

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСХОДА ВОДЫ И МУТНОСТИ РЕК БЕЛАРУСИ

А. А. Волчек¹, И. Н. Розумец²

¹ Профессор, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, volchak@tut.by

² Аспирант, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, ivan.rozumets@bk.ru

Аннотация

Проведен анализ сезонной изменчивости стока воды и наносов. Произведен расчет осредненных по пятилеткам гидрологических характеристик. Расход стока наносов в течении года распределяется равномерно, в период весеннего половодья переносится до 40% годового стока наносов. Построены графики S-Q связей, для исследуемых рек характерны 2 типа классов.

Ключевые слова: S-Q связь, взаимосвязь расхода воды и мутности, взвешенные наносы, сток наносов.

SEASONAL VARIABILITY OF WATER DISCHARGE AND TURBIDITY OF RIVERS OF BELARUS

A. A. Volchak, I. N. Rozumets

Abstract

An analysis of the seasonal variability of water and sediment runoff was carried out. The hydrological characteristics averaged over five-year periods were calculated. The sediment flow rate is distributed evenly throughout the year; during the spring flood period, up to 40% of the annual sediment flow is transferred. Graphs of S-Q connections were constructed; the rivers under study are characterized by 2 types of classes.

Keywords: S-Q relationship, relationship between water flow and turbidity, suspended sediment, sediment runoff.

Введение. На формирование стока наносов влияют различные природные и антропогенные факторы, а именно, выветривание, денудация, почвенная эрозия и хозяйственная деятельность человека. При решении научных и практических задач необходимо учитывать влияние вышеперечисленных факторов на характеристики стока наносов: мутность воды, сток взвешенных и влекомых наносов, транспортирующую способность потока. Изучение факторов формирования стока наносов необходима для хозяйственной деятельности. Добыча нерудных строительных материалов, углубление дна могут привести к негативным последствиям для русла реки, а также ее обитателей. Увеличение мутности

приводит к ухудшению кормовой базы рыб и благоприятности условий обитания, разрушению нерестилищ.

Зависимость мутности от расхода воды может существенно изменяться в зависимости от сезона года. Последние полные обобщения данных по средним значениям мутности вод, стока взвешенных наносов, модулю твердого стока в Беларуси относятся к середине прошлого века и не учитывают современных гидрометеорологических условий речной сети территории. Внутригодовая закономерность изменения характеристик стока наносов рек Беларуси ранее не изучалась. Поэтому основная цель статьи в анализе закономерностей внутригодового изменения характеристик стока наносов рек Беларуси.

Выделяют 5 классов кривых вида $S = f(Q)$. I класс объединяет однозначные зависимости прямолинейного, экспоненциального и логарифмического вида (рис. 1, А). Зависимости вида IA, а, б, в возникают в том случае, если мутность и расход воды имеют синхронные пики, идентичное распределение и коэффициент асимметрии, но при этом необязательно совпадающие величины относительных изменений мутности и расхода воды. Типы зависимостей IB, IB получают тогда, когда оба временных графика имеют синхронные пики, идентичную форму распределения и высоту пиков, но при этом разное количественное распределение. Связи II, III, IV и V классов включают криволинейные зависимости – симметричные петли различной направленности (по часовой и против часовой стрелки), асимметричные петли, петли в виде восьмерки (рис. 1, б). Тип II, а возникает в водотоке в том случае, если пик мутности проходит раньше пика расхода воды и оба графика имеют примерно одинаковый коэффициент асимметрии, величина мутности в возрастающей части кривой превышает аналогичную величину в убывающей части при одном и том же значении расхода воды. Тип II, б проявляется в том случае, если пики мутности и расхода воды совпадают, временные графики имеют разные коэффициенты асимметрии, при этом величина мутности в возрастающей части кривой превышает аналогичную величину в убывающей части при одном и том же расходе воды. Формирование взаимосвязи расхода воды и мутности по часовой стрелке объясняется двумя причинами. Во-первых, истощением запасов взвешенных наносов в системе перед тем, как пройдет максимум расхода воды вследствие малого количества наносов в системе или по причине длительного и мощного половодья (паводка). Во-вторых, формированием армирующего слоя перед прохождением пика расхода воды. Типы III, а, III, б аналогичны типу II с той разницей, что максимум расхода воды опережает максимум мутности. Петли такого типа (против часовой стрелки), вероятно, формируются вследствие трех основных причин. Первая причина связана с относительным временем добега волн паводка и расхода взвешенных наносов, причем разница между ними увеличивается при движении вниз по течению. Вторая причина может быть связана с высокой эродируемостью почв и одновременно растянутым половодьем. Третья причина заключается в сезонной изменчивости в распределении осадков и поступления взвешенных наносов в систему. Увеличение разницы в относительном распределении

приводит к тому, что петли становятся асимметричными, возникают зависимости вида IV. Тип V, а проявляется в том случае, если в начале развития гидрологического события величина расхода воды и мутности изменяются полностью синхронно, а затем ситуация развивается аналогично типу II, а [1-4].

