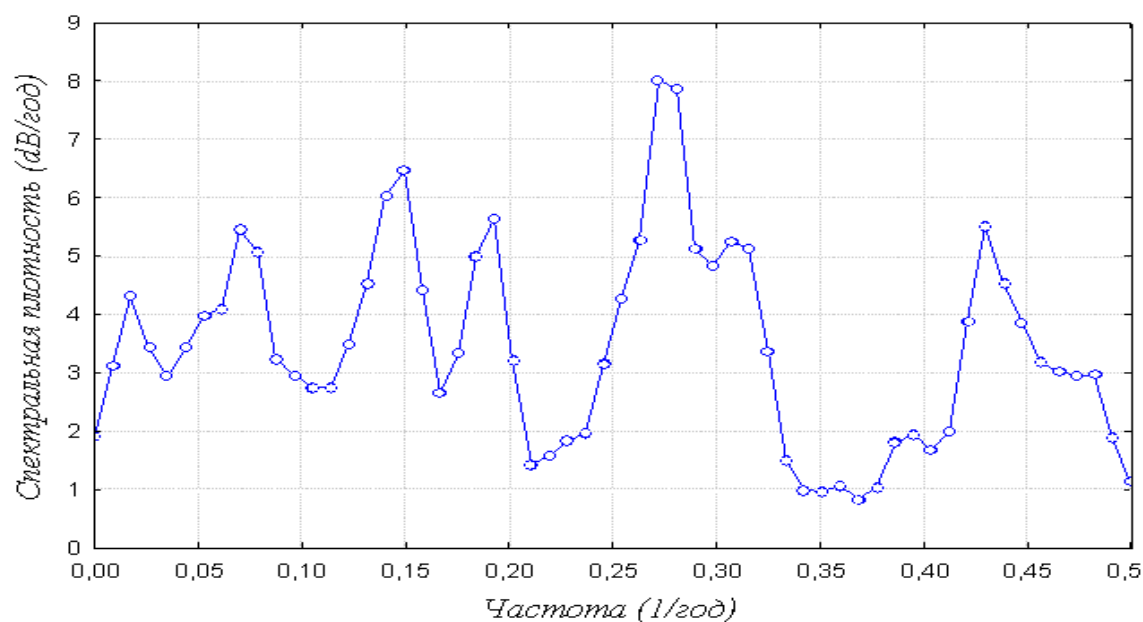


Рисунок 6.25 – Спектральная плотность временных рядов стока р. Днестр – Стрелки (длина ряда - 115 лет)

Таблица 6.2 – Значения когерентности при анализе индексов САО и среднегодовых расходов рек Днестр, Стрый, Стрыпа

Продолжительность циклов, лет	Значение когерентности		
	р. Днестр - г. Галич	р. Стрый – пгт Верхнее Синевидное	р. Стрыпа – с. Каплинцы
8-9	0,66	0,51	0,65
17-18	0,85	0,57	0,80

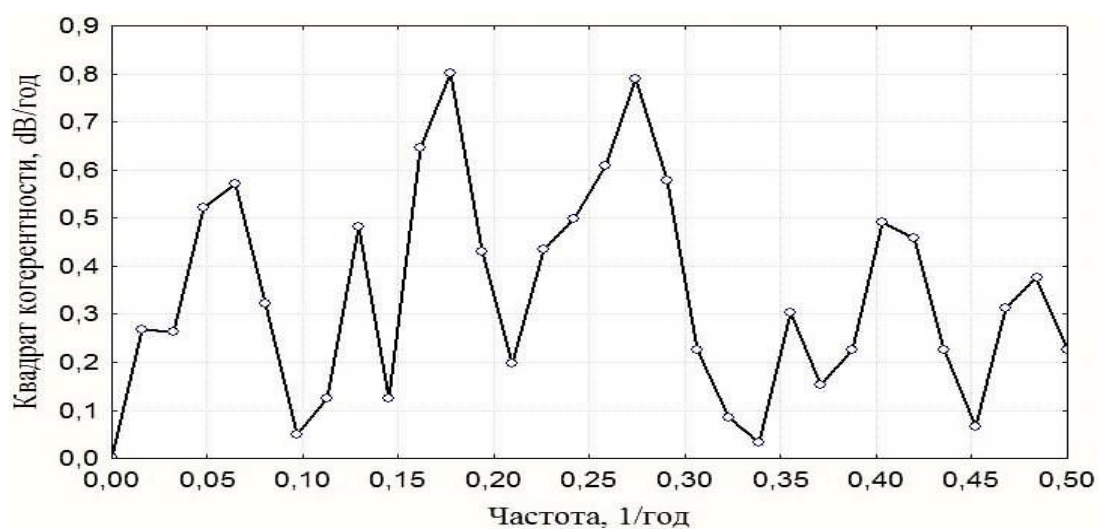


Рисунок 6.26 – Распределение квадрата когерентности между индексами АО и среднегодовым стоком р.Днестр-г.Галич (длина ряда наблюдений 63 года)

Выводы по 6 разделу. Применение спектрального анализа к данным по среднегодовому, максимальному и стоку наносов позволило сделать выводы, о существовании в колебаниях гидрологических характеристик циклов продолжительностью 3,3-4,0; 9,5-11; и 27-30 лет.

В колебаниях максимального стока и стока наносов выделены циклы продолжительностью 3,5-3,8; 8,3-11,0 лет. Разная продолжительность циклов в створах главной реки связана с различной цикличностью, проявляющейся на горных притоках Днестра, и равнинных (в частности на реках Подолии).

Анализ цикличности, выполненный для правобережных и левобережных притоков при помощи нормированной спектральной плотности показал наличие 6 летней и 11 летней периодичности.

Наличие 2-х летней периодичности является характерной чертой колебаний горных рек водосбора Днестра, тогда как в равнинной части чаще выявлялась 6-7-летняя периодичность.

Анализ связей между характеристиками колебаний годовых значений стока наносов и водности (среднегодового и максимального стока) был выполнен на основе такой статистической составляющей метода спектрального анализа как когерентность, отражающей тесноту связи между циклическими компонентами двух рядов на соответствующей частоте. Получено, что наиболее тесные связи существуют между стоком наносов и стоком воды на частотах, которые соответствуют периодическим колебаниям 2, 6, 11 лет, но при этом связи с характеристиками максимального стока более выражены.

Проведенные исследования показывают, что наиболее часто повторяющейся является периодичность в 11 лет. Выявляемые периодичности в 27-30 лет обусловлены ограниченной длиной исследуемых рядов и при удлинении они не обнаруживаются. На базе метода “гусеница” были смоделированы гармоник, отражающие вклад заданной периодичности в колебания стока воды и наносов. Показано существование синхронности и синфазности в колебаниях 11 летних гармоник годового стока, максимального и стока наносов и соответствие наибольших амплитуд наиболее высоким значениям чисел Вольфа. Подобные свойства не обнаружены в гармониках других периодичностей.

Установлено влияние Арктической осцилляции и Северо-Атлантической осцилляции на формирование годового, максимального и стока наносов. Наиболее высокие значения коэффициентов корреляции 0,26-0,38 получены для среднегодового стока. Применение спектрального анализа к индексам САО и АО не позволяет однозначно (как и в ряде других работ [224; 225; 226; 236]) установить периодичность САО и АО. Эти осцилляции имеют меняющуюся периодичность наиболее вероятные значения для САО 8 и 18 лет, для АО 2,5 и 3,8 лет.

Статистически значимого влияния Южной осцилляции на сток рек исследуемой территории не выявлено.

7 РАСЧЕТ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ

7.1 Расчет стока взвешенных наносов на подольских притоках Днестра

Как упоминалось в разделе 2.2, в одном из методов расчета стока наносов предполагается разработка региональных эмпирических формул связей мутности или характеристик стока взвешенных наносов с основными стокоформирующими факторами, в числе которых главное внимание уделяется расходу воды в реке. В работе Н.Н. Бобровицкой [77] для расчета наносов с водосборов территории среднего Днестра использовалась степенная зависимость модуля стока наносов от среднегодового модуля стока воды. Для рек Украинских Карпат С.Г. Кочубей также предложил степенную зависимость стока наносов от среднего многолетнего расхода воды [81]. Такого же рода зависимости широко используются в мировой практике [93, 94, 95, 107] при этом в качестве предиктора привлекаются данные как по среднему годовому $Q_{\text{ср}}$, так и максимальному расходу $Q_{\text{макс}}$ [101, 102]. В работе [109] исследовались 32 реки Колумбии площадью от 320 до 59 600 км² при помощи факторного анализа. Установлено, что первые два фактора описывают не менее 58 % дисперсии исходной информации по стоку наносов. Физическая интерпретация этих факторов состоит в том, что основными причинами формирования стока наносов являются процессы, связанные с общей водностью реки (среднегодовой сток) и ее максимальным стоком. О существовании значимых корреляций наносов с максимальным расходом уже упоминалось в разделах 6.2, 6.3, 6.4.

На первом этапе, используя регрессионный анализ, авторы исследовали связи расхода наносов – R как непосредственно с характеристиками $Q_{\text{макс}}$ и $Q_{\text{ср}}$, так и с параметрами, представляющими собой комбинацию указанных характеристик и отражающих их совместное влияние. Для расширения поиска в качестве дополнительного предиктора использовался максимальный из среднемесячных расходов за соответствующий год – $Q_{\text{макс.мес}}$. В ходе исследований территория Подолы была разбита на кластеры в соответствии с рис. 5.2 Западно-Подольский (Западно-Подольская область, а также Расточье и Ополе), Восточно-Подольский (Приднестровско-Подольская лесостепная и Северо-Подольская области), а временной период был представлен по фазам стока наносов в соответствии с рекомендациями, описанными в разделе 3.1.

Поскольку использовались не только линейные уравнения, то тесноту связи необходимо оценивать коэффициентом детерминации, обозначенным как - η^2 (показывает какую долю дисперсии предиктанта описывает уравнение регрессии [238]) или корреляционным отношением - η (индексом корреляции).

Теоретическое корреляционное отношение определяется по формуле:

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{\sigma_{\text{ост}}^2}{\sigma^2}} = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{регр}}^2}{\sigma^2}}, \quad (7.1)$$

где $\sigma_{\text{регр}}$ – дисперсия выровненных значений результативного признака, т.е. рассчитанных по уравнению регрессии; σ – дисперсия

эмпирических (фактических) значений результативного признака; $\sigma_{\text{ост}}$ – остаточная дисперсия. Результаты оценки тесноты связи представлены в табл. 7.1, 7.2.

Полученные данные позволили установить, что результаты оказались сходными для обоих кластеров. Как правило, связи расходов наносов - R с максимальным стоком более тесные, чем с годовым. Наиболее эффективным является использование индекса $Q_{\text{ср}} \cdot Q_{\text{макс}}$. Теснота связей наносов с максимальным стоком в период 1983-2010 гг. меньше, чем в период 1963-1982 гг., что обусловлено снижением максимальных расходов воды в период глобального потепления, которое усиливает последствия антропогенного воздействия (см. раздел 2.3).

Малые корреляционные отношения для р. Мукша – с. Малая Слободка объясняются значительной зарегулированностью стока и влиянием сброса вод предприятиями г. Каменец-Подольский [51].

Для Восточно-Подольского кластера (рис. 5.2) за период 1950-1982 гг., относящегося положительной фазе колебаний стока наносов (рис. 3.27, 3.29), получено регрессионное уравнение вида

$$R_{i \text{ ср}} = 0,005 \cdot Q_{i \text{ ср}} \cdot Q_{i \text{ макс}}, \quad (7.2)$$

где $R_{i \text{ ср}}$ – среднегодовой расход наносов (кг/с), $Q_{i \text{ ср}}$ – среднегодовой расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$), $Q_{i \text{ макс}}$ – максимальный за год расход воды в реке ($\text{м}^3/\text{с}$).

Для отрицательной фазы в колебаниях стока наносов (1983-2010 гг.) разработана степенная зависимость вида

$$R_{i \text{ ср}} = 0,0256 \cdot (Q_{i \text{ ср}} * Q_{i \text{ макс}})^{0,47}. \quad (7.3)$$

Для Западно-Подольского кластера (рис. 5.2) получены следующие зависимости:

в положительную фазу стока наносов (1950-1982 гг.)

$$R_{i \text{ ср}} = 0,0014 \cdot Q_{i \text{ ср}} \cdot Q_{i \text{ макс}}, \quad (7.4)$$

в отрицательную

$$R_{i \text{ ср}} = 0,0224 \cdot (Q_{i \text{ ср}} \cdot Q_{i \text{ макс}})^{0,55} \quad (7.5)$$

Таблица 7.1 – Корреляционные отношения стока наносов Западно-Подольского кластера с показателями водности рек

Река Пункт	Период	$Q_{\text{макс}}$	$Q_{\text{ср}}$	$Q_{\text{макс мес}}$	$Q_{\text{ср}} + Q_{\text{макс}}$	$Q_{\text{ср}} \cdot Q_{\text{макс}}$	$Q_{\text{ср}}^2 \cdot Q_{\text{макс}}$	$Q_{\text{ср}}^2 + Q_{\text{макс}}$
Гнилая Липа – с. Большовцы	1963-1982	0,42		0,53	0,45	0,51	0,57	0,52
	1983-1998		0,64	0,74	0,47	0,62	0,65	0,61
	Весь период	0,35	0,51	0,70	0,39	0,50	0,54	0,55
Золотая Липа - г. Бережаны	1963- 1982 гг.	0,91	0,57	0,84	0,91	0,91	0,85	0,87
	1983-2010 гг.					0,38		
	Весь период	0,71	0,44	0,61	0,73	0,76	0,70	0,71
Серет – г. Чертков	1950-1982 гг.	0,90	0,61	0,88	0,91	0,97	0,97	0,88
	1983-2010 гг.	0,60	0,51	0,48	0,63	0,72	0,73	0,65
	Весь период	0,87	0,53	0,83	0,89	0,95	0,95	0,82
Коропец – с. Коропец	1965-1982 гг.		0,55	0,56		0,70	0,80	0,55
	1983-2010 гг.	0,55			0,55	0,42		0,51
	Весь период	0,45	0,42		0,47	0,63	0,71	0,54
Средний по кластеру		0,60	0,48	0,54	0,62	0,72	0,72	0,66
Средний до 1982 г.		0,65	0,51	0,70	0,67	0,78	0,79	0,71
Средний 1983-2010 гг.		0,50	0,29	0,30	0,50	0,52	0,49	0,51

Пробелы в таблице означают, что связь статистически незначима.

Таблица 7.2 – Корреляционные отношения стока наносов рек Восточно-Подольского кластера с показателями стока

Река Пункт	Период	$Q_{\text{макс}}$	$Q_{\text{ср}}$	$Q_{\text{макс мес}}$	$Q_{\text{ср}} + Q_{\text{макс}}$	$Q_{\text{ср}} \cdot Q_{\text{макс}}$	$Q_{\text{ср}}^2 \cdot Q_{\text{макс}}$	$Q_{\text{ср}}^2 + Q_{\text{макс}}$
Жванчик – с. Ластовцы	1965-1982	0,50		0,83	0,51	0,63	0,74	0,52
	1983-2010	0,73	0,57	0,58	0,75	0,74	0,70	0,76
	Весь период	0,54		0,63	0,54	0,62	0,68	0,55
Збруч – с. Завалье	1965-1982	0,95		0,83	0,94	0,90	0,84	0,45
	1983-2010	0,50			0,44			
	Весь период	0,77		0,57	0,75	0,76	0,67	
Смотрич – с. Купин	1955-1982	0,74	0,43	0,72	0,74	0,73	0,67	0,75
	1983-2010	0,67			0,66	0,50		0,57
	Весь период	0,78	0,45	0,76	0,71	0,78	0,76	0,79
Мукша – с. Малая Слободка	1954-1982	0,48			0,49	0,58	0,54	0,49
	Весь период	0,56			0,56	0,62	0,57	0,56
Лядова – с. Жеребиловка	1965-1982	0,91		0,54	0,91	0,90	0,90	0,90
	1983-2010		0,38	0,55				
	Весь период	0,81	0,55	0,65	0,81	0,86	0,86	0,81
Средний по кластеру за весь период		0,68	0,30	0,56	0,67	0,73	0,71	0,59
Средний до 1982 г.		0,72	0,30	0,62	0,72	0,75	0,74	0,62
Средний 1983-2010 гг.		0,48	0,24	0,25	0,43	0,46	0,22	0,29

Пробелы в таблице означают, что связь статистически незначима.

Значения корреляционных отношений для приведенных уравнений в табл. 7.3.

Таблица 7.3 – Значения корреляционных отношений для приведенных уравнений и их оценка по шкале Чеддока.

Уравнения	Корреляционное отношение	Оценка
7.2	0,85	Сильная
7.3	0,78	Сильная
7.4	0,69	Заметная
7.5	0,86	Сильная

На втором этапе разрабатывались региональные расчетные уравнения для определения модуля стока наносов неизученных рек. Для построения их использовался метод множественной линейной регрессии с пошаговым набором предикторов.

Список потенциальных предикторов, которые могут влиять на сток наносов, формировался, исходя из литературных данных. В него вошли: среднегодовой модуль стока – $M_{\text{ср}}(\text{л/с} \cdot \text{км}^2)$, модуль максимального стока – $M_{\text{макс}}(\text{л/с} \cdot \text{км}^2)$, показатель внутригодовой неравномерности стока – $H_{\text{год}} = M_{\text{макс}}/M_{\text{ср}}$ расходный параметр – $M_{\text{ср}} \cdot M_{\text{макс}}$, площадь бассейна реки – $F_{\text{бас}}(\text{км}^2)$, площадь водоема – $S_{\text{вод}}(\text{км}^2)$, средняя высота водосбора – $H_{\text{вс}}(\text{м})$, средний уклон реки – $I_{\text{р}}(\text{‰})$, глубина речной долины – $h_{\text{рд}}(\text{м})$, коэффициент извилистости реки – $K_{\text{изв}}$, доля подземного стока $K_{\text{подз}}(\%)$, проценты лесистости водосбора – $K_{\text{лес}}(\%)$, распаханности – $K_{\text{рп}}(\%)$, заболоченности – $K_{\text{заб}}(\%)$, логарифмы величин выраженных в % – $\ln(K_{\text{подз}})$, $\ln(K_{\text{лес}})$, $\ln(K_{\text{рп}})$, $\ln(K_{\text{заб}})$ и порядок реки в замыкающем створе – Π .

Порядок реки определялся по методике, предложенной Р.Е. Хортоном [241] и применялся С.В. Мельником для установления связи ряда параметров со стоком наносов [116, 119]. Доля подземного стока представлена в табл. 3.7.