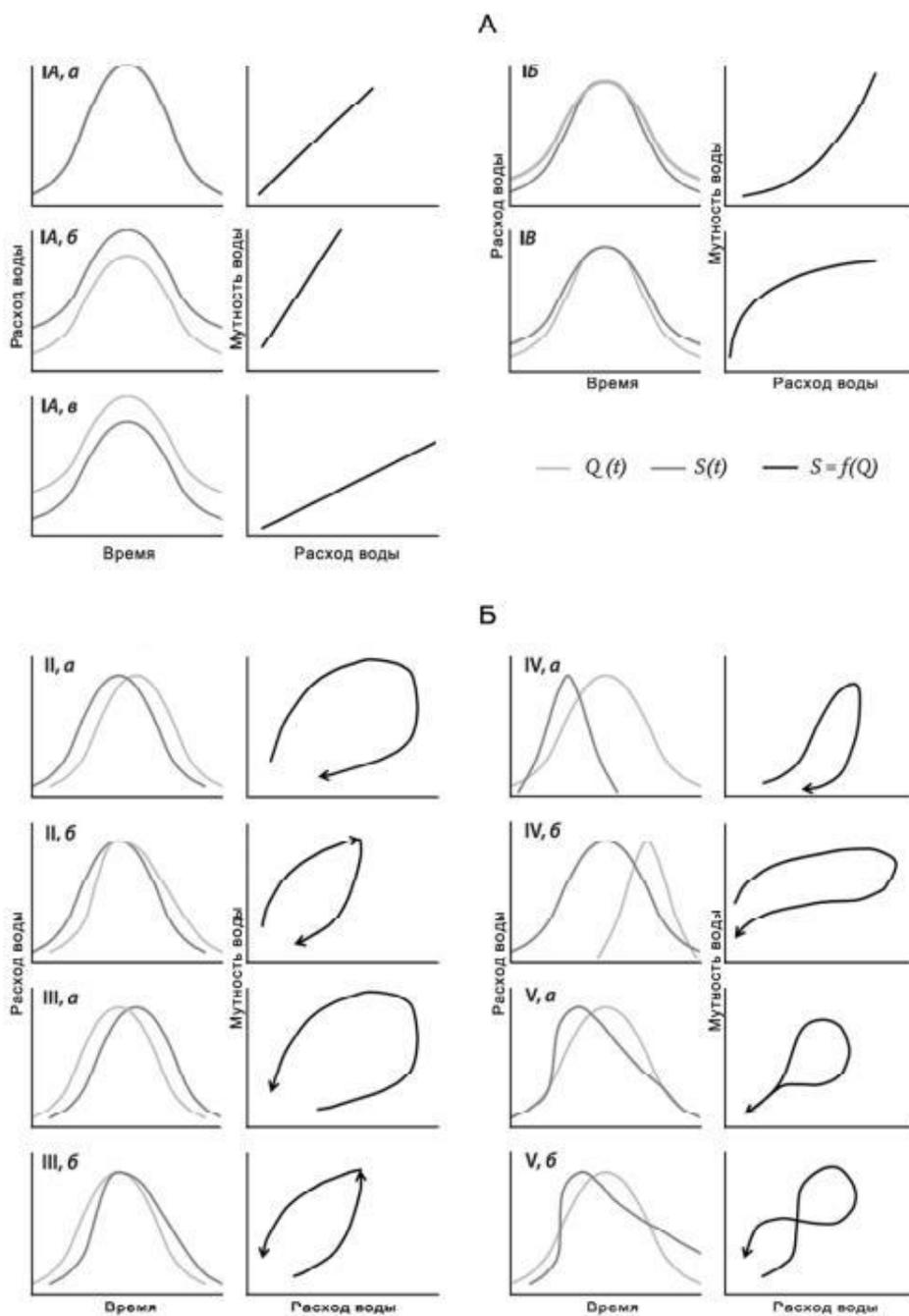


Рисунок 1 – Основные типы связей мутности и расходов воды: А – I класса, Б – II, III, IV, V классов (по [4])

Материалы и методы. Основой для работы являются измеренные значения расходов воды (Q) и мутности (S) из ежегодников государственного водного кадастра «Том III. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод» на. Были исследованы пункты р.Полота – с.Янково 1-е, р.Виляя – г.Вилейка, р.Виляя – с.Стешницы, р.Лесная – с.Тюхиничи, р.Ясельда – с.Сенин.

При определении гидрологических характеристик использовали методы статистического анализа [8]. Для выявления сезонной изменчивости гидрологических характеристик рек Беларуси произведен расчет величин средних годовых расходов воды и взвешенных наносов, средней годовой мутности, модуля стока взвешенных наносов за пятилетние периоды.