Кроме упомянутых предикторов определяющих сток наносов, в замыкающем створе на них оказывают также влияние водохранилища и небольшие водоемы, расположенные выше по течению (рис. 7.1), в которых оседает значительная часть естественных наносов. Изучая это явление Г.И. Швебс [75] отметил, что водохранилища на больших реках в 2-2,5 раза могут

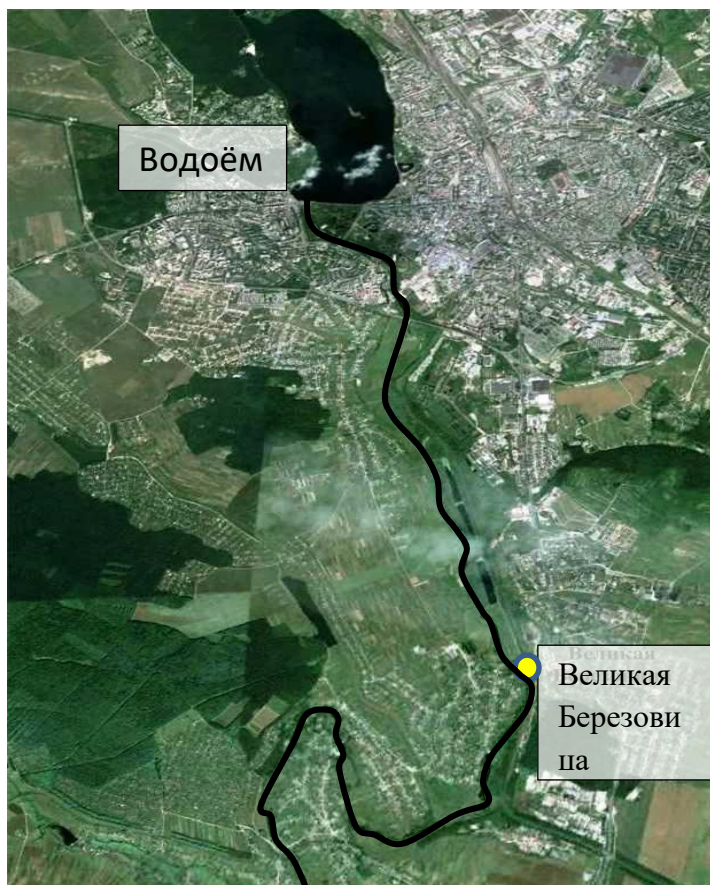


Рисунок 7.1 – Расположение поста наблюдений у с. Великая Березовица на р. Серет и водоема перед ним

уменьшать сток наносов на расстоянии до 20 км. Расстояние, на котором происходит восстановление естественного стока наносов, зависит от уклона реки. Чем больше уклон, тем больше для восстановления требуется расстояние.

По данным [117] в бассейнах таких рек Подолии как Гнилая Липа (длина 84 км) находится 103 водоема, Золотая Липа – 46 водоемов, Коропец – 28, Серет – 55. Изложенное показывает необходимость учета такого антропогенного фактора как искусственные водоемы в расчетах стока наносов. В качестве количественного показателя их влияния использовался предиктор, указывающий на расстояние от рассматриваемого створа до

ближайшего (расположенного выше по течению) пруда или водохранилища (рис. 7.2). Этот предиктор был предложен С.В. Мельником в работах [242].

Наличие водоемов выше створа наблюдений, расстояние до них и площадь водной поверхности водоема, а также глубина речной долины определялись по картам масштаба 1:100000, а затем уточнялись с помощью сервиса GoogleEarth. Учитывались все водоемы, поскольку даже самые малые из них способны оказывать существенное влияние на количество наносов в реке ниже по течению. Остальные данные были взяты из справочника [5].



Рисунок 7.2 – Плотина и запруды на р. Коропец (11 км выше поста)

В условиях поиска оптимальных предикторов происходит анализ коэффициентов парной и множественной корреляции, соотношений регрессионной и остаточной дисперсии получаемых уравнений регрессии, анализ частных коэффициентов корреляции [191, 238, 243].

Полученные уравнения множественной линейной регрессии для модуля стока наносов имеют вид: Восточно-Подольский кластер
период 1953-1982 гг. (положительная фаза стока наносов)

$$M_R^п = 254 \cdot \ln(K_{\text{подз}}) + 1,46 \cdot L + 0,67 \cdot M_{\text{макс}} - 1057, \quad (7.6)$$

период 1983-2010 гг. (отрицательная фаза стока наносов)

$$M_R^{\text{отр}} = 6,3030 \cdot \ln(K_{\text{подз}}) - 0,107 \cdot L - 0,06 \cdot H_{\text{вс}} + 0,367, \quad (7.7)$$

Уравнения множественной линейной регрессии для Западно-Подольского кластера имеют вид: период 1953-1982 гг.

$$M_R^п = -425,5 \cdot \ln(K_{\text{подз}}) + 0,207 \cdot M_{\text{макс}} \cdot M_{\text{ср}} + 1,073 \cdot H_{\text{вс}} + 1393, \quad (7.8)$$

период 1983-2010 гг.

$$M_R^{\text{отр}} = -39,39 \cdot \ln(K_{\text{подз}}) + 0,515 \cdot L + 0,252 \cdot H_{\text{вс}} + 83,46. \quad (7.9)$$

При рассмотрении водосборов всех левых притоков Днестра как единого пространства (объединении Восточно- и Западно-Подольских кластеров) получаются уравнения:

- для периода 1953-1982 гг.

$$M_R^{\text{п}} = 120,1 \cdot \ln(K_{\text{подз}}) + 1,595 \cdot L + 0,03 \cdot M_{\text{ср}} \cdot M_{\text{макс}} - 491, (7.10)$$

- для периода 1983-2010 гг.

$$M_R^{\text{отр}} = 33,6 \cdot \ln(K_{\text{подз}}) + 0,461 \cdot L + 0,061 \cdot H_{\text{вс}} + 0,091 \cdot M_{\text{ср}} \cdot M_{\text{макс}} - 170, (7.11)$$

где $M_R^{\text{п}}$, $M_R^{\text{отр}}$ – модули среднегодового стока наносов в положительную и отрицательную фазы, соответственно (т/км²); $K_{\text{подз}}$ – доля подземного стока от годового стока воды (%); L – расстояние до ближайшего водоема, расположенного выше по течению (км); $M_{\text{ср}}$ – модуль среднегодового стока воды (л/с·км²); $M_{\text{макс}}$ – модуль максимального стока воды (л/с·км²); $H_{\text{вс}}$ – средняя высота водосбора (м).

Таблица 7.4 – Значения корреляционных отношений для приведенных уравнений и их оценка по шкале Чеддока.

Уравнения	Корреляционное отношение	Оценка
7.6	0,85	Сильная
7.7	0,86	Сильная
7.8	0,96	Очень сильная
7.9	0,98	Очень сильная
7.10	0,84	Сильная
7.11	0,94	Очень сильная

Уравнения (7.6-7.7) справедливы для территории Восточно-Подольского кластера, в следующем диапазоне изменения выбранных предикторов: доля подземного стока $K_{\text{подз}}$ – 50-76 %, расстояние до ближайшего, выше по течению, водохранилища L – 11-37 (км); модуль максимального стока $M_{\text{макс}}$ – 13-67 (л/с·км²); средняя высота водосбора $H_{\text{вс}}$ – 280-320 (м).

Уравнения (7.8-7.9) справедливы для территории Западно-Подольского кластера в следующем диапазоне изменения выбранных предикторов: $K_{\text{подз}}$ – 63-72 %, L – 1-47 (км); $M_{\text{макс}}$ – 14-85 (л/с·км²); $M_{\text{ср}}$ – 4-7 (л/с·км²); средняя высота водосбора $H_{\text{вс}}$ – 320-370 (м).

Полученные результаты показывают, что показатели подземного стока – $K_{\text{подз}}$ присутствуют во всех уравнениях, а расстояния до ближайшего (выше по течению) водоема – L почти во всех. Следовательно, эти показатели

являются самыми устойчивыми при расчетах стока наносов Подолии. В период положительной фазы колебаний стока наносов и в западной и восточной частях Подолии, кроме перечисленных, важное значение приобретают показатели водности. В период отрицательной фазы основными показателями становятся значения средней высоты водосбора. В уравнениях формирования стока наносов для объединенных кластеров, выделенные факторы сохраняются.

В качестве примера приведем расчет стока наносов на р. Ушица – с. Тимков, на котором отсутствуют данные наблюдений за стоком наносов. Река и пост наблюдения находятся в Восточно-Подольском кластере соответственно нужно использовать уравнения 7.6 и 7.7.

Для периода 1953-1982 гг. модуль стока наносов составил

$$M_R^H = 254 \cdot \ln(60) + 1,46 \cdot 4,5 + 0,67 \cdot 52,4 - 1057 = 24,7 \text{ т/км}^2;$$

для периода 1983-2010 гг.

$$M_R^{\text{отр}} = 6,303 \cdot \ln(80) - 0,107 \cdot 4,5 - 0,06 \cdot 290 + 0,367 = 9,9 \text{ т/км}^2.$$

7.2 Расчет стока взвешенных наносов на Карпатских притоках Днестра и главной реке (Днестр)

Согласно предыдущим исследованиям территорию Карпатских притоков Днестра можно представить, как единый кластер (в соответствии с рис. 5.2). Временной период не разбивался по фазам колебаний, поскольку для наносов он не одинаковый для всех рассматриваемых рек. Подтверждением этому являются графики, представленные на рис. 4.18, 4.19 и 7.3. На реках Карпат на которых ведутся наблюдения за стоком наносов с площадью водосбора более 1000 км², (Стрый, Свича, Ломница) фазы стока наносов практически соответствуют фазам стока воды (рис. 4.7, 4.19). На других реках с меньшей площадью водосбора такие закономерности не были выявлены.

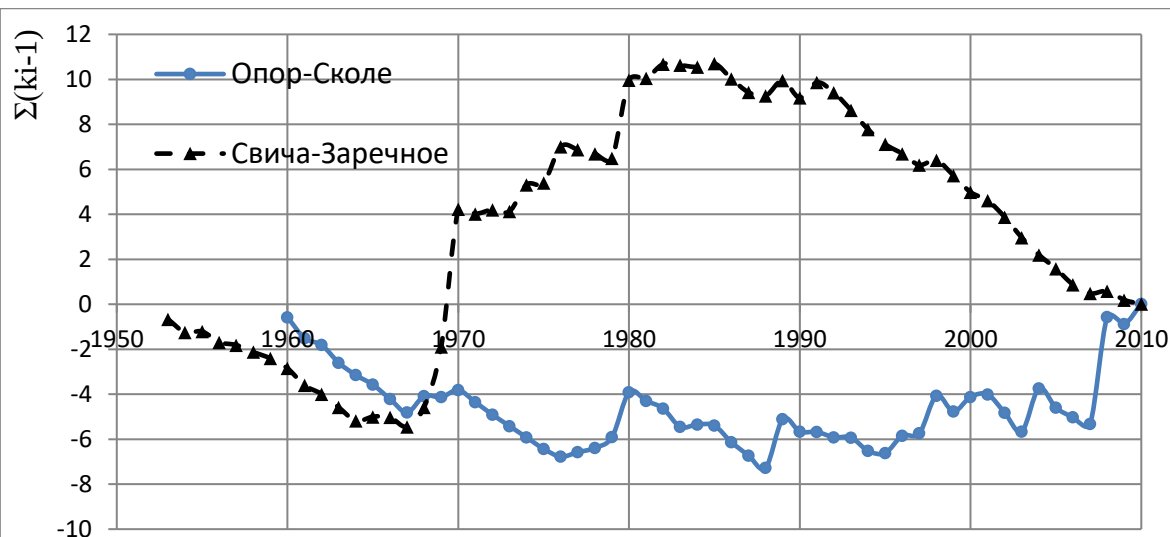


Рисунок 7.3 – Разностные интегральные кривые стока наносов р.Опор - г. Сколе и р. Свича - с. Заречное.

На первом этапе, как и для рек Подолии, определялись корреляционные отношения стока наносов с параметрами водности, такими как $Q_{i \text{ макс}}$, $Q_{i \text{ ср}}$ и с величинами, представляющими собой комбинацию указанных характеристик (табл.7.5).

Полученные результаты позволили установить, что связи стока наносов с максимальным стоком более тесные, чем с годовым. Наиболее эффективным является использование индекса $Q_{i \text{ ср}} \cdot Q_{i \text{ макс}}$.

На основе использования осредненных по годам значений стока наносов и воды различных Карпатских рек было получено следующее обобщенное уравнение

$$R_{i \text{ ср}} = 0,0127 \cdot (Q_{i \text{ ср}} \cdot Q_{i \text{ макс}})^{0,603}, \quad (7.12)$$

где $R_{i \text{ ср}}$ – среднегодовой расход наносов (кг/с), $Q_{i \text{ ср}}$ – среднегодовой расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$), $Q_{i \text{ макс}}$ – максимальный за год расход воды в реке ($\text{м}^3/\text{с}$).

Корреляционное отношение для данного уравнения равно 0,84, что по шкале Чеддока соответствует «сильной» связи.

С помощью этого уравнения можно определять среднегодовые показатели стока наносов на Карпатских притоках Днестра, на которых измерялись расходы воды, но не определялся расход наносов (например, р.Рыбник – с. Майдан, р. Чечва – с. Спас, р. Ворона – г. Тысьменица и др.).

Для примера приведем расчет годовых показателей стока наносов для р. Чечва – с. Спас (табл. 7. 6). Наблюдения за стоком наносов на этой реке не проводились, а по стоку воды имеются наблюдения за период 1956-2010 гг. в.

Таблица 7.5 – Корреляционные отношения стока наносов Карпатских притоков с показателями водности

Река – Пункт	$Q_{i \text{ макс}}$	$Q_{i \text{ ср}}$	$Q_{i \text{ макс мес}}$	$Q_{i \text{ ср}} + Q_{i \text{ макс}}$	$Q_{\text{ср}} \cdot Q_{\text{макс}}$	$Q_{i \text{ ср}}^2 \cdot Q_{i \text{ макс}}$	$Q_{i \text{ ср}}^2 + Q_{i \text{ макс}}$
Быстрица – с. Озимица	0,52	0,67	0,60	0,52	0,62	0,64	0,53
Стрый – с. Завадовка	0,57	0,52	0,63	0,57	0,62	0,64	0,64
Стрый – пгт Верхнее Синевидное	0,55	0,55	0,50	0,56	0,72	0,78	0,67
Опор – г. Сколе	0,72	0,44	0,29	0,73	0,72	0,65	0,73
Головчанка – с. Тухля	0,32			0,32	0,29		0,30
Орава – х. Святослав	0,58	0,85	0,53	0,85	0,87	0,85	0,86
Свича – с. Заречное	0,49		0,45	0,49	0,36		0,36
Лужанка – с. Гошев	0,61	0,63	0,84	0,61	0,74	0,78	0,62
Сукель – с. Тисов	0,62	0,54	0,53	0,62	0,68	0,70	0,63
Ломница – с. Перевозец	0,56	0,54	0,33	0,56	0,62	0,63	0,62
Быстрица Надворнянская – с. Пасечна	0,58		0,47	0,58	0,50	0,41	0,51
Среднее	0,556	0,466	0,476	0,583	0,614	0,594	0,588

Таблица 7.6 – Результаты расчета стока наносов р. Чечва - с. Спас по показателям водности

Год	$Q_{i\text{ ср}},$ м ³ /с	$Q_{\text{макс}},$ м ³ /с	R, кг/с	Год	$Q_{i\text{ ср}},$ м ³ /с	$Q_{\text{макс}},$ м ³ /с	R, кг/с
1956	2,92	46,6	0,246	1984	3,64	107	0,463
1957	3,93	140	0,571	1985	4,65	102	0,522
1958	5,09	107	0,567	1986	2,56	43,9	0,219
1959	3,69	275	0,825	1987	3,59	36	0,238
1960	4,19	187	0,706	1988	5,3	114	0,604
1961	2,19	46,1	0,205	1989	6,27	129	0,720
1962	4,88	82,6	0,473	1990	2,45	18,3	0,126
1963	2,38	34,2	0,180	1991	7,18	261	1,195
1964	6,48	220	1,013	1992	2,27	163	0,449
1965	6,36	192	0,923	1993	3,15	112	0,436
1966	4,41	64,3	0,383	1994	2,81	83,2	0,341
1967	4,81	82,7	0,469	1995	4,47	54	0,347
1968	6,34	283	1,164	1996	8,04	139	0,875
1969	5,19	444	1,353	1997	7,91	68,1	0,563
1970	7,16	229	1,102	1998	7,71	259	1,241
1971	4,4	93,2	0,478	1999	6,4	86	0,571
1972	4,35	105	0,510	2000	3,11	42,3	0,241
1973	4,94	146	0,672	2001	7,75	110	0,743
1974	6,55	457	1,585	2002	7,44	96	0,668
1975	7,89	252	1,238	2003	3,31	44,1	0,256
1976	5,9	121	0,668	2004	5	121	0,604
1977	5,52	164	0,770	2005	4,67	140	0,633
1978	6,26	97,6	0,608	2006	3,93	70,2	0,376
1979	4,26	75,9	0,414	2007	4,25	434	1,183
1980	9,42	221	1,273	2008	6,04	411	1,416
1981	5,63	118	0,639	2009	3,69	36,8	0,245
1982	4,73	264	0,935	2010	5,13	242	0,932
1983	4,51	94,3	0,489				

Среднее значение стока наносов за расчетный период равно 0,67 кг/с. В пересчете на модуль стока получаем 79 т/км².

В фазах стока наносов главной реки (Днестр) (рис. 4.28) можно выделить три периода. Две отрицательные фазы 1950-1966 гг., 1983-2010 гг. и одну положительную 1967-1982 гг. Корреляционные отношения между стоком наносов и показателями водности рассчитывались за каждую фазу и в целом за весь период наблюдений (табл. 7.7). Для водосборов с началом наблюдений

позже 1950 г. данные о корреляционных отношениях за 1950-1966 гг. не приводились.

Полученные результаты позволили установить, что практически на всем исследуемом участке Днестра связи стока наносов со среднегодовым стоком более тесные, чем с максимальным. По-прежнему, наиболее целесообразным в расчетах стока наносов является использование показателя водности в виде $Q_{i\text{ ср}} \cdot Q_{i\text{ макс}}$, корреляционное отношение которого со стоком наносов R по отдельным рекам превышает значение 0,8.

На втором этапе для определения модуля стока наносов горных притоков Днестра за многолетний период использовалась модель множественной линейной регрессии с пошаговым выбором предикторов.

Первоначальный набор предикторов такой же, как в разделе 7.1. Численные значения предикторов для Карпатских притоков позволяют исключить из общего списка те, которые связаны с показателями влияния водохранилищ (расстояние от поста до ближайшего выше по течению водоема, площадь водоема и т. д.), поскольку количество регулирующих водохранилищ очень мало. Исключение составляет небольшой левый приток (без названия), впадающий в р. Быстрица, на котором расположен каскад водоемов (рис. 7.4). Площадь водосбора этого притока составляет около 6 % общей площади водосбора р. Быстрица до с. Озимина, поэтому влиянием этих водоемов можно пренебречь.

Таблица 7.7 – Корреляционные отношения стока наносов Днестра с показателями водности

Пункт	Период	$Q_{\text{макс}}$	$Q_{\text{ср}}$	$Q_{\text{макс мес}}$	$Q_{\text{ср}} + Q_{\text{макс}}$	$Q_{\text{ср}} \cdot Q_{\text{макс}}$	$Q_{\text{ср}}^2 \cdot Q_{\text{макс}}$	$Q_{\text{ср}}^2 + Q_{\text{макс}}$
с. Стрелки	1967-1981 гг.	0,65	0,76	0,54	0,65	0,71	0,73	0,69
	1982-2010 гг.		0,52	0,59		0,37	0,42	0,36
	Весь период	0,39	0,61	0,62	0,40	0,47	0,53	0,44
г. Самбор	1950- 1966 гг.	0,71	0,79	0,72	0,71	0,65	0,77	0,72
	1967-1981 гг.	0,69	0,57	0,70	0,64	0,57	0,69	0,70
	1982-2010 гг.	0,62	0,60	0,63	0,68	0,70	0,70	0,63
	Весь период	0,54	0,65	0,71	0,54	0,60	0,60	0,63
пгт Роздол	1967-1981 гг.	0,62	0,81	0,49	0,66	0,75	0,76	0,81
	1982-2010 гг.	0,49		0,46	0,50	0,46	0,40	
	Весь период	0,37	0,58	0,52	0,40	0,51	0,55	0,58
С. Журавно	1982-2010 гг.	0,53	0,54	0,38	0,53	0,55	0,57	0,63
Г. Галич	1950- 1966 гг.	0,61	0,71	0,63	0,64	0,80	0,87	0,80
	1967-1981 гг.	0,53	0,73	0,56	0,54	0,66	0,70	0,73
	1982-2010 гг.	0,75	0,70	0,45	0,76	0,78	0,77	0,72
	Весь период	0,65	0,73	0,45	0,66	0,72	0,73	0,76
Г. Залещики	1950- 1966 гг.	0,86	0,91	0,73	0,89	0,97	0,96	0,93
	1967-1981 гг.	0,88	0,78	0,94	0,89	0,93	0,88	0,76
	1982-2010 гг.	0,78	0,71	0,62	0,78	0,81	0,80	0,73
	Весь период	0,78	0,77	0,76	0,79	0,83	0,81	0,78
С. Жванец	1967-1981 гг.	0,89	0,74	0,85	0,89	0,95	0,93	0,75
Средний за 1950-1966 гг.		0,73	0,80	0,69	0,75	0,80	0,85	0,81
Средний за 1967-1982 гг		0,71	0,73	0,68	0,71	0,76	0,77	0,74
Средний за 1982-2010 гг.		0,60	0,61	0,53	0,61	0,63	0,64	0,61
Средний за весь период		0,59	0,65	0,61	0,60	0,66	0,66	0,65



Рисунок 7.4 – Каскад водоемов на притоке р. Быстрица

Таблица 7.8 – Последовательность оптимального набора предикторов при построении уравнений множественной линейной регрессии

Шаг	Предиктор	Рост величин множественной корреляции – r_{mn} при добавлении предикторов	$F/F_{крит}$
1	Средняя высота водосбора	0,42	1,84
2	Логарифм доли подземного стока	0,51	1,05
3	Произведение модуля среднего стока на модуль максимального	0,66	2,12
4	Средний уклон водосбора	0,76	2,02
5	Глубина речной долины	0,84	1,18

$F/F_{крит}$ – отношение текущего значения критерия Фишера к критическому.

Полученное уравнение линейной множественной регрессии для расчета модуля стока наносов рек Карпатских притоков имеет вид:

$$M_R = 388,2 - 0,149N_{вс} - 64,53 \ln(K_{Подз}) + 0,0091M_{ср} \cdot M_{макс} - 3,40I_p + 0,159N_{рд}, \quad r_{mn} = 0,84 \quad (7.13)$$

где $H_{\text{вс}}$ - средняя высота водосбора (м), $K_{\text{подз}}$ – доля подземного стока, $M_{\text{ср}}$ - среднегодовой модуль стока (л/с*км²), $M_{\text{макс}}$ - модуль максимального стока (л/с*км²), $I_{\text{р}}$ - средний уклон реки (‰), $H_{\text{рд}}$ - глубина речной долины (м).

В качестве примера использования данного уравнения рассмотрим р. Чечва – с. Спас. Особенностью этой реки является наличие водоема, но он расположен в 10 км ниже поста наблюдений, поэтому его влияние не учитывается. Средняя высота водосбора рассматриваемой реки составляет – 820 м; доля подземного стока – 33 % (табл.4.6); среднее, за указанный период, значение модуля среднегодового стока – 18,5 л/с с км²; среднее, за указанный период, значение модуля максимального стока – 543 л/с с км²; средний уклон водосбора – 12,6 ‰; глубина речной долины – 40 м.

Среднегодовой модуль стока:

$$M_R = 388,2 - 0,149 \cdot 820 - 64,53 \ln(33) + 0,0091(18,5 \cdot 543) - 3,40 \cdot 12,6 + 0,159 \cdot 40 = 95,3 \text{ т/км}^2.$$

При сравнении рассчитанных, по (7.12) и (7.13) значений модуля стока наносов получено расхождение в 17 %. Эту величину можно считать допустимой, поскольку точность данных по стоку наносов, при наличии наблюдений, не превосходит 20 % [5, 81, 113].

7.3 Учет влияния Солнечной активности на сток наносов

7.3.1 Аналитический обзор работ по влиянию Солнечной активности на сток рек

Исследования влияния солнечной активности на сток рек в последнее время приобретает все большую актуальность. С одной стороны, этому способствует увеличение продолжительности наблюдений на крупных реках, с другой, все больше появляется новых сведений о сложных процессах взаимодействия Солнца и Земли [244, 245, 246]. Наиболее известной характеристикой активности Солнца являются числа Вольфа, названные по имени исследователя Р. Вольфа, который в 1849г. ввел индекс относительных чисел солнечных пятен и сумел по различным материалам наблюдений астрономов-любителей и профессионалов восстановить его с 1749 г. Интервалы времени между годами максимальных (или минимальных) значений чисел Вольфа в среднем составляют около 11 лет, но в действительности они могут сильно различаться. Известно, что с 1749 г. до наших дней продолжительность этих интервалов изменялась от 7 до 17 лет при изучении максимумов и от 9 до 14 лет между при изучении минимумов. Методики анализа и прогноза по 11 -летнему циклу приводят к ошибкам прогнозирования прохождения максимумов солнечной активности равным 3-4 годам [247, 248]. Следует также подчеркнуть, что 11 летние колебания представляют только 8-14 % дисперсии солнечной активности, а главную ее часть (до 65%) составляют вековые циклы продолжительностью около 80 лет [248].

Сопоставление закономерностей колебаний солнечной активности с колебаниями стока рек позволило установить наличие общих статистически значимых колебаний с периодами порядка 9,5-11,2 и 80-90лет, при этом запаздывание водности относительно солнечной активности колеблется от 1,5 до 3-4 лет и зависит от цикла солнечной активности. Для нечетных циклов максимум водности запаздывает относительно минимума солнечной активности на два года, для четных - около трех. При этом структура гистограмм водности для четных и нечетных циклов различна. Эти выводы были получены по результатам расчетов для рек бассейнов Каспийского и Аральского морей, озера Байкал и озера Патскуаро (Мексика) [244].

Особый интерес в этом вопросе приобретают исследования колебаний водности Амура. Поскольку река имеет большую площадь водосбора (около 2 млн. км²), продолжительность наблюдений за стоком превышает 120 лет, и

водосбор характеризуется как незначительно подверженный антропогенным изменениям. М. В. Тростников [249], исследовавший максимальные и средние уровни воды Амура у Хабаровска за 1896–1965 гг. в летне-осенние сезоны, установил, что периоды повышенной и пониженной водности и, соответственно, влажные и сухие летние сезоны в Приамурье чередуются с интервалами, близкими к 10–12 годам. Сопоставляя эти годы со значениями чисел Вольфа, он пришел к выводу, что засушливые летние сезоны устанавливаются при минимумах солнечной активности, а влажные — на восходящих ветвях максимумов. В то же время коэффициенты корреляции между суммами летних осадков и солнечной активностью, рассчитанные по данным гидрологических станций Приамурья (Хабаровск и Благовещенск), не превышают 0,20. Позднее П.В. Новороцкий [250], исследуя сток рек Приамурья за 110 лет уточнил, что в 8 случаях из 13 минимум солнечной активности совпадает с минимумом водности Амура в створе Хабаровск. До 19-го цикла (1954–1964 гг.) минимум водности наблюдался на ветви подъема четных солнечных циклов, а после него — на подъеме нечетных. В годы минимума солнечной активности и ее последующего подъема, как правило, отмечается пониженная водность Амура, в годы максимума отмечается повышенный сток реки. Вековые колебания водности совпадают с вековыми изменениями солнечной активности, все циклы которой с 14-го по 19-й располагаются на вековой ветви возрастания чисел Вольфа, а 19-й является переломным, переходным к эпохе пониженной солнечной активности. Как раз с этим циклом (19-м) совпадает период наибольшей водности Амура (1955–1961 гг.), после которого происходило понижение водности [250].

Аналогичные исследования для реки Припять (в пределах Украины) были проведены С.С. Кутовым [246]. Исследуя 120 летний сток Припяти, автор выделил макроциклы (средней продолжительностью 60 лет), мезоциклы (15 лет) и микроциклы (5 лет). Кроме того, были выделены периоды, которые не входят ни в один из циклов. По мнению автора, таковыми были, например, периоды 1915–1930, 1942–1958, 1972–1983 гг. Проводя графическое сопоставление стока Припяти с числами Вольфа, автор пришел к выводу, что на уровне календарных лет и микроциклов связь стока с солнечной активностью линейна, имеет обратно пропорциональный характер, но слабая (к сожалению, автор не привел коэффициенты корреляции). На уровне макроциклов, мезоциклов и межцикловых периодов колебаний водности связь средних величин речного стока и чисел Вольфа довольно устойчивая [246].

Б.А. Слепцов-Шевлевич еще в 80-х годах прошлого века дал пояснение связи циклов солнечной активности с гидрометеорологическими процессами [251]. По его мнению, “в эпоху максимума четного 11-летнего цикла

пониженному фону атмосферного давления в околополюсной зоне Земли и соответственно полю положительных аномалий температуры воздуха при одновременном повышении давления и понижении температуры воздуха в умеренных и субтропических широтах отвечает усиление повторяемости западно-восточного переноса воздушных масс. В эпоху максимума нечетного цикла, когда давление в околополюсной зоне повышено, а южнее узловой линии барической системы понижено, при соответствующих им аномалиям температуры воздуха, наоборот, отмечается рост повторяемости меридиональных процессов. Противоположная картина наблюдается в географическом распределении, эволюции термобарического поля и изменениях циркуляции атмосферы, если рассматривать его состояние в другие одноименные фазы четных и нечетных 11-летних циклов солнечной активности” [251].

7.3.2 Разработка уравнений по учету влияния Солнечной активности на сток наносов

Для уменьшения отклонений осредненных (за какой то период) расчетных значений стока наносов от фактических годовых предложен коэффициент учета периодической составляющей колебаний стока наносов – $\tilde{K}_w$.

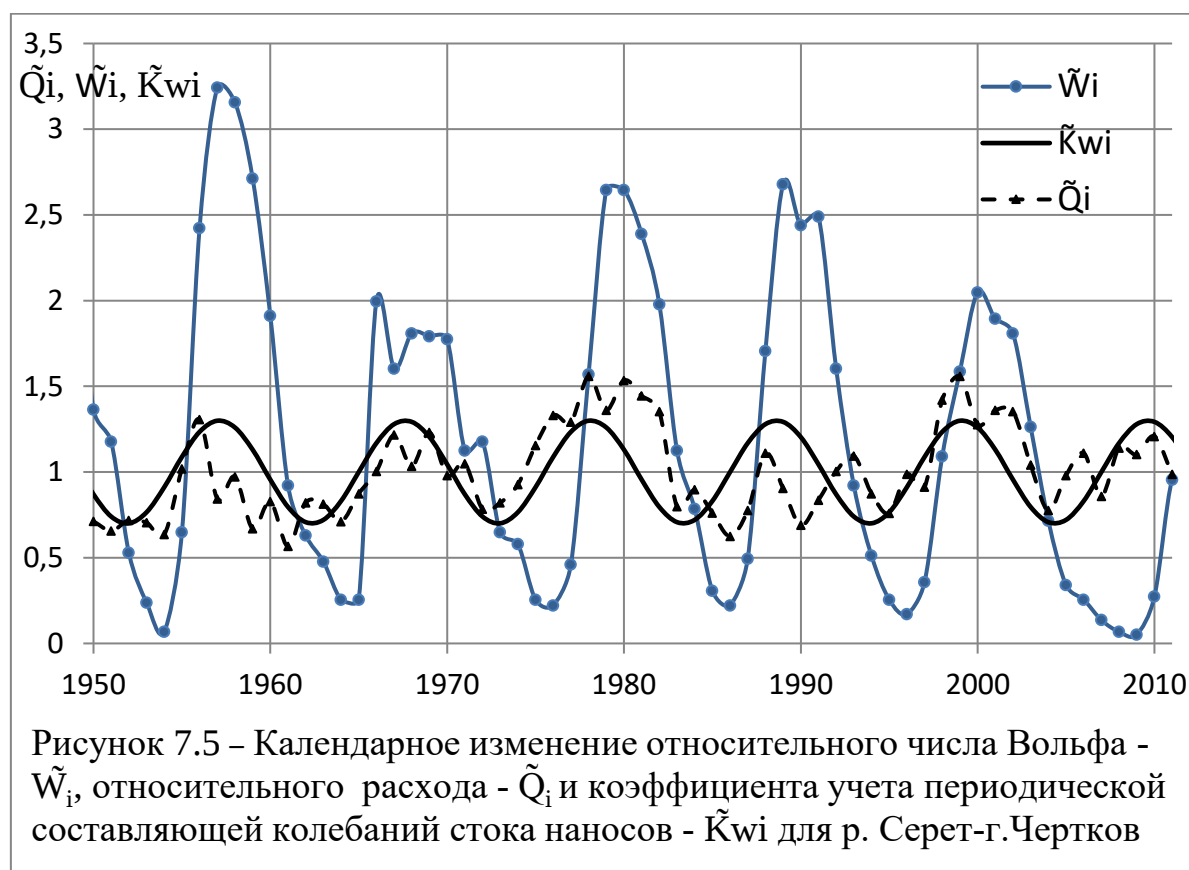
Поскольку по утверждению Б. А. Слепцова-Шевлевича [251] с 19 цикла (по Цюрихской системе отсчета) произошел определенный перелом в гидрометеорологическом проявлении солнечной активности, была выполнена аппроксимация $\tilde{K}_w$ при помощи синусоидальной функции с момента начала 19-го цикла (1954 г). Используя метод тригонометрической аппроксимации получены поправочные коэффициенты, учитывающие периодические составляющие, вызванные изменением солнечной активности. Для сопоставления разных показателей рассчитаны их относительные величины: относительный показатель чисел Вольфа $\tilde{W}_i = W_i / W_{cp}$; относительный расход воды $\tilde{Q}_i = Q_i / Q_{cp}$; где W_i и Q_i - текущие показатели числа Вольфа и расходов за соответствующий год; W_{cp} и Q_{cp} – средние показатели этих величин за период 1950-2012 гг. Аппроксимирующее уравнение имеет вид

$$\tilde{K}_w = C_n \sin \left(2\pi \frac{i+1}{10,5} \right) + 1, \quad (7.14)$$

где $\tilde{K}_w$ – текущее значение коэффициента учета периодической составляющей колебаний стока наносов, C_n – масштабный коэффициент учитывающий амплитуду изменения параметра, i – порядковый номер года после 1945 (начало синусоиды). Масштабный коэффициент вычисляется

методом последовательных приближений для минимизации среднего отклонения $\tilde{K}w_i$ от $\tilde{R}_i$ (см. формулу 7.15). Единица в числителе выражения (7.14) определяется как сдвиг синусоиды параметра относительно синусоиды солнечной активности. Аппроксимация показала, что сдвиг в один год является для параметров бассейна Днестра оптимальным. По мнению многих исследователей [245, 249, 250], максимумы расходов воды в реках достигаются не на максимуме солнечной активности, а на ветках подъема. Лучше всего это можно проиллюстрировать на 19 или 23 солнечном цикле. Подъем солнечной активности 19-го цикла происходил с 1954 г. по 1957 г., а максимум водности приходится на 1956 г. (рис. 7.5). Подъем активности 23 цикла наблюдался в 1996-2000 гг., а максимум водности – в 1999 г.

Единица в конце выражения (7.14) “сдвигает вверх” синусоиду аппроксимации для удобства ее сопоставления с относительными параметрами.



Из рис. 7.5 видно, что максимумы расходов приходятся на ветки подъема 19-го, 21-го, 23-го и 24-го циклов (19-й цикл 1954-1965 гг.) солнечной активности.