Результаты и обсуждение. По расчетам в таблице 1 видно, что осредненная по пятилеткам величина среднего годового расхода взвешенных наносов на р.Полота – с.Янково 1-е с 1990–2018 гг. уменьшилась с 0,053 кг/с до 0,019 кг/с, на р.Виляя – г.Вилейка уменьшилась с 0,265 кг/с до 0,048 кг/с, на р.Виляя – с.Стешицы уменьшилась с 0,042 кг/с до 0,020 кг/с, на р.Лесная – с.Тюхиничи уменьшилась с 0,063 кг/с до 0,055 кг/с, на р.Ясельда – с.Сенин уменьшилась с 0,166 кг/с до 0,062 кг/с. В связи с этим на данных пунктах уменьшились величины средней годовой мутности и среднего годового модуля стока наносов.

Уменьшение величин основных гидрологических характеристик рек во времени можно объяснить влиянием хозяйственной деятельности (строительство водохранилищ, гидроэлектростанций, канализирование русла), а также не совершенностью отбора проб.

Таблица 1 – Осредненные по пятилетиям гидрологические характеристики рек

| Река-пункт | Площадь водосбора, км ² | Период | Средний годового расход воды, м ³ /с | Средний годового расход взвешенных наносов, кг/с | Средняя годовая мутность, г/м ³ | Средний годового модуль стока наносов, т/км ² |
|-------------------------|------------------------------------|-----------|---|--|--|--|
| р.Полота – с.Янково 1-е | 618 | 1990-1994 | 6,67 | 0,053 | 7,5 | 13,42 |
| | | 1995-1999 | 5,18 | 0,048 | 11,8 | 12,24 |
| | | 2000-2004 | 4,53 | 0,026 | 4,1 | 6,51 |
| | | 2005-2009 | 5,58 | 0,020 | 3,5 | 5,11 |
| | | 2010-2014 | 4,72 | 0,027 | 6,0 | 6,86 |
| | | 2015-2018 | 4,87 | 0,019 | 4,0 | 3,92 |
| р.Виляя – г.Вилейка | 4190 | 1990-1994 | 20,66 | 0,265 | 11,3 | 9,98 |
| | | 1995-1999 | 21,6 | 0,311 | 10,2 | 11,7 |
| | | 2000-2004 | 17,72 | 0,151 | 6,4 | 5,68 |
| | | 2005-2009 | 22,02 | 0,154 | 5,6 | 5,81 |
| | | 2010-2014 | 23,2 | 0,169 | 6,2 | 6,37 |
| | | 2015-2018 | 23,58 | 0,048 | 3,0 | 1,44 |
| р.Виляя – с.Стешицы | 1230 | 1990-1994 | 8,62 | 0,042 | 4,2 | 5,36 |
| | | 1995-1999 | 9,58 | 0,076 | 5,5 | 9,68 |
| | | 2000-2004 | 7,48 | 0,040 | 4,0 | 5,14 |
| | | 2005-2009 | 8,63 | 0,052 | 5,0 | 6,61 |
| | | 2010-2014 | 7,66 | 0,043 | 4,5 | 5,53 |
| | | 2015-2018 | 7,40 | 0,020 | 3,7 | 2,06 |
| р.Лесная – с.Тюхиничи | 2590 | 1990-1994 | 9,13 | 0,063 | 6,0 | 6,49 |
| | | 1995-1999 | 10,1 | 0,070 | 5,1 | 7,17 |
| | | 2000-2004 | 8,28 | 0,051 | 5,8 | 5,20 |
| | | 2005-2009 | 8,90 | 0,044 | 4,1 | 4,50 |

| Река-пункт | Площадь водосбора, км ² | Период | Средний годовой расход воды, м ³ /с | Средний годовой расход взвешенных наносов, кг/с | Средняя годовая мутность, г/м ³ | Средний годовой модуль стока наносов, т/км ² |
|---------------------|------------------------------------|-----------|--|---|--|---|
| | | 2010-2014 | 11,62 | 0,046 | 4,4 | 4,76 |
| | | 2015-2018 | 10,93 | 0,055 | 3,8 | 5,68 |
| р.Ясельда – с.Сенин | 5110 | 1990-1994 | 19,34 | 0,166 | 8,9 | 5,12 |
| | | 1995-1999 | (20,18) | 0,101 | 6,0 | 2,53 |
| | | 2000-2004 | 15,94 | 0,095 | 5,2 | 2,92 |
| | | 2005-2009 | (21,03) | 0,103 | 4,2 | 2,43 |
| | | 2010-2014 | 21,58 | 0,077 | 4,1 | 2,37 |
| | | 2015-2018 | 17,23 | 0,062 | 5,8 | 1,54 |