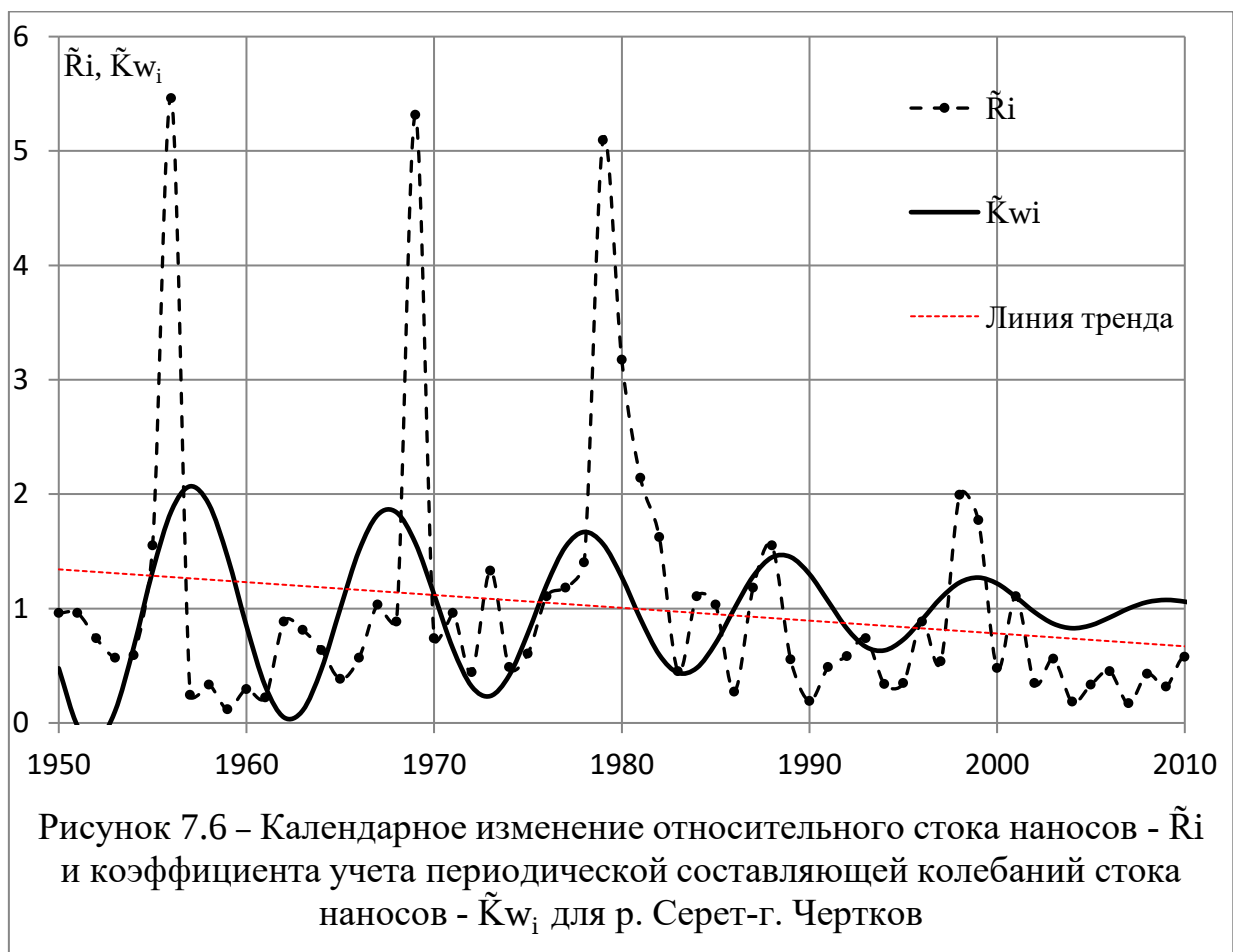
Синусоида в (7.14) может иметь как постоянную амплитуду (рис. 7.5), так и иметь затухающий характер (рис. 7.6). Последнее вызывается

антропогенными изменениями в бассейне, связанными чаще всего с работой водохранилищ. Водоохранилища внутригодового регулирования не существенно влияют на среднегодовой сток воды, но уменьшают количество наносов ниже по течению.

В качестве примера антропогенного влияния рассмотрим сток наносов в створе р. Серет – г.Чертков. На самой реке расположено 55 водоемов, в 18 км выше поста находится водохранилище Скородинской ГЭС. Изменение относительного стока наносов

$$\tilde{R}_i = R_i / R_{\text{ср}} \quad (7.15)$$

на этом посту показано на рис. 7.6.



Учет последствий антропогенного влияния (в виде осаждения части наносов водохранилищами, расположенными выше по течению) был выполнен преобразованием (7.14) путем введения коэффициента затухания k_3 . Коэффициент затухания вычисляется методом последовательных приближений (от 1 до 0) для минимизации среднего отклонения $\tilde{K}_{wi}$ от $\tilde{R}_i$. Полученное уравнение имеет вид

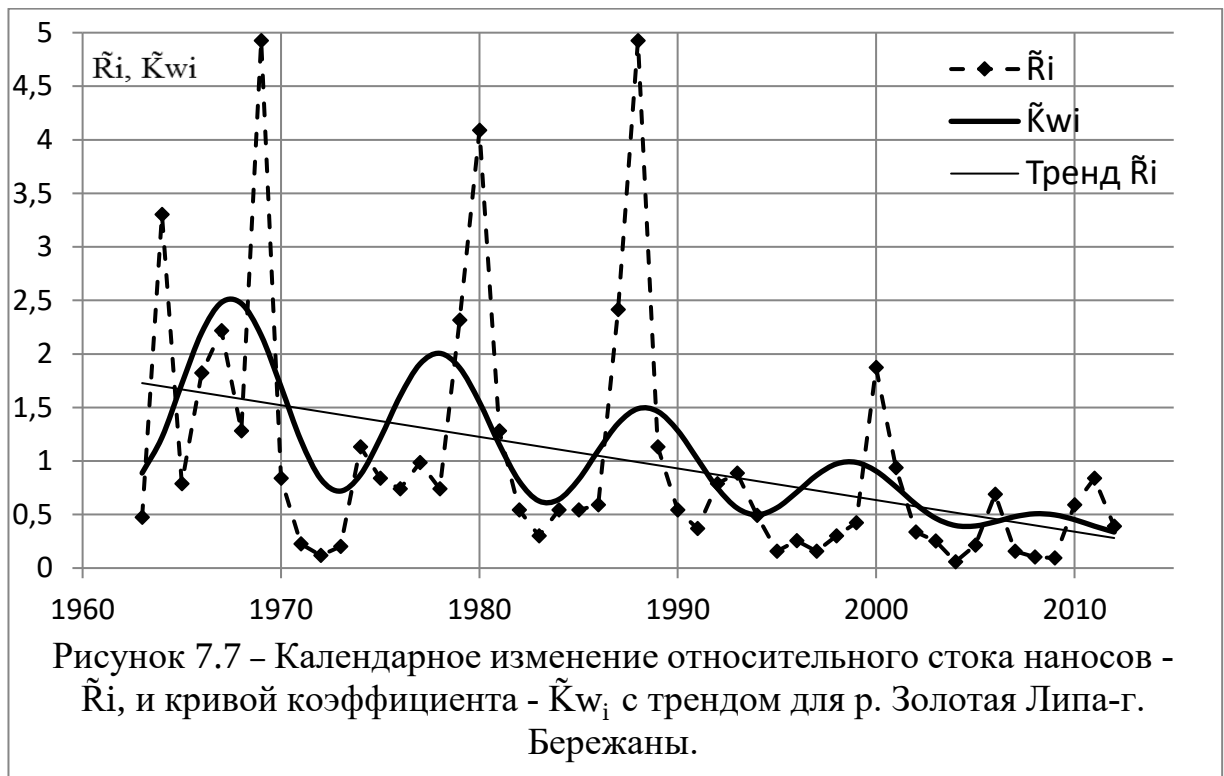
$$\tilde{K}_{wi} = (C_n - \frac{i}{10,5} k_3) \sin \left(2\pi \frac{i+1}{10,5} \right) + 1, \quad (7.16)$$

где k_3 – коэффициент затухания (для графика на рис. 7.6 равен 0,2).

Последующее преобразование синусоидальной функции решает задачу учета тренда (рис. 7.7) в колебаниях затухающей синусоиды. В таком случае расчетное уравнение для $\tilde{K}w_i$ принимает вид

$$\tilde{K}w_i = (C_n - \frac{i}{10,5} k_3) \sin \left(2\pi \frac{i+1}{10,5} \right) + k_a - k_b \cdot N, \quad (7.17)$$

где k_a и k_b – коэффициенты регрессии в уравнении линейного тренда общего вида $y = a + bx$; N – число соответствующее календарному году для которого производится вычисление коэффициента (например 2010). Для графика на рис. 7.7 $k_a = 59,69$; $k_b = 0,0295$.



7.4 Оценка точности полученных моделей и сравнительный анализ

В большинстве работ, посвященных расчету стока наносов на реках бассейна Днестра, используются разного рода эмпирические зависимости для определения средних многолетних значений [60, 77, 81]. Например, для расчета ежегодных данных можно использовать формулы К.Н. Лисициной, В.И. Александровой [78] и З.А. Горецкой [110]. Для территории Подолии авторы работы [78] предложили формулу

$$M_R = 0,89 \cdot M_Q - 0,41 \cdot I + 5,07; \quad (7.18)$$

для территории Карпат

$$M_R = 125 - 1,83 \cdot M_Q ; \quad (7.19)$$

где M_R – годовой модуль стока наносов (т/км²);

M_Q – годовой модуль стока воды (л/с км²);

I – уклон реки (‰).

З.А. Горецкая [110] для территории Карпат рекомендует использовать формулу

$$M_R = 154 - 4,47 \cdot M_Q ; \quad (7.20)$$

а для территории левобережных притоков Днестра формулу

$$M_R = 10,6 \cdot M_Q + 6,96 \cdot I + 0,625 \cdot h - 41,7 , \quad (7.21)$$

где h – глубина речной долины (м).

Формулы вида (7.19, 7.20) показывают наличие обратной связи между стоком воды и наносов, а формулы вида (7.18, 7.21) – прямой. Обратная связь получена для горных водосборов и является отображением влияния на сток высоты местности.

Достоверность и надежность полученных моделей обеспечивается их высоким качеством, которое оценивается при помощи множественных коэффициентов регрессии, пошаговым выбором предикторов на основе частных коэффициентов корреляции и соотношением регрессионной и остаточной составляющих дисперсий. Адекватность расчетных и фактических данных проверялась путем сопоставления фактических и рассчитанных по моделям данных и оценкой среднего относительного отклонения $\delta_{\text{ср}}$ расчетных и фактических величин.

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{\sum_1^n \delta_i}{n}, \quad (7.22)$$

где n – количество наблюдений;

$$\delta_i = \frac{|R_{i\phi} - R_{ip}|}{R_{i\phi}} \cdot 100 \% ; \quad (7.23)$$

$R_{i\phi}$ – фактическое значение стока наносов за i -й год, R_{ip} – расчетное значение стока наносов за i -й год.

Оценка значений R_{ip} (годового расхода наносов) выполнялась на основе уравнений (7.2-7.5), а также уравнения (7.12) для Карпатских рек. После расчетов по разным фазам колебаний стока полученные результаты сводились по каждому объекту в единый ряд для которого выполнялось сопоставление расчетных и фактических значений (рис. 7.8), а также δ_i и $\delta_{\text{ср}}$.

Результаты показали, что средние относительные отклонения меняются в диапазоне от 26 до 70 %, в тоже время расчет по моделям предложенным другими авторами показал, что качество расчетов по методикам, предложенным нами значительно выше (табл. 7.9).

Таблица 7.9 – Средние относительные отклонения расчетных значений годового стока наносов от фактического, полученных разными авторами, %.

Река - пост	Расчет по формулам 7.18-7.19	Расчет по формулам 7.20-7.21	Расчет по формулам 7.2-7.5, 7.12
Золотая Липа – г.Бережаны	76	72	48
Коропец-пгт.Коропец	86	93	70
Серет – г.Чертков	60	488	26
Смотрич-с.Купин	84	86	56
Жванчик –с.Ластовцы	78	82	59
Лядова –с.Жеребиловка	85	86	50
Стрый – с. Завадовка	52	60	44
Стрый – пгт. Верхнее Синевидное	48	40	41
Ломница – с. Перевозец	118	112	64
Опор – с. Сколе	65	70	43
Свича – с. Заречное	69	77	54
Сукель – с. Тисов	79	90	50
Среднее	75	113	49

Сравнительный график годовых расчетных и фактических значений стока наносов представлен на рис. 7.8.

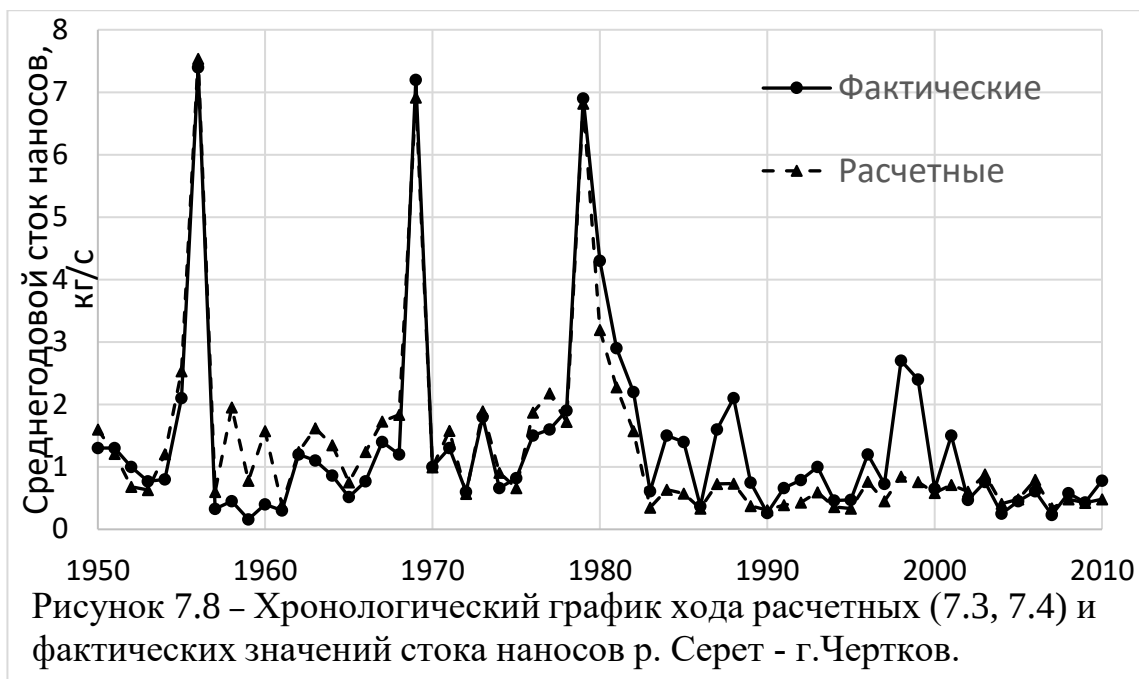


Рисунок 7.8 – Хронологический график хода расчетных (7.3, 7.4) и фактических значений стока наносов р. Серет - г.Чертков.

Для расчета среднего за многолетний период стока наносов – R (кг/с) рек Украинский Карпат, С.Г. Кочубей [81] рекомендует использовать формулу вида

$$R_{\text{ср}} = a \cdot Q_{\text{ср}}^{1,06}, \quad (7.24)$$

где a – коэффициент размываемости,

$Q_{\text{ср}}$ – средний за многолетний период расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$).

Величина коэффициента a – районирована и представлена в виде 7 значений для каждого из районов, выделенных автором на территории Карпатских притоков Днестра.

Н.Н. Бобровицкая [77] для территории западной Подолии и Карпатских притоков верхнего Днестра при расчете модуля годового стока наносов использует формулу

$$M_R = 2,02 \cdot M_Q^{1,5}, \quad (7.25)$$

где M_Q – модуль стока ($\text{л}/\text{с км}^2$).

Для притоков среднего Днестра и Восточной Подолии ею разработана формула вида

$$M_R = 5,8 \cdot M_Q^{1,4}. \quad (7.26)$$

Для Карпатских притоков Днестра С.А. Антоновой [60] предложена формула

$$R = 3,8 \cdot 10^{-4} \cdot Q^{1,25} \cdot \Pi^{1,9}, \quad (7.27)$$

где R – средний сток наносов за период (1950-1980 гг.), (кг/с);

Q – средний за период расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$);

П – показатель внутригодовой неравномерности стока, ($Q_{\text{макс}}/Q_{\text{средн}}$).

По мнению С.А. Антоновой [60] особенностью стока наносов в районе Подольи является то, что влияние уклона рек носит ограниченный характер. Это влияние “теряет свое значение для рек со значительным расходом воды и для рек с уклонами более 1 ‰”. Для учета этой особенности она разработала формулу

$$R = (2,1 \cdot 10^{-4} \cdot Q^{1,35} \cdot П^{2,25})^{1,65-0,61 \cdot I_p} \cdot e^{2,54 \cdot I_p - 2,14}, \quad (7.28)$$

где I_p - продольный уклон реки, (‰).

Региональные методики расчета среднемноголетних величин модуля стока наносов также показали преимущества предложенных авторами моделей по сравнению с уже имеющимися. Так, среднее относительных отклонений расчетных значений по предложенным подходам для Подольских рек составляет $\pm 20 \%$, в то время как по методике Н.Н. Бобровицкой оно равно $\pm 73 \%$, а по методике С.А. Антоновой $\pm 103 \%$ (табл. 7.10).

Таблица 7.10 – Средние относительные отклонения расчетных значений модуля стока наносов Подольских рек от фактических, полученных разными авторами, %.

Река - пост	Расчет по формулам 7.25-7.26	Расчет по формулам 7.28	Расчет по формулам 7.6-7.9
Гнилая Липа-пгт.Большовцы	42	64	18
Золотая Липа – г.Бережаны	236	35	15
Коропец-пгт.Коропец	58	28	3
Серет – г.Чертков	26	84	74
Збруч-с.Завалье	34	43	0
Смотрич-с.Купин	98	286	23
Жванчик –с.Ластовцы	60	174	27
Лядова –с.Жеребиловка	28	106	6
Среднее модуля отклонений	73	103	20

Таблица 7.11 – Средние относительные отклонения расчетных значений модуля стока наносов Карпатских притоков от фактических, полученных разными авторами, за весь период наблюдений, %.

Река - пост	Расчет по формуле 7.25	Расчет по формуле 7.27	Расчет по формуле 7.24	Расчет по формуле 7.13
Быстрица – с. Озимица	32	79	89	9
Стрый- с.Завадовка	18	8	19	2
Стрый-пгт. Верхнее Синевидное	12	14	30	11
Опор – г. Сколе	56	59	93	0
Головчанка – с. Тухля	176	9	56	13
Свича – с. Заречное	88	36	48	1
Лужанка – с. Гошев	38	174	118	3
Сукель – с. Тисов	68	89	56	6
Ломница – с.Перевозец	438	142	110	59
Быстрица Надворнянская – с. Пасечная	385	32	278	11
Среднее модуля отклонений	132	65	90	11

Следует отметить, что годовой модуль стока наносов большинства Карпатских притоков Днестра колеблется от 65 т/км² до 146 т/ км², исключение составляет р. Ломница – с. Перевозец, для которой годовой модуль стока наносов достигает 49 т/км². Очень низкий модуль стока в бассейне этой реки отмечался и другими авторами [60, 64, 81].

Разработанную методику для расчета годового стока наносов R_i предлагается применять в тех створах, где отсутствуют измерения наносов. Расчеты производятся в несколько этапов.

1. Оценка средней многолетней величины модуля наносов $\overline{M}_R$ по формулам (7.6-7.9) и (7.13). Пересчет модуля наносов $\overline{M}_R$ в среднюю многолетнюю величину расхода наносов $\bar{R}$ на исследуемой реке.
2. Переход от $\bar{R}$ к значениям стока наносов за отдельные годы

$$R_i = \bar{R} \cdot \tilde{K}w_i. \quad (7.29)$$

3. Для определения параметров k_z k_a k_b , при отсутствии данных наблюдений за наносами необходимо определить направление

тренда. С этой целью используются наблюдаемые данные по стоку, по которым определяется относительная характеристика $\tilde{A}_t$.

$$\tilde{A}_t = (Q_{i\text{ ср}} \cdot Q_{i\text{ макс}}) / (\bar{Q}_{\text{ср}} \cdot \bar{Q}_{\text{макс}}), \quad (7.28)$$

где $Q_{i\text{ ср}}$, $Q_{i\text{ макс}}$ - средний и максимальный расход за i -й год, $\bar{Q}_{\text{ср}}$, $\bar{Q}_{\text{макс}}$ - средние значения среднегодовых и максимальных расходов за период наблюдений.

Установлено, что колебания $\tilde{A}_t$ и относительной характеристики годового стока наносов $\tilde{R}_t$ синхронны (рис. 7.9, корреляция составляет 0,82). В связи с этим по тренду можно выявить направление тренда наносов в расчетном периоде.

4. Параметры k_3 , k_a , k_b определяются с использованием уравнения тренда полученного по $\tilde{A}_t$.

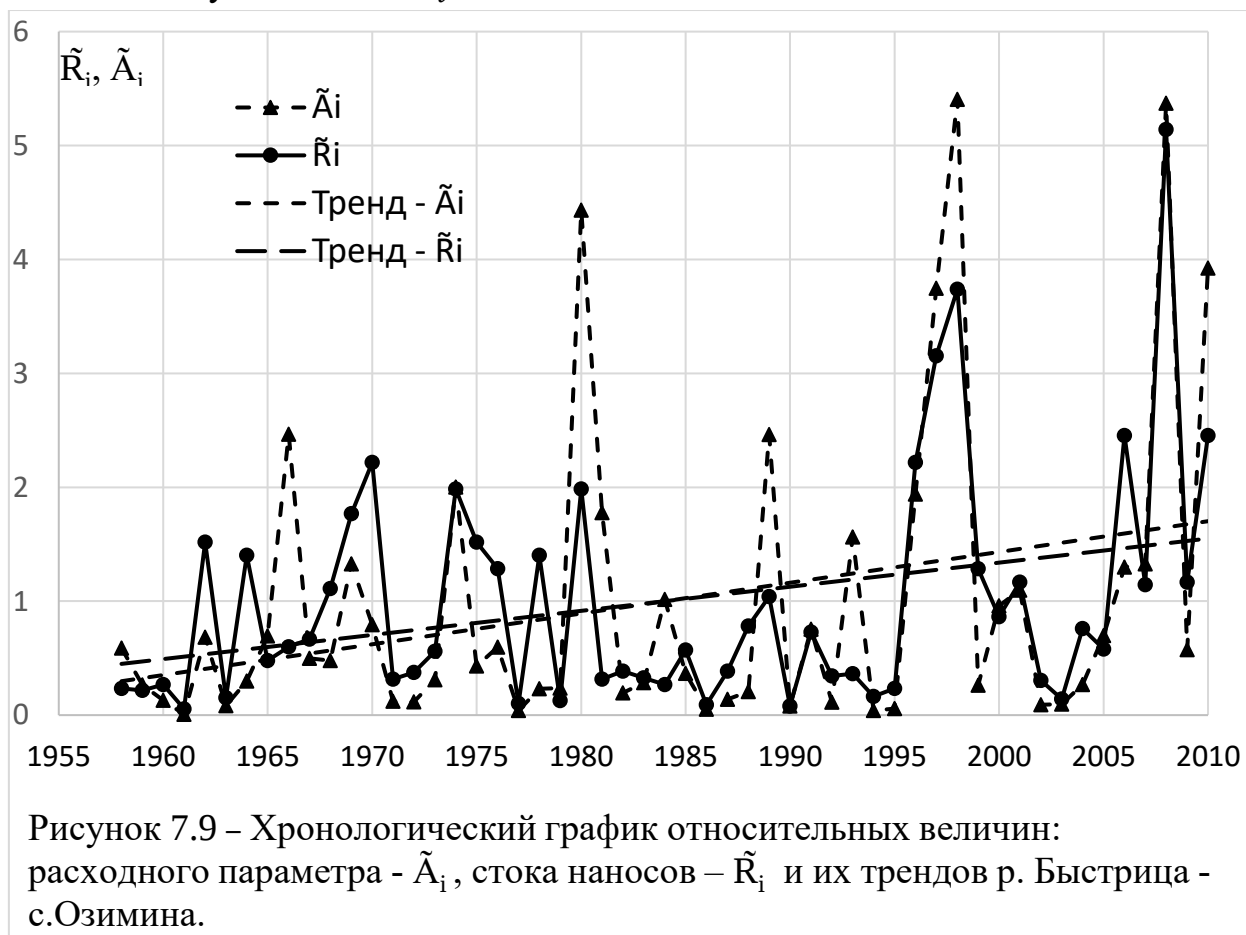


Таблица 7.12 – Сравнения годовых фактических значений стока наносов $R_{i\phi}$, расчетных по (7.8) и (7.9) $R_{iр}$ и расчетных с использованием коэффициента учета периодической составляющей колебаний стока наносов по (7.29) $R_{i\text{ КВ}}$ для р. Золотая Липа-г. Бережаны (рис.7.7).

Год	$R_{i\phi}$, кг/с	R_{ip} , кг/с	δ_{ip} , %	R_{iKw} , кг/с	δ_{ik} , %	Год	$R_{i\phi}$, кг/с	R_{ip} , кг/с	δ_{ip} , %	R_{iKw} , кг/с	δ_{ik} , %
1963	0,096	0,304	216	0,181	88,3	1988	1,0	0,155	84,5	0,303	69,6
1964	0,67	0,304	54,6	0,248	62,8	1989	0,23	0,155	32,6	0,298	29,6
1965	0,16	0,304	90	0,350	119	1990	0,11	0,155	40,9	0,261	137
1966	0,37	0,304	17,8	0,448	21,1	1991	0,075	0,155	106	0,207	176
1967	0,45	0,304	32,4	0,506	12,4	1992	0,16	0,155	3,1	0,152	4,7
1968	0,26	0,304	16,9	0,504	93,9	1993	0,18	0,155	13,8	0,114	36,5
1969	1	0,304	69,6	0,443	55,6	1994	0,1	0,155	55	0,101	1,66
1970	0,17	0,304	78,8	0,345	103	1995	0,032	0,155	384	0,114	258
1971	0,046	0,304	560	0,243	429	1996	0,052	0,155	198	0,144	177
1972	0,024	0,304	1166	0,169	607	1997	0,032	0,155	384	0,176	452
1973	0,041	0,304	641	0,146	257	1998	0,061	0,155	154	0,198	225
1974	0,23	0,304	32,1	0,177	22,8	1999	0,086	0,155	80,2	0,201	134
1975	0,17	0,304	78,8	0,246	45,1	2000	0,38	0,155	59,2	0,184	51,3
1976	0,15	0,304	102	0,327	118	2001	0,19	0,155	18,4	0,154	18,5
1977	0,2	0,304	52	0,388	94,3	2002	0,068	0,155	127	0,121	78,8
1978	0,15	0,304	102	0,409	172	2003	0,051	0,155	201	0,095	84,8
1979	0,47	0,304	35,3	0,381	18,7	2004	0,012	0,155	1191	0,081	575
1980	0,83	0,304	63,3	0,316	61,8	2005	0,043	0,155	258	0,080	85,2
1981	0,26	0,304	16,9	0,235	9,30	2006	0,14	0,155	10,7	0,088	37,0
1982	0,11	0,304	176	0,165	50,7	2007	0,032	0,155	384	0,098	206
1983	0,061	0,155	154	0,127	109	2008	0,021	0,155	638	0,103	392
1984	0,11	0,155	40,9	0,131	18,7	2009	0,019	0,155	715	0,101	433
1985	0,11	0,155	40,9	0,168	53,2	2010	0,12	0,155	29,1	0,092	23,1
1986	0,12	0,155	29,1	0,224	87	2011	0,17	0,155	8,82	0,079	53,0
1987	0,49	0,155	68,3	0,275	43,7	2012	0,079	0,155	96,2	0,068	13,0
Средне значение									185		128

Сток наносов при отсутствии данных измерений можно определять в зависимости от наличия или отсутствия информации по стоку воды (по “короткой” или “длинной” веткам). “Короткая” ветка предполагает наличие исходных данных по среднегодовому и максимальному расходах стока исследуемой реки, например по (7.11).

Если наблюдения за расходом как наносов, так и воды в искомый год не проводились, то расчет можно выполнять по “длинной ветке” переходя от средней многолетней величины стока наносов к его ежегодным значениям (по уравнению 7.29), используя коэффициент учета периодической составляющей колебаний стока наносов $\tilde{K}w_i$. Схема расчета стока наносов приведена на рис. 7.10.

Пример 1. Пусть требуется определить величину стока наносов в 2010 г. на р. Золотая Липа-с.Задаров (на этом посту не проводятся наблюдения за стоком наносов).

Расчет выполняется по “короткой ветке”. Поскольку 2010 г. относится к пониженной фазе стока наносов, а бассейн реки с замыкающим створом с. Задаров находится в западном кластере Подолии (рис. 5.17), то используем уравнение (7.5), в соответствии с которым получаем

$$R_{\text{ср}} = 0,0224 \cdot (14,3 \cdot 45,7)^{0,55} = 0,80 \text{ кг/с.}$$

Пример 2. Пусть требуется определить сток наносов на этом же посту в 2020 г.

Расчет выполняется по “длинной ветке”. Для расчета модуля стока наносов за многолетний период (после 1982 г.) на территории западной Подолии используется уравнение (7.9). Доля подземного стока в створе р. Золотая Липа-с.Задаров (табл. 3.7) составляет 83 %, средняя высота водосбора (табл. 1.3) – 360 м. Ближайшее водохранилище, расположенное выше по течению, Бережанское, находится в 46 км от створа.

$$M_R^H = -39,39 \cdot \ln(83) + 0,515 \cdot 46 + 0,252 \cdot 360 + 83,46 = 23,96 \text{ т/км}^2.$$

В пересчете с модуля на среднегодовой расход эта величина составляет – 1,03 кг/с.

Колебания расходного параметра ($Q_{\text{ср}} \cdot Q_{\text{макс}}$) (рис. 7.11) описываются статистически незначимым трендом, следовательно, коэффициенты уравнения линейного тренда – k_a и k_b в уравнении (7.16) будут равны нулю. Колебания величины максимального стока носят равномерный (незатухающий) характер, поэтому коэффициент затухания – k_z также принимается равным нулю. С учетом этого по уравнению (7.16) рассчитывается $\tilde{K}w_i$ до 2020 г. (рис. 7.11).

Расчетная величина $\tilde{K}w_i$ на 2020 г. составляет 1,35. Тогда прогнозируемая величина наносов на 2020 г. с учетом коэффициента периодической составляющей колебаний стока наносов

$$R_{2020} = 1,03 \cdot 1,35 = 1,39 \text{ кг/с.}$$

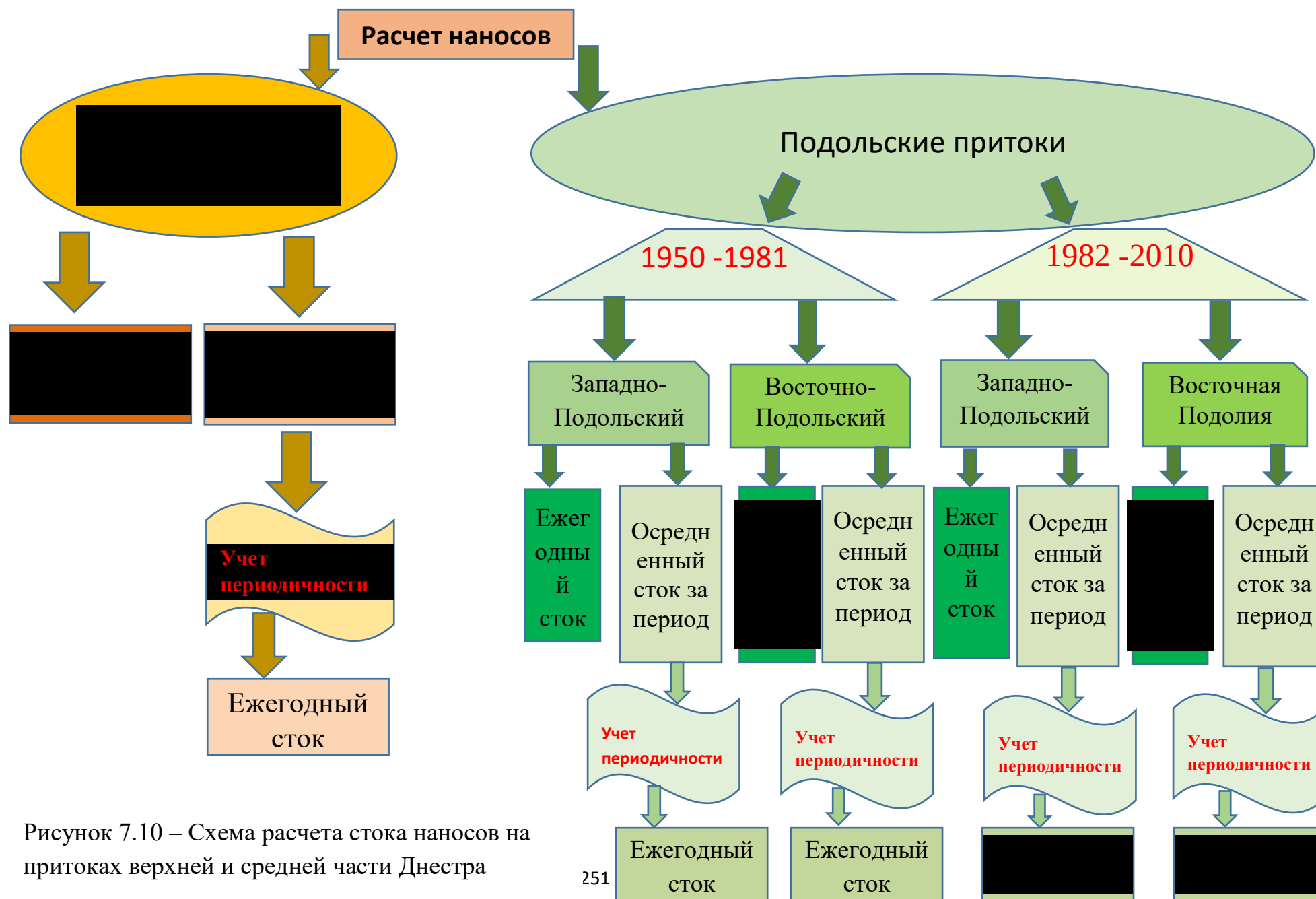


Рисунок 7.10 – Схема расчета стока наносов на притоках верхней и средней части Днестра



Выводы по 7 разделу. Разработаны расчетные зависимости для определения годовых расходов наносов в зависимости от показателей водности, в состав которых входят значения среднегодовых и максимальных расходов воды.

Установлено снижение роли максимальных расходов воды в формировании стока наносов на Подольских притоках р.Днестр в период 1982-2010 гг. по сравнению с 1950-1981 гг., что объясняется антропогенными преобразованиями в бассейнах рек и изменениями климата.

Впервые установлены и введены в расчетную схему стока наносов такие факторы как расстояние до ближайшего водоема (выше по течению) и коэффициент подземного стока.

Для горных районов установлено, что в составе основного предиктора при построении регрессионных уравнений расчета стока наносов может быть использована средняя высота водосбора, которая является интегральным показателем условий формирования стока.

Предложен новый подход к расчету ежегодного стока наносов опирающийся на определение $\bar{R}$ среднее многолетнее значение и коэффициент учитывающий периодичность в колебаниях стока наносов.

Выводы по работе

1. Основными факторами формирования стока верхней и средней части водосбора Днестра являются климатические факторы (осадки, испарение с поверхности суши, обусловленное главным образом температурным режимом территории). В горной части водосбора косвенной характеристикой вертикальной зональности распределения климатических факторов формирования стока служит высота местности. Залесённость относится к интразональным факторам, связанным с высотой. Карст как аazonальный фактор оказывает существенное влияние на сток малых и средних рек левобережья.
2. Выполнено обоснование выбора расчетных периодов, представляющих собой два цикла колебаний водности. Первый длился с 1950 по 1981 гг. с переходом маловодной фазы в многоводную в 1965 г., второй - с 1982 по 2010 гг. со сменой фаз водности на всех реках Подолии и главной реке Днестр в 1997 году. В Карпатах смена фаз водности на разных реках проходила в различные годы, входящие в промежуток 1995-2003 гг.
3. Второй расчетный период (1982-2010 гг.) рассматривается как относящийся к периоду изменений климата и их последствий для формирования стока воды и наносов.
4. Расчеты и прогнозы изменений водных ресурсов рек Украины в условиях климатических сценариев выполненные различными авторами, показали, что лесостепная зона водосбора р.Днестр (левобережные водосборы) наименее подвержена влиянию изменений температурного режима на условия формирования стока. Глобальное потепление проявляется в увеличении температур холодного периода, что сопровождается на равнинных территориях увеличением числа оттепелей, уменьшением глубины промерзания грунта и увеличением инфильтрации талых и дождевых вод в водоносные горизонты. Результатом таких изменений является снижение максимальных расходов весеннего половодья и увеличение стока межени и доли подземной составляющей в формировании годового стока. Эффект потепления наиболее выражен в тех зонах, где в холодный период наблюдается переход от отрицательных температур воздуха к положительным. Так, за счет потепления в холодный период (с 1 декабря по

15 февраля) увеличилась доля максимальных расходов в Ростоцко-Опольской физико-географической области с 11% до 17%. В тоже время в период с 15 февраля по 15 марта, когда происходит снеготаяние, доля максимальных расходов этой же области уменьшилась с 17% до 9%. При этом доля максимальных расходов летнего периода возросла после 1982 г. с 6% до 20%. Влияние потепления в холодный период менее выражено в тех частях водосбора, которые расположены южнее, для которых наличие оттепелей было характерным и в прежние годы. Например, в Западно-Подольской области, число зимних максимумов осталось практически неизменным, а в Приднестровско-Подольской области уменьшилось с 16% до 10%.