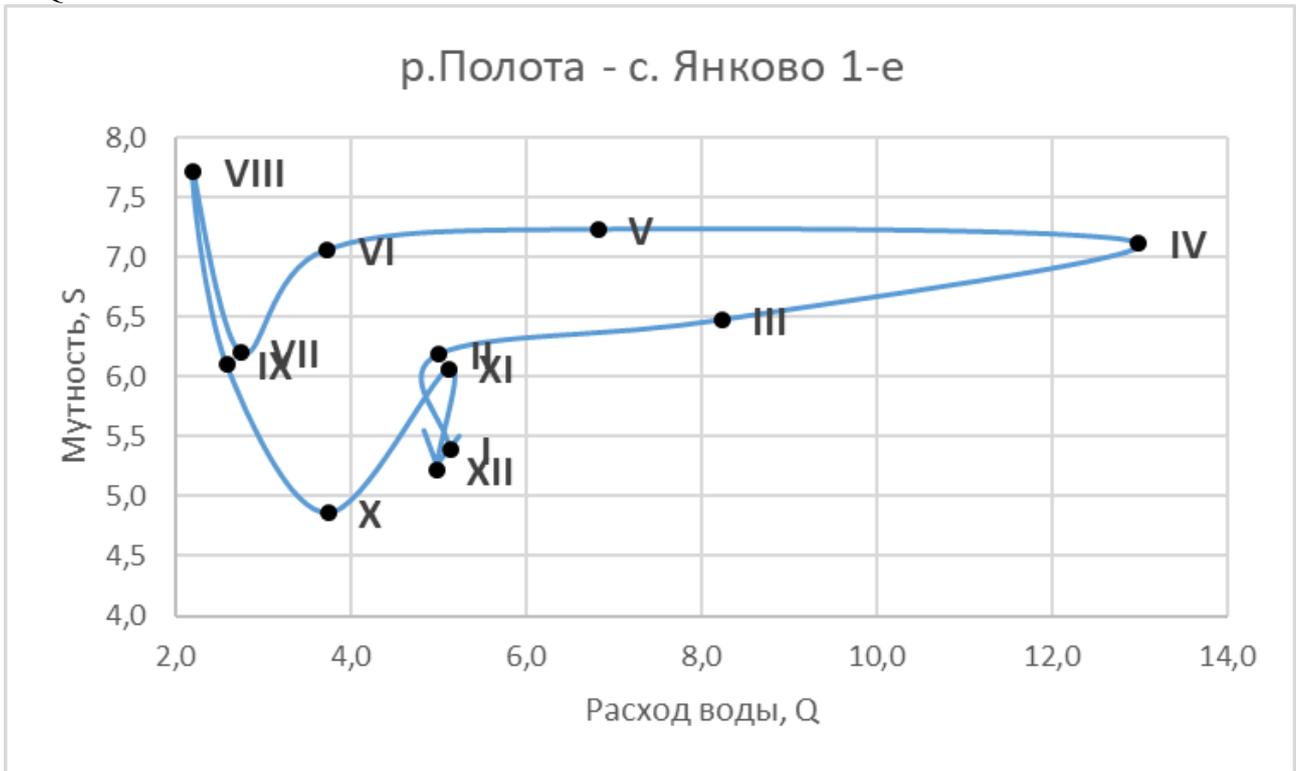
Основная масса, согласно таблице 2, взвешенных частиц исследуемых рек переносится в течении всего года, с выраженным увеличением при весеннем половодье (на 50% в сравнении с месяцами не характеризующимися течением половодья). Весенне-летним половодьем переносится 30-40% стока взвешенных частиц.

Таблица 2 – Внутригодовое распределение стока воды и взвешенных наносов, % от годовых величин