5. Более сложная картина изменения условий формирования стока наблюдается в горной части водосбора р. Днестр, где максимумы дождевых паводков превалируют над максимумами половодий, а последствия изменений температур воздуха становятся менее значимыми. Установлены тенденции к увеличению максимального стока рек, берущих начало с отрогов Бескид. В то же время максимальные расходы рек, берущих начало в Горганах характеризуются тенденцией к уменьшению.
6. Исследования подземной составляющей стока рек Подолии показали, что во II расчетный период происходит ее увеличение на 10-15 %. Это объясняется увеличением потерь поверхностного стока на инфильтрацию и интенсивный переход дождевых и талых вод в подземные, чему способствует наличие карстовых образований. На горных притоках Днестра подземная составляющая стока во II расчетный период увеличивается на 15-20 %.
7. Изменения условий формирования стока нашли свое отображения в особенностях колебаний годового стока. Для анализа колебаний годового стока рек изучаемой территории был применен метод кластерного анализа к рядам годового стока за периоды 1963-1981 и 1982-2010 гг. Всего выделено 6 кластеров, однако их границы изменились во втором расчетном периоде. Наиболее значимые трансформации произошли в Ростоцко-Опольской области (зона смешанных лесов), которая до 1982г образовывала общий кластер с реками верховья р.Днестр. После 1982г. произошло выделение этой области в определенный кластер, что свидетельствует о значимых изменениях в характере колебаний стока.
8. Установлена связь между закономерностями колебаний максимального стока воды и наносов, как для рек Подолии, так и горной части р. Днестра. Поскольку колебания максимальных расходов воды левобережных притоков после 1981 г. находятся в маловодной фазе, то и колебания стока наносов также образовали маловодную фазу. Ряд горных притоков Днестра за

исследуемый период имеют тенденцию к увеличению стока наносов, что соответствует динамике максимального стока.

9. Анализ пространственного распределения мутности, выполненный за различные расчетные периоды, показал тенденцию к ее снижению после 1981 г. Если в предыдущий расчетный период в верхней части горного Днестра и Приднестровско-Подольской области средняя мутность превышала 400 г/м³, то за период 1982-1995 гг. эти значения уменьшились до 200-300 г/м³ в горной части и менее 100 г/м³ в Приднестровско-Подольской области, что может быть объяснено уменьшением максимального стока.
10. В результате применения спектрального анализа к данным по среднегодовому, максимальному стоку воды и стоку наносов выявлены периодичности в их колебаниях продолжительностью 3,3-4,0; 9,5-11; и 27-30 лет. В колебаниях максимального стока и стока наносов эти периодичности несколько отличаются и равны 3,5-3,8; 8,3-11,0 лет.
11. На основе рассчитанной когерентности между колебаниями годового стока воды и наносов установлено наличие тесных связей на частотах, которые соответствуют периодическим колебаниям в 2 года, 6 и 11 лет.
12. На базе метода “гусеница” были смоделированы гармоники, отражающие вклад заданной периодичности в колебания стока воды и наносов. Выявлено существование синхронности и синфазности в колебаниях 11 летних гармоник годового и максимального стока воды, максимального стока воды и стока наносов, а также стока наносов и наибольших амплитуд колебаний чисел Вольфа.
13. На основе корреляционного и спектрального анализов установлено влияние Арктической осцилляции - АО и Северо-Атлантической осцилляции - САО на формирование годового, максимального стока воды и стока наносов. Применение спектрального анализа к индексам САО и АО показало, что эти осцилляции имеют меняющуюся периодичность с наиболее вероятными значениями для САО 8-18 лет, для АО 2,5-3,8 лет.
14. Разработана методика для определения годовых расходов наносов в зависимости от значений среднегодовых и максимальных расходов воды.
15. Впервые установлены и введены в расчетную схему стока наносов такие факторы как расстояние до ближайшего водоема (выше по течению) и коэффициент подземного стока.
16. Предложены уравнения учета периодических составляющих в ежегодном стоке наносов, которые делятся на уравнения с равномерной периодической составляющей, затухающей и затухающей с наклонным трендом. Разработан метод расчета среднегодовых и годовых значений стока наносов по данным о среднегодовых максимальных и годовых значениях расхода

воды с учетом периодических составляющих в колебаниях стока наносов. Для этих целей получены расчетные уравнения с равномерной периодической составляющей, затухающей и затухающей с наклонным трендом. Предложенный метод рекомендуется для применения в расчетах стока наносов при отсутствии их измерений.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Енциклопедія українознавства / Під ред. В. Кубійовича. Перевидання в Україні. — Львів, 1994. — Т. 2. — 1328 с.
2. Дослідження Дністра: 10 років громадської екологічної експедиції «ДНІСТЕР» / Редактор М.І. Жарких. — Львів — Київ, 1998. — 216 с.
3. Національний атлас України / Ін-т географії НАН України. Держ. служба геодезії, картографії та кадастру / Голов. ред. Л.Г. Руденко — К.: ДНВП "Картографія", 2007. — 440 с.
4. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України / В.К. Хільчевський, О.М. Гончар, М.Р. Забокрицька та ін.; за редакцією В.К. Хільчевського та В.А. Сташука. — К.: Ніка-Центр, 2013. — 256 с.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6. Украина и Молдавия. Вып.1. Западная Украина и Молдавия / Под ред. М.С. Каганера. — Л.: Гидрометеиздат, 1969. — 884 с.
6. Особливості атмосферної циркуляції. На сайті Львівського національного університету імені Івана Франка «Клімат Карпат» / — Режим доступу: http://www.franko.lviv.ua/faculty/geology/phis_geo/fourman/E-books-FVV/Interactive%20books/Meteorology/Weather%20Forecasting/Weather%20Ukraine/Maps/Klimat%20regionu%20Ukraine/Climate%20of%20Carpathians.htm
7. Андріанов М.С. Клімат / М.С. Андріанов // Природа Українських Карпат. — Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 1968. — С. 87–101.
8. Сакали Л. И. Тепловой баланс Украины и Молдавии / Л. И. Сакали. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — 334 с.
9. Токмаков О. І. Вертикальні температурні градієнти в Українських Карпатах / О. І. Токмаков // Праці експедиції по комплексному вивченню Карпат і Прикарпаття. Сер. геогр. — 1957. — Т. 4. — С. 124–130.
10. Клімат України. — Л.: Гидрометеиздат, 1967. — 413 с.
11. Голубец М.А. Украинские Карпаты. Природа / М.А. Голубец., А.Н. Гаврусевич., И.К. Загайкевич и др. — Киев: Наук. думка, 1988. — 208 с.
12. Бучинський І. О. Клімат Українських Карпат / І. О. Бучинський, М. М. Волеваха, В. О. Коржов. — К.: Наук. думка, 1971. — 172 с.
13. Камзіст Ж.С. Гідрогеологія України. Навч. посібник / Ж.С. Камзіст, О.Л. Шевченко. — К.: Фірма Інкос, 2009. — 613 с.
14. Гошовський С.В. Екологічна безпека техноприродних геосистем у зв'язку з катастрофічним розвитком геологічних процесів / С.В. Гошовський, Г.І. Рудько, Б.М. Преснер. — Львів-Київ: ЗАТ «Нічлава», 2002. — 624 с.
15. Гидрогеология СССР, Украина / Под. ред. Ф.А. Руденка. — М.: Недра, 1971. — 614 с.
16. Геренчук К.И. Тектонические закономерности в орографии речной сети Русской равнины / К.И. Геренчук. — Львов: Изд-во Львовского университета, 1960. — 240 с.

17. Шестоपालов В.М. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в естественных условиях / В.М. Шестоपालов, В.И. Лялько, Н.И. Дрибноход, Н.С. Огняник и др. — К.: Наукова думка, 1989. — 288 с.
18. Залеський І. І. Легенда до гідрогеологічної карти комплекту Державної геологічної карти України масштабу 1:200000. Волино-Подільська серія. Пояснювальна записка / І. І. Залеський, І.В. Саніна. — К.: Держ. геол. служба, 2006. — 28 с.
19. Пишна Н.Г. Гідрогеологічний щорічник про стан підземних вод України за 2006 р. / Н.Г. Пишна, М.М. Блінова, О.А. Лихацька та ін. К.: Геоінформ України, 2007. — 109 с.
20. Андрущенко Г.О. Ґрунти західних областей УРСР / Г.О. Андрущенко. — Львів-Дубляни: Львівський сільськогосподарський інститут, 1970. — 184 с.
21. Гоголев І.М. Ґрунти / І.М. Гоголев, З.В. Проскура // Природа українських Карпат. — Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 1968. — С. 160–189.
22. Природа Львівської області / Під ред. К.Геренчука. — Львів: Вища школа, 1979. — 159 с.
23. Орлов О. Гумусовий стан бурих гірсько-лісових ґрунтів басейну верхів'я Дністра / О. Орлов // Екологічні проблеми Карпатського регіону. Т. XI. Екологічний збірник. Праці НТШ. — Львів, 2003. — С. 360–365.
24. Третяк П. Природна гетерогенність лісового покриву Карпатської частини басейну Дністра / П. Третяк // Праці НТШ. Т. XI Екологічний зб.: Екологічні проблеми Карпатського регіону. — Львів, 2003. — С. 215–233.
25. Коротун І.М. Природні ресурси України. Навч. посіб. / І.М. Коротун, Л.К. Коротун, С.І. Коротун. — Рівне: ПринтХауз, 2000. — 184 с.
26. Крічфалушій В. Приполонинні ліси Карпат і сталий розвиток / В. Крічфалушій // Праці НТШ. Т. XI Екологічний збірник: Екологічні проблеми Карпатського регіону. — Львів, 2003. — С. 309–315.
27. Криницький Г. Стан лісів Українських Карпат, екологічні проблеми та перспективи / Г. Криницький, П. Третяк // Праці НТШ. Т. XI Екологічний збірник: Екологічні проблеми Карпатського регіону. — Львів, 2003. — С. 54–65.
28. Пастернак П.С. Ліс і охорона вод від забруднення / П.С. Пастернак, М.М. Приходько. — Ужгород: Видавництво “Карпати”, 1988. — 94 с.
29. Стецюк В.В. Екологічна геоморфологія та охорона надр: Навчальний посібник. / В.В. Стецюк, Г.І. Рудько. — К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2004. — 191 с.
30. Стецюк В. Екологічна геоморфологія України (теорія і практика регіональної екологічної геоморфології) / В. Стецюк, Т. Ткаченко. — Київ: «Стафед— 2», 2004. — 224 с.
31. Дрозд Н.И. О влиянии карста на формирование и сток поверхностных вод в равнинной части водосбора Днестра / Н.И. Дрозд // УкрНИГМИ: труды. — Л., 1966. — Вып. 60. — С. 90–96.

32. Аксьом С.Д. Вплив сульфатного карсту на хімічний склад природних вод у басейні Дністра / С.Д. Аксьом, В.К. Хільчевський — К.: Ніка-Центр, 2002. — 204 с.
33. Кононенко Н.И. Гидрогеологические и геоморфологические условия формирования годового стока рек бассейна Днестра / Н.И. Кононенко // УкрНИГМИ: труды. — Л., 1970. — Вып. 88. — С. 82–115.
34. Куделин Б.И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод / Б.И. Куделин. — М.: Изд. МГУ, 1960. — 344 с.
35. Ковальчук І. П. Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз / І. П. Ковальчук. — Львів: Інститут українознавства, 1997. — 440 с.
36. Ковальчук І. Конструктивно-геоморфологічні дослідження процесів трансформації структури і гідроекологічного стану річкових систем / І. Ковальчук // Геоморфологічні дослідження в Україні: минуле, сучасне, майбутнє. Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. до 50-річчя кафедри геоморфології і палеогеографії Львівського національного університету імені Івана Франка (18 – 20 жовтня 2000 року). — Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2002. — С. 74–76.
37. Топольний Ф. Екологічні проблеми сільського господарства Карпат / Ф. Топольний, О. Гелевера, С. Моспан, та ін. // Праці НТШ. Т. XI Екологічний зб.: Екологічні проблеми Карпатського регіону. — Львів, 2003. — С. 351–359.
38. Пилипович О.В. Еколого-геоморфологічний моніторинг басейнових систем верхнього Дністра: автореф. на здобуття дис. к.географ.н.: спец. 11.00.04 – “Геоморфологія і палеогеографія” / О. В.Пилипович. — Львів, 2007. — 25 с.
39. Гражданская защита. Понятийно-терминологический словарь / Под общ. ред. Ю.Л. Воробьева — М.: Издательство «Флайст», Информационно-издательский центр «Геополитика», 2001. — 240 с.
40. Пилипович О.В. Моніторингові дослідження якості поверхневих вод басейнових систем Верхнього Дністра / О. В. Пилипович // Вісн. Львів. у-ту. Серія геогр. — 2004. — С. 242–246.
41. Пилипович О.В. Аналіз гідроекологічного стану поверхневих вод у басейнових системах верхньої частини сточища Дністра / О. В. Пилипович, М. Колодко // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія: Географія. — Тернопіль, 2005. — №2. — С. 257–262.
42. Михнович А. Еколого-геоморфологічні дослідження верхньої частини сточища Дністра з використанням ГІС-технологій: автореф. на здобуття дис. к.географ.н.: спец. 11.00.04 – “Геоморфологія і палеогеографія” / А. В. Михнович. — Львів, 2004. — 23 с.
43. Ковальчук І., Михнович А. Аналіз багаторічних змін стоку річок верхньої частини басейну Дністра / І. Ковальчук, А. Михнович // Ресурси природних вод Карпатського регіону: Матеріали II міжнародної науково-практичної

- конференції (Львів, 15 – 16 травня 2003 року). Збірник наукових статей. — Львів: ЛьВЦНТЕІ, 2003. — 257 с. — С. 45–50.
44. Михнович А. Еколого — географічний аналіз трансформаційних процесів у річкових басейнах / А. Михнович // Екологічні дослідження річкових басейнів Лівобережної України. Збірник наукових праць. — Суми: СумДПУ ім. А.С.Макаренка, 2002. — С. 249–256.
45. Ковальчук І. П. Зіставлення поздовжніх профілів рік Прикарпаття (на прикладі Бистриць Надвірнянської та Солотвинської) / І.П. Ковальчук, Б.Ф. Лящук, М.М. Пакуля // Вісник Львівського університету. Серія географічна, 1978. — Вип. 11. — С. 95–99.
46. Голубець М.А. Стратегічні завдання карпатознавців у контексті наукових ідей В.І. Вернадського / М.А. Голубець // Екологічні проблеми Карпатського регіону. Екологічний збірник. Праці НТШ. Т. XII. — Львів, 2003. С. 9–18.
47. Gębica P. Geomorfologiczne skutki przerwania wałów przeciwpowodziowych w dolinie Wisły w lipcu 1997 roku / P. Gębica, B. Patkowski, A. Lasek, T. Sokołowski // Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 roku. — Kraków: Wydawnictwo oddziału PAN, 1998. — S. 185–194.
48. Річний звіт Дністровсько-Прутського БУВР «Про роботу з питань управління водними ресурсами та контролю за раціональним використанням і охороною вод та відтворенням водних ресурсів у 2009 році» м. Чернівці, 2010. — 339 с.
49. Екологічний паспорт. Тернопільська область, 2012. — 129 с. / Режим доступу: <http://www.menr.gov.ua/content/article/5992>
50. Доманицкий А.П. Днестр и его бассейн: Гидробиологический очерк / А.П. Доманицкий. — Л.: Гидрометеиздат, 1941. — 308 с.
51. Вишневський В. І. Гідрологічні характеристики річок України / В.І. Вишневський, О.О. Косовиць. — К.: Ніка-Центр, 2003. — 324 с.
52. Шамов Г.И. Речные наносы / Г.И. Шамов. — Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1954. — 348 с.
53. Загальна гідрологія: Підручник / За ред. В. К. Хільчевського і О. Г. Ободовського. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. — 399 с.
54. Мостков М.А. Очерк истории руслового потока / М.А. Мостков. — М.: Изд. АН СССР, 1959. — 246 с.
55. Гончаров В.Н. Основы динамики русловых потоков / В.Н. Гончаров. — Л.: Гидрометеиздат, 1962. — 374 с.
56. Гринвальд Д.И. Турбулентность русловых потоков / Д.И. Гринвальд. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 166 с.
57. Караушев А.В. Теория и методы расчета речных наносов / А.В. Караушев. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 270 с.
58. Разумихина К.В. Применение формулы транспортирующей способности потока для расчета годового стока взвешенных наносов / К.В. Разумихина // Труды ГГИ, 1969. — Вып. 175. — С.137–154.

59. Агоронян А.Н. Средняя мутность рек Армении / А.Н. Агоронян // В сб. научных трудов Ереванского политехнического ин-та, 1975. — № 26. — С.11–14.
60. Антонова С.А. Условия формирования и расчет стока взвешенных наносов рек (на примере Украины): дис. канд. геогр. наук: 11.00.07 / Антонова Светлана Александровна. — Одесса, 1984. — 243 с.
61. Світличний О.О. Основи ерозієзнавства / О.О. Світличний, С.Г. Чорний. — Суми, Університетська книга, 2007. — 266 с.
62. Россинский К.И. Речные наносы / К.И. Россинский, В.К. Дебольский — М.: Наука, 1980. — 218 с.
63. Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов / Н.И. Алексеевский. — М.: МГУ, 1998. — 202 с.
64. Дрозд Н. И. Карта средней мутности вод рек УССР / Н.И. Дрозд, З.А. Горецкая // УкрНИГМИ: труды. — Л., 1968. — Вып. 60. — С. 54–62.
65. Горецкая З.А. К определению характеристик стока взвешенных наносов рек Украины различной обеспеченности / З. А. Горецкая // УкрНИГМИ: труды. — Л., 1972. — Вып. 119. — С. 106–114.
66. Указания по расчету стока наносов. ВСН 01–73. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 30 с.
67. Яцик А.В. Водогосподарська екологія: у 4 т., 7 кн. / А.В. Яцик — К.: Генеза, 2004. — Т. 2, кн. 3-4. — 384 с.
68. Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров. СТО 52.08.31-2012. — СПб.: Глобус, 2012. — 140 с.
69. Поляков Б.В. Гидрологический анализ и расчеты / Б.В. Поляков. — Л.: Гидрометеиздат, 1946. — 480 с.
70. Кузник И.А. Материалы исследования твердого стока с малых водосборов в Поволжье / И.А. Кузник // Труды Лаб. озероветения АН СССР, 1958. — Т.7 — С. 47–56.
71. Хмаладзе Г.Н. Взвешенные наносы рек Армянской ССР / Г.Н. Хмаладзе. — Л.: Гидрометеиздат, 1964. — 246 с.
72. Сластухин В.В. Вопросы мелиорации склонов Молдавии / В.В. Сластухин. — Кишинев.: Катря Молдовеняску, 1964. — 212 с.
73. Лисицина К.Н. Формирование стока наносов водотоков и заиление прудов на территории Северного Казахстана / К.Н. Лисицина // Труды ГГИ, 1960. — Вып. 86. — С. 92–119.
74. Ахундов С.А. Сток наносов горных рек Азербайджанской ССР / С.А. Ахундов. Баку: Изд-во Элм, 1978. — 97 с.
75. Швебс Г.И. Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка / Г.И. Швебс — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 183 с.
76. Лопатин Г.В. Наносы рек СССР / Г.В.Лопатин. — М.: Географиз, 1952. — 366 с.