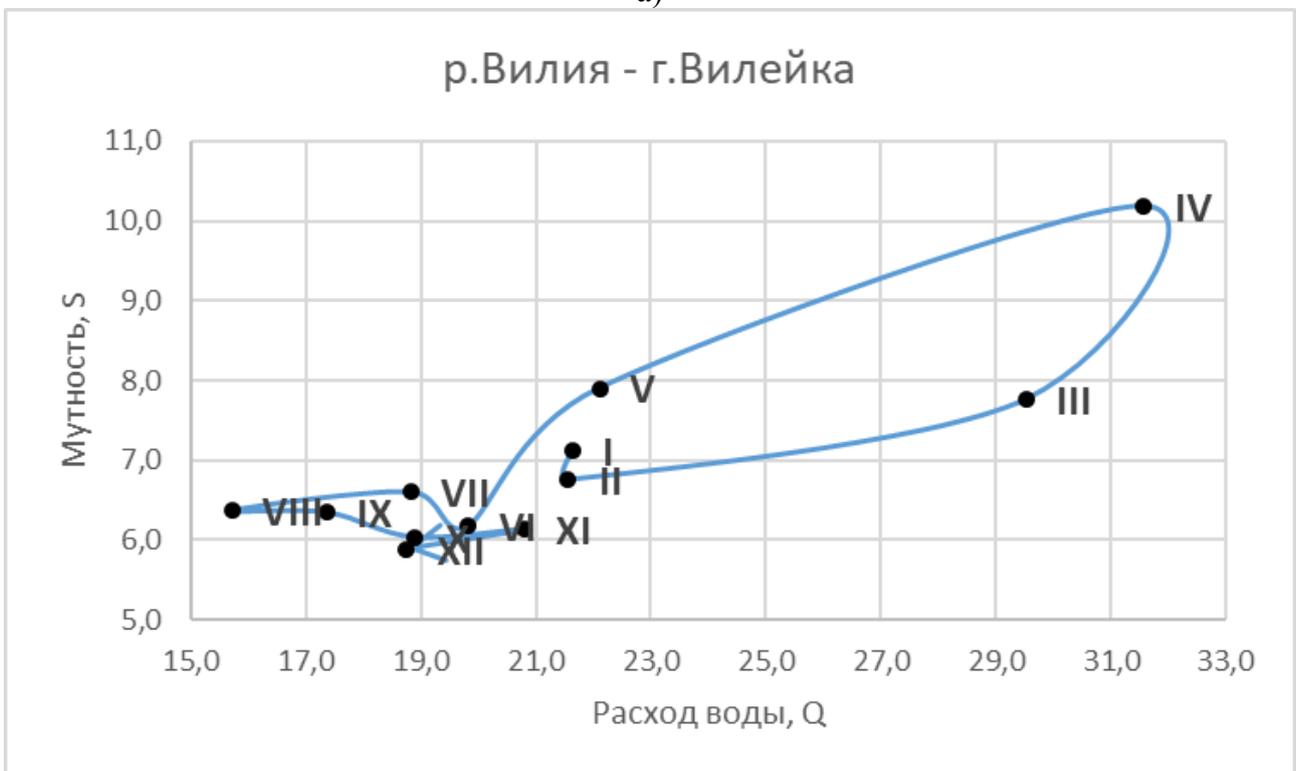
| Река - пункт | Характеристика | Месяц | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|
| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| р.Полота – с.Янково 1-е | Q | 8,1 | 7,9 | 13,0 | 20,5 | 10,8 | 5,9 | 4,3 | 3,5 | 4,1 | 5,9 | 8,1 | 7,9 |
| | S | 7,1 | 8,2 | 8,6 | 9,4 | 9,6 | 9,3 | 8,2 | 10,2 | 8,1 | 6,4 | 8,0 | 6,9 |
| р.Вилия – г.Вилейка | Q | 8,4 | 8,4 | 11,5 | 12,3 | 8,6 | 7,7 | 7,3 | 6,1 | 6,8 | 7,4 | 8,1 | 7,3 |
| | S | 8,6 | 8,1 | 9,3 | 12,2 | 9,5 | 7,4 | 7,9 | 7,6 | 7,6 | 7,2 | 7,4 | 7,1 |
| р.Вилия – с.Стешицы | Q | 10,2 | 8,3 | 13,7 | 11,6 | 8,0 | 4,5 | 5,3 | 5,0 | 6,9 | 7,2 | 10,0 | 9,2 |
| | S | 7,7 | 8,7 | 10,5 | 11,1 | 9,7 | 10,8 | 9,2 | 6,7 | 5,7 | 6,0 | 7,4 | 6,4 |
| р.Лесная – с.Тюхиничи | Q | 9,6 | 11,4 | 14,5 | 14,7 | 8,2 | 5,2 | 5,0 | 4,4 | 4,8 | 5,9 | 7,8 | 8,7 |
| | S | 6,8 | 8,3 | 10,5 | 11,2 | 9,6 | 8,7 | 9,1 | 7,9 | 7,3 | 6,8 | 7,1 | 6,7 |
| р.Ясельда – с.Сенин | Q | 8,7 | 10,5 | 13,7 | 14,5 | 10,3 | 6,6 | 5,6 | 4,6 | 4,5 | 5,8 | 7,4 | 7,8 |
| | S | 5,9 | 7,1 | 9,0 | 10,2 | 11,3 | 11,8 | 10,5 | 9,2 | 7,1 | 6,1 | 6,2 | 5,4 |

Как показано на рис.2 пик расхода воды наступает раньше пика мутности. Для реки Полоты – с.Янково 1-е характерна связь IIIa (согласно рис. 1). Для реки Вилия – г.Вилейка характерна связь IIIб. Для реки Вилия – с.Стешицы характерна связь IIIa. Для реки Лесная – с.Тюхиничи характерна связь IIIб. Для реки Ясельда – с.Сенин характерна связь IIIa. Для всех исследуемых рек типична одна и та же картина, когда пик расхода воды опережает пик мутности. Однако скорое уменьшение расходов воды не ведет такого же быстрого уменьшения мутности. Мутность уменьшается заметно медленнее, достигая наименьшего значения в ноябре-декабре, тогда как расход воды уже в июле-августе. Только на р. Вилия в створе около г. Вилейка.

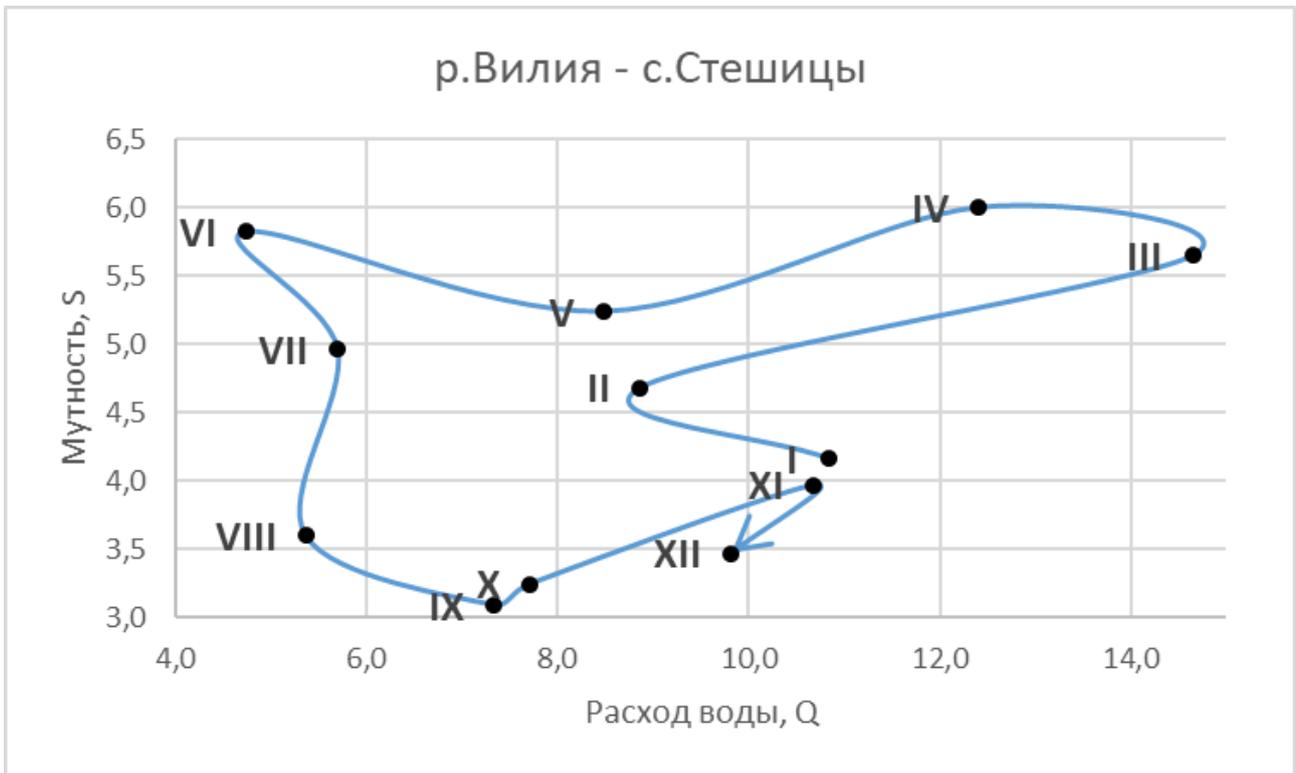
По данным наблюдений за расходами и мутностью воды по 5 постам Беларуси за период с 1990 по 2018 гг. выявлены 2 типа взаимосвязи характеристик S-Q связей.