77. Бобровицкая Н.Н. Зависимость среднемноголетнего стока взвешенных наносов рек ЕТС от физико-географических факторов / Н.Н. Бобровицкая // Труды ГГИ, 1972. — Вып.191. — С. 68–84.
78. Лисицина К.Н. Сток наносов рек Европейской территории СССР / К.Н. Лисицина, В.И. Александрова // Труды ГГИ, 1972. — Вып.191. — С. 23–51.
79. Ткачева Л.Т. Сток взвешенных наносов рек Средней Азии / Л.Т. Ткачева // Труды ГГИ, 1974. — Вып.210. — С. 73–81.
80. Диаконидзе Р.В. Методика расчета характеристик и территориальное распределение стока наносов горных рек (на примере рек Грузии): автореф. дис. на соискание учен. степени канд.геогр.наук / Р.В. Диаконидзе. — Тбилиси, 1982. — 25 с.
81. Кочубей С. Г. Исследование формирования твердого стока рек украинских Карпат: дис. канд. геогр. наук / С.Г. Кочубей. — К., 1971. — 210 с.
82. Светицкий В.П. Средний сток взвешенных наносов рек бассейна Амударьи / В.П. Светицкий // Вопросы гидротехники, 1962. — Вып.10. — С. 100–109.
83. Шуйский Ю.Д. Движение водной взвеси в приустьевом районе Днестра во время весенне-летнего паводка 2009 г. / Ю.Д. Шуйский, А.А.Стоян // Вісник Одеського національного університету. Геогр. та геол. науки. — 2009. Том 14.— Вып. 16. — С. 189–200.
84. Шуйский Ю.Д. Состав наносов в русле приустьевого района Днестра в конце весенне-летнего паводка / Ю.Д. Шуйский, А.А.Стоян // Вісник Одеського національного університету. Геогр. та геол. науки. — 2011. Том 16.— Вып. 16. — С. 7–21.
85. Вишневський В.І. Про раціоналізацію спостережень за стоком річкових наносів // Наук. праці Укр. НДГМІ / Під ред. В.І Вишневського і О.В. Войцеховича. Вип. 248. — К.: Укр. НДГМІ, 2000. — С. 123–137.
86. Гребінь В.В. Внутрірічний розподіл стоку завислих наносів річок Кримського півострова залежно від періоду водності / В.В. Гребінь, Є. В. Василенко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2007. — Т. 13. — С. 94–102.
87. Гребінь В.В. Внутрірічний розподіл стоку води і наносів лівобережних приток Дністра та його сучасні зміни /В.В. Гребінь // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2005. — Т. 7. — С. 133–142.
88. Продольные профили основных водотоков в бассейне Днестра в контексте определения направленности вертикальных деформаций русла / Ободовский А. Г., Розлач З. В., Лёгкая Ю. М., Дементенко А. И. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2008. — Т. 15. — С. 43–54.
89. Розлач З. В. Просторово-часові зміни крупності руслоформуючих відкладів на водотоках басейну Дністра (в межах України) / З. В. Розлач // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2008. — Т. 14. — С. 108–116.
90. Griffiths Peter G. Sediment yield and runoff frequency of small drainage basins in the Mojave Desert, California and Nevada / P. G. Griffiths, R. Hereford, and

- R. H. Webb // Science for a changing world U.S. Geological Survey. January 2006, Fact Sheet 2006 — 3007. — 4 p.
91. Lu X. Recent changes of sediment yield in the upper Yangtze, China / Lu X., Higgitt D. // *Environmental Management*, 1998. — Vol. 22, No. 5. — p. 697–709.
 92. Alford D. Streamflow and sediment transport from mountain watersheds of the Chao Phraya basin, northern Thailand: a reconnaissance study/ D. Alford // *Mountain Research and Development*, 1992. — 12: p. 257–268.
 93. Guyot J. L. Cortez Dissolved solids and suspended sediment yields in the Rio Madeira basin, from the Bolivian Andes to the Amazon. Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives (Proceedings of the Exeter Symposium July 1996) / J. L. Guyot, N. Filizola, J. Quintanilla J. — IAHS Publ., 1996. No. 236. — p. 55–64.
 94. Ozturk F. Suspended sediment yields of rivers in Turkey / Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives (Proceedings of the Exeter Symposium, July 1996) / F. Ozturk. — IAHS Publ., 1996. No. 236. — p. 65–72.
 95. Archer D. Suspended sediment yields in the Nairobi area of Kenya and environmental controls Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives (Proceedings of the Exeter Symposium, July 1996) / D. Archer. — IAHS Publ., 1996. No. 236. — p. 37–48.
 96. Murray D. H. Variation of suspended sediment yields around New Zealand: the relative importance of rainfall and geology Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives (Proceedings of the Exeter Symposium, July 1996) / D. Murray Hicks, Jane Hill & Ude Shankar. — IAHS Publ., 1996. No. 236. — p. 139–148.
 97. Rompaey A. V. Modelling sediment yields in Italian catchments geomorphology / Anton Van Rompaey, Paolo Bazzoffi, Robert J.A Jones, Luca Montanarella. — volume 65. — issues 1— 2, 1 february 2005. — p. 157–169.
 98. Grauso S. Estimating the suspended sediment yield in a river network by means of geomorphic parameters and regression relationships / S. Grauso, G. Fattoruso, C. Crocetti, A. Montanari // *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12, 2008. — p.177–191.
 99. Ono K. Distributed specific sediment yield estimations in Japan attributed to extreme-rainfall-induced slope failures under a changing climate / K. Ono, T. Akimoto, L. N. Gunawardhana, S. Kazama, and S. Kawagoe // *Hydrology and Earth System Sciences*, 2011. — № 15. — p.197–207.
 100. Marryanna L. Accumulated suspended sediment yield due to commercial timber harvesting at upper hills dipterocarp forest, Malaysia / Marryanna, L., Siti Aisah, S., Saiful Iskandar, K., Mohd. Ghazali, H., & Abd Rahman, K. 2012 International Conference on Environment Science and Engineering IPCBEE vol.3 2(2012) IACSIT Press, Singapore.
 101. Hoyle J. Sampled suspended sediment yields from the Waikato region / Joanna Hoyle, Murray Hicks, Helen Roulston. Waikato Regional Council Technical Report, 2012/01. — 55 p.

102. Murray D. H. Trustrum Erosion thresholds and suspended sediment yields, Waipaoa River Basin, New Zealand / D. Murray Hicks, Basil Gomez, Noel A. // Water resources research. April 2000. — Vol. 36. — no. 4. — p.1129–1142.
103. Wasson R.J. What approach to the modelling of catchment scale erosion and sediment transport should be adopted? / Modelling erosion, sediment transport and sediment yield / R. J. Wasson. Technical Documents in Hydrology No. 60 UNESCO. Paris, 2002. — p.1–13.
104. Yang C. T. Sediment transport modelling - combination of theoretical concepts and practical approach Modelling erosion, sediment transport and sediment yield / C. T. Yang. Technical Documents in Hydrology No. 60 UNESCO. Paris, 2002. — p.101–136.
105. Bobrovitskaya N. N. Erosion and sediment yield modelling in the former USSR / Modelling erosion, sediment transport and sediment yield / N. N. Bobrovitskaya. Technical Documents in Hydrology No. 60 UNESCO. Paris, 2002. — p. 31–47.
106. Mitás L. Multiscale Green's function Monte Carlo approach to erosion modelling and its application to land use optimization /Modelling erosion, sediment transport and sediment yield / L. Mitás and H. Mitasova. Technical Documents in Hydrology No. 60 UNESCO. Paris, 2002. — p.69–87.
107. Ouri A. E. Factors controlling suspended sediment yield from catchments in central Ardabil Province, Iran / Abazar Esmali Ouri and Ardavan Ghorbani //African Journal of Agricultural Research, October 2011. — Vol. 6(22). — p. 5112–5122.
108. Zhou J. Coarse sediment and lower Yellow River Siltation Journal of Hydro-environment Research/ Jianjun Zhou, Man Zhang. Volume 6. — Issue 4, December 2012. — p. 267–273.
109. Restrepo J. D. Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: the Magdalena River, Colombia / Juan D. Restrepo, B. Kjerfve, M. Hermelina, Juan C. Restrepo // Journal of Hydrology 316, 2006. — p. 213–232.
110. Горецкая З.А. Сток взвешенных наносов рек Украины и способы его расчета: дис. на соискание учен. степени канд. геогр. наук / З.А. Горецкая. — Киев, 1974. — 149 с.
111. Сток наносов его изучение и географическое распределение / Под ред. А.В.Караушева. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 239 с.
112. Гайдай Ю.М. Оцінка сучасної мережі спостережень за стоком наносів на річках України / Ю.М. Гайдай // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2012. — Т.1 (26). — С. 63–68.
113. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Государственный комитет СССР по гидрометеорологии природной среды. Обнинск ВНИИГМИ — МНД, 1981 — 1991.

114. Иванов Ю. Н. Сток взвешенных наносов рек бассейна Сыр-Дарья/ Ю.Н. Иванов // Труды Среднеазиатского НИГМИ. — Л.: Гидрометеиздат, 1967. — Вып. 36(51). — 310 с.
115. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. Государственный гидрологический институт ГУ «ГГИ». Санкт-Петербург: Нестор – История, 2010. — 162 с.
116. Мельник С.В. Сток взвешенных наносов на реках Подольской возвышенности / С.В. Мельник, Б.В. Киндюк, Е.В. Дилевская // Вісник Дніпропетровського університету. Серія геологія, географія, 2006. — Вип. 8. — №10. — С. 78–84.
117. Паламарчук М.М. Водний фонд України: Довідковий посібник / М.М. Паламарчук, Н.Б. Закорчевна / За редакцією В.М. Хорєва, К.А. Алієва — К.: Ніка-Центр, 2001. — 392 с.
118. Мельник С.В. Сток взвешенных наносов на Карпатских притоках Днестра / С.В. Мельник // Вісник Одеського державного екологічного університету, 2006. — Вип.2. — С. 192–199.
119. Мельник С.В. Стік завислих наносів р. Дністер / С.В. Мельник // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2006. — Т. 11. — С. 207–212.
120. Глушков В.Г. Перспективы и пути развития гидрологии в СССР / В.Г. Глушков // Изв. ГГИ, 1934. № 65. — С. 23–30.
121. Будыко М.И. Эволюция биосферы / М.И. Будыко. — Л. Гидрометеиздат, 1984. — 488 с.
122. Вишневський В.І. Про природні чинники підтоплення / В.І. Вишневський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2007. — Т. 12. — С. 78–82.
123. Вишневський В.І. Зміни стану довкілля України / В.І. Вишневський, О.О. Косовець // Географія в інформаційному суспільстві. — 2008. — Т. III — С. 5-13.
124. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра / В.К. Хільчевський, І.М. Ромась, М.І. Ромась та ін.; За ред. В.К. Хільчевського. — К.: Ніка-Центр, 2007. — 184 с.
125. Лобода Н.С. Потепління та оцінка можливих наслідків перспективи змін водних ресурсів України в умовах глобального потепління / Н.С. Лобода // Географія в інформаційному суспільстві. — 2008. — Т. III — С. 17-19.
126. Лобода Н.С. Стан водних ресурсів р.Дністер за сценаріями глобального потепління / Н.С. Лобода, Дорофєєва В.П. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2011. — Т. 3(24). — С. 36–44.
127. Гребінь В.В. Географо-гідрологічний аналіз як метод досліджень сучасних змін водного режиму річок / В.В. Гребінь // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2006. — Т. 9 — С. 17–30.
128. Лобода Н.С. Оцінка мінливості стоку річок у басейні р.Дністер / Н.С. Лобода, Дорофєєва В.П. // Вісник Одеського державного екологічного університету, 2011. — Вип. 12. — С. 168–177.

129. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления // Гидробиологический журнал. - 2000. - Т.36(3). - С. 67 – 78.
130. Loboda N.S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence // Climate and Water.-1998.-Vol.1.-P.1486-1494.
131. Лобода Н.С. Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев) // Глобальные и региональные изменения климата под ред. Шестопалова В.М., Логинова В.Ф., Осадчего В.И. и др. – К.: Ніка-Центр, 2011. – С. 340-352.
132. Лобода Н.С., Тучковенко Ю.С. Дослідження впливу змін річкового стоку за кліматичними сценаріями на гідроекологічний стан північно-західної частини Чорного моря // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: біологія). -2010. - № 3 (44) – С. 143-145.
133. Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Божок Ю.В. Вплив змін клімату на водні ресурси України у сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління А1В) // Український гідрометеорологічний журнал. – 2014. – Вип. 15. - С.149-159.
134. Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Божок Ю.В. Оцінка впливу змін клімату на водні ресурси України на основі моделі «клімат-стік» за сценарієм глобального потепління А2 // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2015. – Т.1(36). – С.8-17.
135. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Вплив кліматичних змін на водні ресурси Північно-Західного Причорномор'я у сценарних умовах (RCP8.5 та RCP4.5) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – Київ, Київський Національний університет імені Тараса Шевченка, Том 2 (41), 2016. – С.48-58.
136. Дідовець Ю., Сніжко С. Технологія підготовки даних та калібрування чисельної моделі SWIM для довгострокового прогнозування водного стоку річок // Українська географія: сучасні виклики. Зб. наук. праць. – К.: Прінт-Сервіс, 2016. – Т. III. – С.50-52.
137. Сніжко С.И., Куприков И.В., Шевченко О.Г., Павельчук Е.М., Дидовец Ю.С. Использование водно-балансовой модели Турка и численной региональной модели REMO для оценки водных ресурсов местного стока в Украине в XXI веке. // Вестник Брянского государственного университета. -2014. - №4(2014). – С.191-201.
138. Куприков І., Сніжко С. Прогноз водності басейну р. Тиси на найближчу і середню перспективу в умовах кліматичних змін // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. – К.: Прінт-Сервіс, 2016. – Т. III. – С.86-88.
139. Сніжко С., Куприков И., Шевченко О. Оценка изменения водного стока рек Украины на основе водно-балансовых моделей // Фізична географія та геоморфологія. – 2012. – Вип.2 (66). – С. 157-161.

140. Владимиров А.М. Гидрологические расчеты / А.М. Владимиров. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — 336 с.
141. Воскресенский К.П. Гидрологические расчеты при проектировании на малых реках, ручьях и временных водотоках / К.П. Воскресенский. — Л.: Гидрометеиздат, 1956. — 468 с.
142. Соколовский Д.Л. Речной сток (Основы теории и методики расчетов) / Д.Л. Соколовский. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — 540 с.
143. Бефани А.Н. Расчет нормы стока временных водотоков и горных рек украинских Карпат / А.Н. Бефани, О.Н. Мельничук // УкрНИГМИ: труды. — Л., 1967. — Вып. 69. — С. 105-137.
144. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гірологічні розрахунки: підручник. — Одеса, ТЕС, 2014. — 484 с.
145. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України [монографія]/ колектив авт.: Степаненко С.М., Польовий А.М., Лобода Н.С. [та ін.]. — Одеса: ТЕС, 2015 — 520 с.
146. Галущенко Н.Г. Гидрологические и водно-балансовые расчеты / Н.Г. Галущенко. — К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. — 248 с.
147. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В.В. Гребінь. — К.: Ника-Цнтр, 2010. — 316 с.
148. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь / А.И. Чеботарев — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 308 с.
149. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) / За ред. В.М. Ліпінського, В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко. — К.: Ніка-Центр, 2006. — 312 с.
150. Яцик А.В. Малі річки України. Довідник / А.В. Яцик. — К.: Урожай, 1991. — 296 с.
151. Мельник С.В. Динаміка водного режиму і стоку наносів річок Подолії / С.В. Мельник, Н.С. Лобода // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2009. — Т 17. — С.55-62.
152. Мельник С.В. Расчет стока взвешенных наносов на Подольских притоках Днестра / С.В. Мельник // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2011. — Т.3 (24). — С. 65-73.
153. Джамалов Р.Г. Изменение подземного стока под влиянием климата и антропогенных воздействий / Р.Г. Джамалов, И.С. Зекцер, Г.Н. Кричевец, Т.И. Сафронова, Л.Ф. Сотникова, Ю.В. Громова // Водные ресурсы. 2008. — Т.35, № 1. — С. 17-24.
154. Черная Т.М. Сравнительная оценка графических способов выделения на гидрографах речного стока подземной составляющей / Т.М. Черная // ГГИ: труды. — Л., 1964. — Вып. 114. — С. 87-100.
155. Лобода Н.С. Обоснование методики расчета подземного стока Молдовы и юго-западной Украины на базе метода главных компонент / Н.С. Лобода, О.И. Шаменкова // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. — 2001. — Вип. 44 — С. 187-191.

156. Ющенко Ю.С. Огляд характерних особливостей русел подільських приток Дністра // Наук. вісник Чернівецького ун-ту. Зб. наук. праць. – Вип. 158: Географія. – Чернівці: ЧНУ, 2002. – С.26-31.
157. Ющенко Ю.С. Дослідження особливостей морфогенезу русел подільських приток Дністра // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Географія. – Вип.8. – Вінниця, 2005. – С.28-36.
158. Ющенко Ю.С. Геогідроморфологічні закономірності розвитку русел річок (на прикладах Карпат і Поділля). // Зб. наук. праць: „Україна: географічні проблеми сталого розвитку”. – К.: ВГЛ „Обрії”, 2004. – Т.3. – С.158-160.
159. Василенко Є. В. Внутрірічний розподіл стоку завислих наносів річок Кримського півострова залежно від періоду водності / Є. В. Василенко, В.В. Гребінь // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2007. — Т. 13 — С. 94-102.
160. Балабух В. А. Региональное проявление глобального изменения климата в бассейне р. Днестр / В. А. Балабух // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2012. — Т. 2(27) — С. 117-130.
161. Державний водний кадастр. Щорічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші. 2010 р. Т 2, Вип. 1. Басейн Західного Буга, Дунаю, Дністра, Південного Буга – К.: Центральна геофізична обсерваторія, 2011. — 292 с.
162. Шакірзанова Ж.Р. Визначення основних факторів весняного водопілля річок лівобережжя Дніпра при довгострокових прогнозах його характеристик // Український гідрометеорологічний журнал. – 2013. – №.16. - С.99-109.
163. Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Шакірзанова Ж.Р. Дослідження впливу сучасних змін клімату на характеристики максимального стоку весняного водопілля на річках Полісся // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т.3(20). – С. 50-59.
164. Балабух В.О. Оцінка опадонебезпечності на території України / В.О. Балабух // Наук. праці Укр. НДГМІ /Під ред. В.І Вишневецького і О.В. Войцеховича. — К.: Укр. НДГМІ, 2000. — Вип. 248. — С. 77-84.
165. Ковальчук І.П. Гідролого-геоморфологічні процеси в Карпатському регіоні України / І.П. Ковальчук // Праці НТШ. Том ХІ. Екологічний збірник: Екологічні проблеми Карпатського регіону. — Львів, 2003. — С. 101-126.
166. Кирилюк М.І. Водний баланс і якісний стан водних ресурсів Українських Карпат. Навчальний посібник / М.І. Кирилюк — Чернівці: Рута, 2001. — 246 с.
167. Лютик П.М. Расчеты паводочного стока на реках Украины и Молдавии / П.М. Лютик, Л.Д. Михальская, Л.Н. Коваленко // УкрНИИ Госкомгидромета: труды. — Л., 1986. — Вып. 217. — С. 52-91.