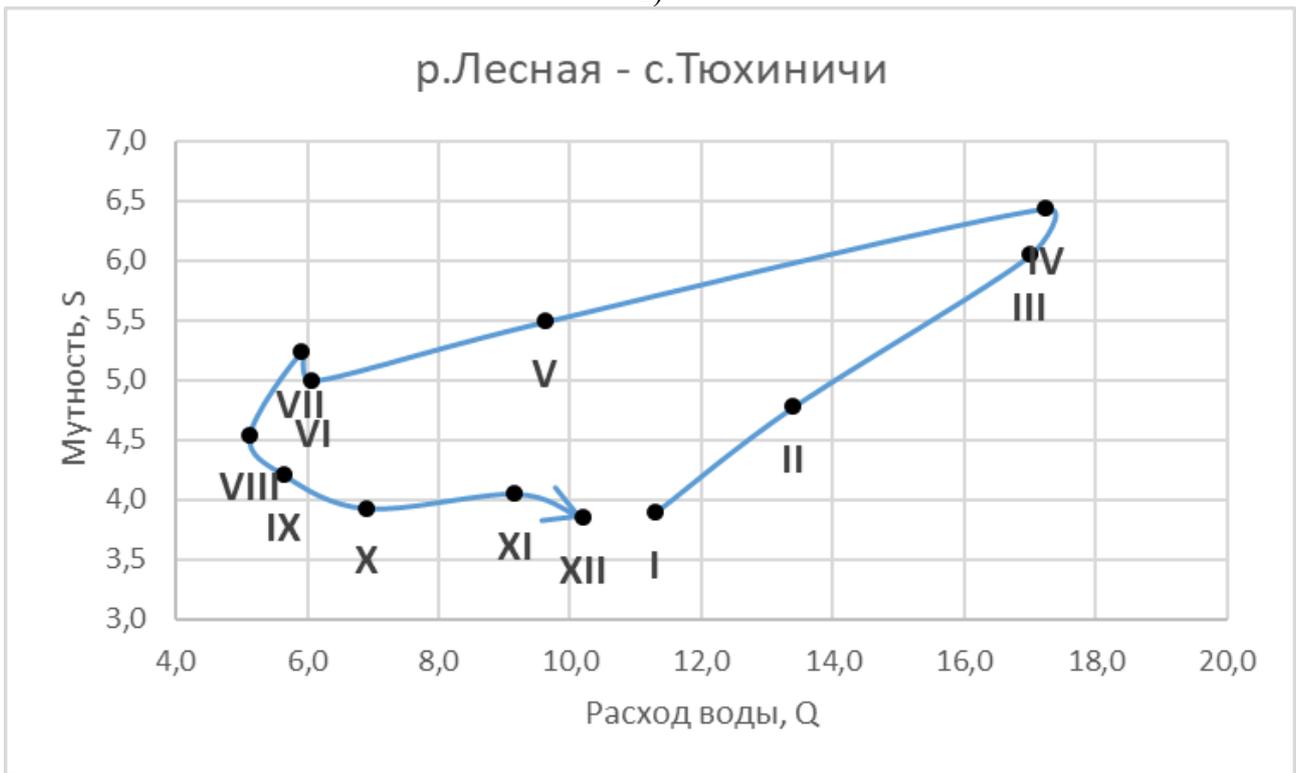
а)



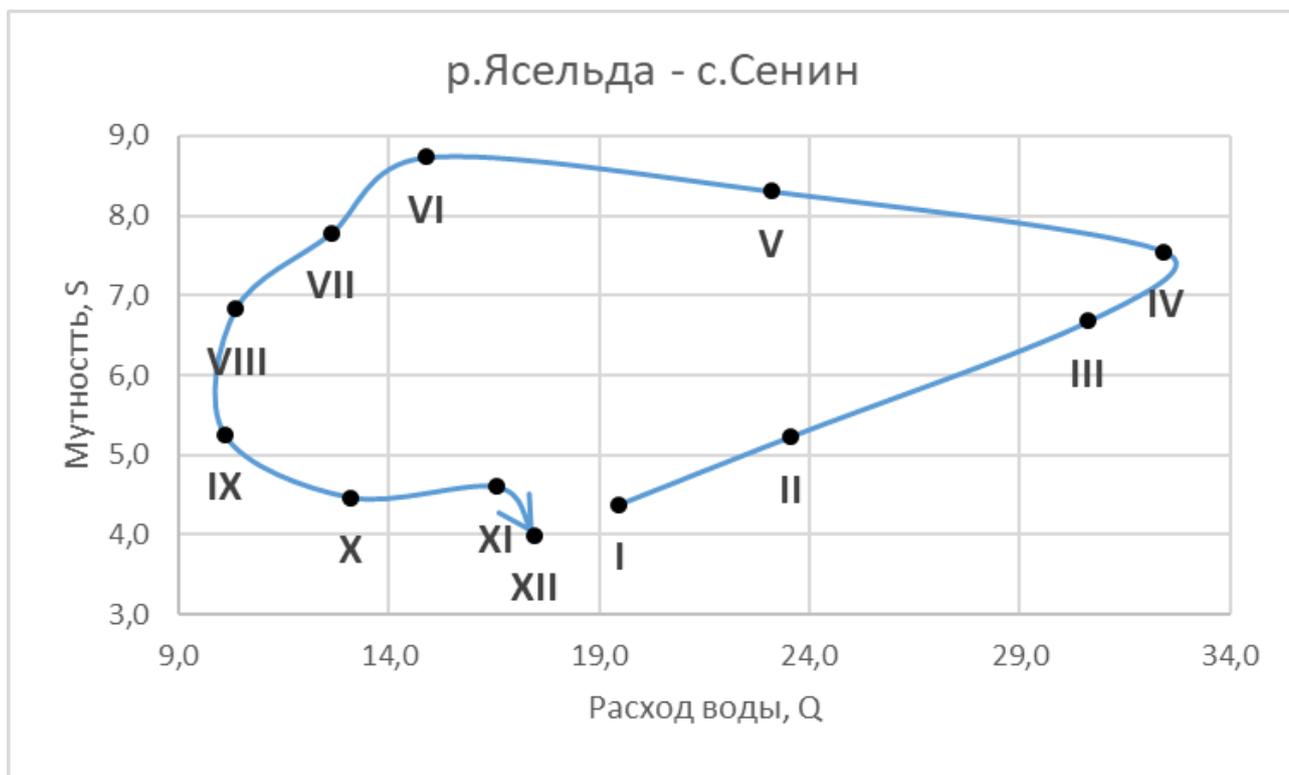
б)



в)



г)



д)

Рисунок 2 – Зависимость $S=f(Q)$ для: а) р.Полота – с.Янково1-е; б) р.Виляя – г.Вилейка; в) р.Виляя – с.Стешницы; г) р.Лесная – с.Тюхиничи; д) р.Ясельда – с.Сенин. (I-XII обозначение месяца).

Заключение. Для исследуемых рек встречается лишь две зависимости взаимосвязей расходов и мутности воды вида Ша и Шб. При закономерном увеличении расхода воды возрастает и мутность, однако максимальный пик мутности наступает раньше максимального пика расходов. Расход взвешенных наносов распределяется равномерно в течении года, больших колебаний не наблюдается. В период весеннего половодья переносится около 30-40% от всего годового стока наносов.

Тенденцию уменьшения величин основных гидрологических характеристик рек за период с 1990 по 2018 гг. можно объяснить вмешательством деятельности человека в речные системы (строительство водохранилищ, гидроэлектростанций, канализирование русла, добыча нерудных строительных материалов). Также влияет качество отбора проб и их количество в течении месяца.

Список цитированных источников

1. Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М.: Геогр. ф-т МГУ, 1998. 202 с.
2. Лопатин Г.В. Опыт анализа зависимости средней мутности речных вод от главнейших природных факторов водной эрозии // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1958. № 4. С. 91–98.
3. Тананаев Н.И. Эффект гистерезиса в сезонной изменчивости соотношения расхода и мутности воды рек криолитозоны Сибири и Дальнего Востока // Водные ресурсы. 2012. № 6. Т. 39. С. 598–607.

4. Williams G.P. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers // J. Hydrology. 1989. № 111. P. 89–106.

5. Волчек, А.А., Розумец И.Н. Современные изменения твердого стока наносов на реках Беларуси // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы эффективного и комплексного использования водных ресурсов», приуроченной ко Всемирному дню водных ресурсов (Минск, 22–24 марта 2023 г.), С. 21–24.

6. Волчек, А.А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока // А.А. Волчек, С.И. Парфомук / Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2009. – №1. – С. 22–30.

7. Статистические методы в природопользовании / В.Е. Валуев, А.А. Волчек, П.С. Пойта, П.В. Шведовский. – Брест: Изд-во Брестского политехнического института, 1999. – 252 с.

8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – Т. 5, ч. 1. – 718 с.

9. Оценка допустимой добычи нерудных строительных материалов из русла на примере реки Припять / А.А. Волчек [и др.] // Гидрометеорология и экология. – 2022. – № 2 (105). – С. 6–24.

10. Инженерная гидрология и регулирование стока. Общая гидрология и гидрометрия: учебно-методическое пособие / А.А. Волчек [и др.]. – Горки : БГСХА, 2021. – 152 с.

11. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения : ТКП 45-3.04-168-2009 (02250). – Мн.: Стройтехнорм, 2010. – 55 с.

12. Волчек, А. А. Гидрологические расчеты: учебное пособие / А. А. Волчек. – Москва: КНОРУС, 2021. – 418 с.

13. Волчек, А.А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока // А.А. Волчек, С.И. Парфомук / Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2009. – №1. – С. 22–30.

14. Волчек, А.А. Оценка экологического стока реки Ясельда в створе водохранилища «Селец» / А.А. Волчек, Н.Н. Шешко // Современные проблемы очистки сточных вод и охраны ресурсов поверхностных вод в приграничье: материалы междунар. иауч.-практ. конф. (Брест, 24-25 сентября 2015 года) / гл. ред. Н.В. Михальчук. – Брест: Альтернатива, 2015. – С. 12–22.

15. Волчек, А.А. Инженерная гидрология и регулирование стока. Гидрологические и водохозяйственные расчеты. Учебное пособие / А.А. Волчек, Ан.А. Волчек, В.К. Курсаков. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2013. – 315 с.

16. Волчек, А.А. Оценка влияния рыбхоза «Селец» на сток реки Ясельда / А.А. Волчек, С.И. Парфомук, Н.Н. Шешко, Н.Н. Шпендик, Д.Н. Дашкевич, С.В. Сидак, М.Ф. Кухаревич // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2022. – № 1 (127): Геоэкология. – С. 83–85.