168. Тимуляк Л. М. Порівняльна характеристика катастрофічних паводків ХХ - початку ХХІ ст. у Передкарпатті / Л.М. Тимуляк // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2012. — Т. 2(27) — С. 65-73.
169. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния / Н.С. Лобода — Одесса.: Экология, 2005. — 208 с.
170. Попов О.В. Подземное питание рек / О.В. Попов. — Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1968, — 298 с.
171. Амусья А.З. О подземном стоке в горные реки Средней Азии / А.З. Амусья, Н.С. Ратнер // ГГИ: труды. — Л., 1966. — Вып. 133. — С. 59-73.
172. Галущенко М.Г. Умови формування та розрахунку мінімального стоку річок басейну Дніпра (в межах України) / М.Г. Галущенко, І. М. Ромась // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2001. — Т 2. — С.289-295.
173. Ободовський О.Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України) / О.Г. Ободовський — К.: Ніка-Центр, 2001. — 274 с.
174. Мельник С.В. Динаміка стоку наносів верхньої частини Дністра / С.В. Мельник, Н.С. Лобода // Вісник одеського національного університету. Географічні та геологічні науки. — 2011. — Т 16, вип. 1. — С. 78-87.
175. Кузин П.С. Классификация рек и гидрологическое районирование СССР / П.С. Кузин — Л.: Гидрометеиздат, 1960. — 455 с.
176. Болгов М.В., Лобода Н.С., Николаевич Н.Н. Пространственное обобщение коэффициентов автокорреляции годового стока Украины // Тр. УкрНИГМИ. — 1993. — Вып. 245. — С. 22-29.
177. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами / С. Н. Крицкий, М. Ф. Менкель. — Москва: Наука, 1982. — 271 с.
178. Кузин П.С., Бабкин В.И. Географические закономерности гидрологического режима рек / П.С. Кузин, В.И. Бабкин — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 200 с.
179. Синайская Т.М. Асинхронность стока и водные ресурсы основных рек районов орошения УССР / Т.М. Синайская, Ю.В. Швейкин // УкрНИГМИ: труды. — Л., 1971. — Вып. 71. — С. 124–136.
180. Антипов А.Н., Ланшафтно-гидрологическая организация территории / А.Н. Антипов, В.Н. Федоров — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. — 254 с.
181. Маринич О.М. Фізична географія України: Підручник / О.М. Маринич, П.Г. Шищенко — К.: Знання, 2005. — 511 с.
182. Гребінь В.В. Пропозиції щодо ландшафтно-гідрологічного районування території України / В.В. Гребінь // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2009. — Т. 17 — С. 26-39.
183. Лобода Н.С. Многолетняя изменчивость климата и водного режима рек Подолии / Н.С. Лобода, С.В. Мельник // Український гідрометеорологічний журнал. — 2009. — № 5 — С. 184-191.

184. Олійник В.С. Стокорегулювальна і водоохоронна ролі лісу на річкових басейнах Карпат / В.С. Олійник В.С. // Наукові праці лісівничої академії наук України: Зб. наук.-техн. праць. — Львів: НЛТУ України, 2008. — Вип. 7. — С. 88-95.
185. Сенцова Н.И. Применение методов кластер-анализа в задачах районирования территории каспийского бассейна по характеристикам сезонной изменчивости речного стока / Н.И. Сенцова // Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе. Труды международной научной конференции. Москва, 19-20 октября 2006 г. — М.: Институт водных проблем, 2006. — С. 186-190.
186. Гребінь В.В. Використання багатомірного статистичного аналізу для ландшафтно-гідрологічного районування території України / Гребінь В.В., Чорноморець Ю.О. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2009. — Т. 16 — С. 24-35.
187. Мандель И.Д. Кластерный анализ / И.Д. Мандель — М.: Финансы и статистика, 1988. — 176 с.
188. Мельник С.В. Районирование бассейна верхнего Днестра по характеру колебаний годового стока на основе кластерного анализа / С.В. Мельник, Н.С. Лобода // Український гідрометеорологічний журнал. — 2010. — № 6. — С. 180-189.
189. Мельник А.В. Вплив антропогенної перетвореності річкових басейнів на паводки Карпато-Подільських приток Дністра: автореф. дис. ... к.геогр.н. / А. В. Мельник. — Киев: КНУ імені Тараса Шевченка, 2013. — 20 с.
190. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч. У. Мьюллер, У. Р. Клекка и др.; под ред. И. С. Енюкова. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 215 с.
191. Лобода Н.С. Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках: Навчальний посібник / Н.С. Лобода — Одеса.: Екологія, 2010. — 184 с.
192. Ковальчук І.П. Сучасні морфодинамічні процеси у гірсько-лісових ландшафтах Українських Карпат / І.П. Ковальчук, А.В. Михнович // Український державний лісотехнічний університет. Науковий вісник. — 2004. — Вип. 14.3 — С. 273-285.
193. Коваль Я.В. Катастрофічні паводки в Карпатах і напрямки запобігання їм / Я.В. Коваль // Наукові праці лісівничої академії наук України. — 2008. — Вип. 6. — С. 47-50.
194. Рассказова Н.С. Пространственно-временная структура полей стока рек Камского и Тобольского бассейнов и ее связь с космо- и геофизическими факторами: автореф. дис....д-ра. геогр. н. / Н.С. Рассказова. — Челябинск: Южно-Уральский государственный университет, 2004. — 37 с.
195. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)].

- Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
196. Степаненко С.М. Динаміка моделювання клімату: піручник. – Одеса: Екологія, 2013. – 204 с.
 197. Рождественский А.В. Статистические методы в гидрологии / А.В. Рождественский, А.И. Чеботарев. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 423 с.
 198. Раткович Д.Я. Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна / Д.Я. Раткович, М.В. Болгов. — М.: Российская академия наук, 1997. — 263 с.
 199. Строительные нормы и правила. Определение расчетных гидрологических характеристик. СНиП 2.01.14-83. — М.: Стройиздат, 1985. — 35 с.
 200. Строительные нормы и правила. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. — М.: Издательство Госстрой России, 2004. — 70 с.
 201. Дружинин И.П. Свойства многолетних колебаний гидрометеорологических элементов, их предсказание и математические модели / И.П. Дружинин // География и природные ресурсы. — 1980. — № 1. — С. 31-42.
 202. Гирс А. А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные метеорологические прогнозы. / А.А. Гирс. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 280 с.
 203. Чорноморець Ю. О. Закономірності в багаторічних коливаннях водності гірських річок (на прикладі річок Українських Карпат) / Ю. О. Чорноморець, В.В. Онишук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2007. — Т. 13. — С. 40-46.
 204. Дружинин И.П. Генетические основы сверхдолгосрочного прогноза полезного притока в оз. Байкал / И.П. Дружинин, З.П. Коноваленко // Природные ресурсы Сибири (исследования преобразования охрана). — Новосибирск: Наука, 1976. — С. 48-64.
 205. Эдельштейн К.К. Географическая типизация структуры материковых гидрологических циклов и тенденции их антропогенного преобразования / К.К. Эдельштейн // Вопросы географии / Моск. отделение Русского геогр. о-ва. Сб. 133: Географо-гидрологические исследования / Отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова. — М.: Издательский дом «Кодекс», 2012. — С. 159-181.
 206. Долгов С.В. Пространственные и временные изменения вертикальной структуры речного стока в Европейской части России / С.В. Долгов // Вопросы географии / Моск. отделение Русского геогр. о-ва. Сб. 133: Географо-гидрологические исследования / Отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова. — М.: Издательский дом «Кодекс», 2012. — С. 189-211.
 207. Георгиади А.Г. Сценарная оценка изменений стока рек Волги и Дона, возможных в первой трети XXI века / А.Г. Георгиади, И.П. Милюкова. // Вопросы географии / Моск. отделение Русского геогр. о-ва. Сб. 133:

- Географо-гидрологические исследования / Отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова. — М.: Издательский дом «Кодекс», 2012. — С. 224-237.
208. Александрова К. В. Анализ пространственно-временной изменчивости слоя половодья рек Северо-Запада РФ / К. В. Александрова // Международная конференция и школа-семинар для молодых ученых и аспирантов «Первые Виноградовские чтения. Будущее гидрологии» (16 – 18 ноября 2013, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург). Сборник тезисов. — С. 58-59.
209. Картвелишвили Н.А. Стохастическая гидрология / Картвелишвили Н.А. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 218 с.
210. Любушин А.А. Исследование общих эффектов вариаций стока рек / А. А. Любушин, В.Ф. Писаренко, М. В. Болгов, Т. А. Рукавишникова // Метеорология и гидрология. — 2003. — № 7. — С. 76 — 88.
211. Логинов В. Ф. Спектрально-временной анализ уровневого режима озер и колебаний расходов воды крупных рек Беларуси / В. Ф. Логинов, В. Ф. Иконников // Природопользование. Сб. науч. тр.: Под ред. И. И. Лиштвана, В. Ф. Логинова. Вып. 9. — Минск: ОДО Тонпик, 2003. — С. 25 — 33.
212. Бубин М.Н. Ритмичность сезонного стока рек Челябинской области и ее влияние на хозяйственную деятельность / М.Н. Бубин // Успехи современного естествознания. — М.: Академия естествознания, 2007. — № 2. — С.65 — 68.
213. Новороцкий П. В. Колебания стока Амура за последние 110 лет / П. В. Новороцкий // География и природные ресурсы. — Новосибирск, 2007. — № 4. — С. 86—89.
214. Касаткина В.А. Проявление циклов солнечной активности в атмосфере Северной Атлантики и Европе / В. А. Касаткина, О. И. Шумилов, А. Г. Канатьев // Метеорология и гидрология. — 2006. — № 1. — С. 55-59.
215. Шакина Н.П. Спектры повторяемости осадков на территории европейской части бывшего СССР в зависимости от интенсивности фронтальных зон и неустойчивости сеточного масштаба / Н. П. Шакина, Е. Н. Скриптунова // Метеорология и гидрология. — 2006. — №4. — С. 5—18.
216. Stoica, P., and R.L. Moses, Introduction to Spectral Analysis. – Prentice-Hall, 1997. – 376 p.
217. Чорноморець Ю. О. Дослідження коливань водності річок Українських Карпат / Ю. О. Чорноморець // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2004. — Т. 6. — С. 110—115.
218. Розенберг Г.С. Экологическое прогнозирование (Функциональные предикторы временных рядов) / Г.С.Розенберг, В.К.Шитиков, П.М.Брусиловский — Тольяти: Институт экологии Волжского бассейна РАН, 1994. — 182 с.
219. Рассказова Н. С. Влияние космо- и геофизических факторов на сток рек Зауралья / Н. С. Рассказова // Вестник Челябинского гос. ун-та. Серия 4. Естественные науки. — Челябинск: Изд-во ЧГПИ, 1996. — С. 213— 222.

220. Мельник С.В. Аналіз часових рядів стоку приток Дністра, що стікають з Подільської височини / Мельник С.В. // Вісник одеського національного університету. Географічні та геологічні науки. — 2007. — Т 12. Вип. 8. — С. 118-126.
221. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. \ Н.Э. Голяндина. — СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. — 76 с.
222. Александров Ф. И. Выделение аддитивных компонент временного ряда при пакетной обработке методом “Гусеница”-SSA / Александров Ф. И. // Вестник СПбГУ, Сер. 1. Математика. Механика. Астрономия. — 2006. — № 2. — С. 71–74.
223. World Data Center for the production, preservation and dissemination of the international sunspot number. [Электронный ресурс] / Royal Observatory of Belgium. — Режим доступа: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>.
224. Полонский А.Б. Роль океана в изменениях климата: моногр. / А.Б. Полонский. — К.: Наук. думка, 2008. — 182 с.
225. Полонский А.Б. Влияние Северо-Атлантического колебания, Эль-Ниньо - Южного колебания и Индоокеанского диполя на пространственно-временную изменчивость приземной температуры воздуха и атмосферного давления Средиземноморско-Черноморского региона / А.Б. Полонский, А.В. Торбинский, Д.В. Башарин // Вісник Одеського державного екологічного університету. — 2008. — № 6. — С. 181–197.
226. Thompson D. Arctic oscillation - a new climatic factor / D. Thompson, J.M. Walles // Science. — 1999. — V. 284. — P. 241-246.
227. Thompson D. Regional climate impacts of the Northern Hemisphere annular mode. / D. Thompson, J.M. Walles // Science. — 2001. — V. 293. — P. 85-89.
228. Solomon S. Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis [et al]. // Cambridge, UK: Cambridge University Press. — 2007. — P. 235–336.
229. Воскресенская Е.Н. Особенности гидрометеорологических полей тихоокеанского региона в связи с событиями Эль-Ниньо / Е.Н. Воскресенская, Н.В. Михайлова, В.Н. Маслова // Український гідрометеорологічний журнал. — 2010. — № 6. — С. 234-241.
230. Смирнов Н.П. Североатлантическое колебание и климат / Н.П. Смирнов, В.Н. Воробьев, С.Ю. Качанов. — СПб.: Изд. РГГМУ, 1998. — 121 с.
231. Ефимов В.В. Формирование аномалий атмосферных осадков в регионе Черного моря и других регионов Европы в зимние сезоны 80-90-х годов / В.В. Ефимов, А.А. Сизов, М.В. Шокуров, А.Е. Чехлан // Морской гидрофизический журнал. — 2001. — № 1. — С. 46-54.
232. Сизов А.А. Гидрометеорологические характеристики в регионе Черного моря в годы с экстремальными значениями саргассовоморско-

- черноморского индекса / А.А. Сизов, А.Е. Чехлан // Морской гидрофизический журнал. — 2010. — № 2. — С. 26-35.
233. Воскресенская Е.Н. Проявления глобальных процессов в системе океан - атмосфера в циклонической активности в Средиземноморско-Черноморском регионе / Е.Н. Воскресенская, В.Н. Маслова // Вісник Одеського державного екологічного університету. — 2010. — № 10. — С. 193-199.
234. Лобода Н.С. Оценка влияния атмосферных процессов Северной Атлантики на формирование полей годового стока рек Украины / Н.С. Лобода // Український гідрометеорологічний журнал. — 2008. — № 3. — С. 167 – 177.
235. Лобода Н.С. Оцінка впливу мінливості Північно-Атлантичного та Скандинавського коливань на гідрометеорологічні характеристики України / Н.С. Лобода, А.О. Коробчинська // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2010. — № 18. — С.91-98.
236. Бардин М.Ю. Тихоокеанская декадная осцилляция и европейские климатические аномалии / М.Ю. Бардин, Е.Н. Воскресенская // Морской гидрофизический журнал. — 2007. — № 4. — С. 13-23.
237. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов. / В. Е. Гмурман. — М.: Высшая школа, 2004. — 479 с.
238. Школьный Є.П. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: навчальний підручник / Є.П. Школьный, І.Д. Лоева, Л.Д. Гончарова. — К.: Міносвіти України, 1999. — 600 с.
239. Чорноморець Ю.О. Багаторічна динаміка основних елементів водного режиму р. Десна / Ю.О. Чорноморець // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2009. — № 17. — С. 80-93.
240. Robertson Andrew W. Influence of Ocean–Atmosphere Interaction on the Arctic Oscillation in Two General Circulation Models / Andrew W. Robertson // J. Climate. — Vol. 14. — Issue 15. — P. 3240–3254.
241. Хортон Р. Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов / Р.Е. Хортон. — М.: Издательство иностранная литература, 1948 — 158с.
242. Мельник С.В. Расчет стока взвешенных наносов на реках западной Подолии с учетом хозяйственной деятельности / С.В. Мельник // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия “География”. — 2011 г. — Том 24 (63), №2, часть 3. — С. 158-162.
243. Мостеллер Ф. Анализ данных и регрессия / Ф. Мостеллер, М. Тьюки. — М.: Финансы и статистика, 1982. — 120 с.
244. Либин И.Я. Гелиоклиматология: внеземные источники земного климата / И.Я. Либин, Перес Пераса Х., В.Г. Янке, Л.И. Дорман, Е.М. Трейгер // Успехи современного естествознания. — 2012. — № 7. — С. 67-70.
245. Сизов А.А. Аномалии поверхностной температуры Черного моря в годы четного и нечетного циклов солнечной активности / А.А. Сизов, А.Е.

- Чехлан, А.Е. Анисимов // Морской гидрофизический журнал. — 2013. — № 4. — С. 51-60.
246. Кутовий С.С. Вплив сонячної активності на водність річки Прип'ять / С.С. Кутовий. // Наук. праці Укр. НДГМІ — К.: Укр. НДГМІ, 2007. — Вип. 256. — С. 259-264.
247. Golyandina N. Singular Spectrum Analysis for Time Series / Golyandina Nina, Anatoly Zhigljavsky. — Springer, 2013. — 120 p.
248. Loskutov A. Testing and Forecasting the Time Series of the Solar Activity by Singular Spectrum Analysis / A. Loskutov, I.A. Istomin, K.M. Kuzanyan, O.L. Kotlyarov // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. — 2001. — Vol. 4, No. 1. — P. 47-54.
249. Тростников М. В. Влажные и засушливые летние сезоны в Приамурье и солнечная активность / М.В. Тростников // Вопросы географии Дальнего Востока. — Хабаровск: Хабар. кн. изд-во, 1967. — № 8. — С. 3-22.
250. Новороцкий П. В. Колебания стока Амура за последние 110 лет / П. В. Новороцкий // География и природные ресурсы. — Новосибирск, 2007. — № 4. — С. 86-90.
251. Слепцов-Шевлевич Б.А. Гидрометеорологические проявления многолетних изменений солнечной активности: автореф. дис. ... д.геогр.н. / Б. А. Слепцов-Шевлевич. — Л.: ВИМУ, 1982. — 30 с.

Научное издание

**МЕЛЬНИК СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
ЛОБОДА НАТАЛИЯ СТЕПАНОВНА**

**ДИНАМИКА НАНОСОВ ВЕРХНЕГО И СРЕДНЕГО ДНЕСТРА
В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ
И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

МОНОГРАФИЯ

На русском языке

Підп. до друку 24.05.2019. Формат 60х84/16 Папір офс.

Умовн. друк. арк.17,21. Тираж 60. Зам. № 0669

Видавництво та друкарня «ТЕС»

(Свідоцтво ДК№ 771) Одеса, вул.Канатна 81/2

Тел.:(0482)42-90-98, (0482)42-89-72

Напечатано с готового оригинал – макета

Одесский государственный экологический университет

65016, Одесса, ул. Львовская, 15
