



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему Гидрологические особенности рек карстовых областей Северо-Запада

Исполнитель Плотникова Ольга Алексеевна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор географических наук, доцент

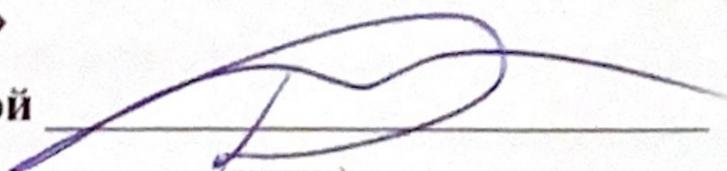
(ученая степень, ученое звание)

Соколова Александра Александровна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой



(подпись)

кандидат географических наук, доцент

Исаев Дмитрий Игоревич

«16» июня 2025г.

Санкт-Петербург

2025

Содержание	Стр.
Введение.....	3
1 Общая характеристика карстовых областей Северо-Запада.....	4
1.1 Карст и карстовые формы рельефа	4
1.2 Геологическое строение и рельеф карстовых областей Северо-Запада..	6
1.3 Климатические особенности карстовых областей Северо-Запада	10
1.4 Гидрография карстовых областей Северо-Запада	13
1.5 Почвенно-растительный покров карстовых областей Северо-Запада.....	15
2 Сравнительная оценка режимообразующих факторов карстовых рек Северо-Запада	17
2.1 Строение гидросети рек Оредеж, Пинега, Мста	18
2.2 Ледовый режим	22
2.3 Температурный режим.....	23
2.5 Химический сток.....	24
3 Гидрологические особенности карстовых рек Северо-Запада.....	25
3.1. Река Оредеж.....	25
3.2. Река Пинега.....	29
3.3 Река Мста	33
3.4 Сравнительный анализ карстовых рек Северо-Запада.....	36
Заключение	46
Список использованных источников.....	47
Приложения	50
Приложение А	51
Приложение Б	53
Приложение В.....	54
Приложение Г	55

Введение

Основной характеристикой, с которой начинается изучение природных территорий, являются особенности гидрографической сети: густота речной сети, глубина эрозионного вреза. Эти особенности речных бассейнов со временем не только изменяются, но и деградируют в результате воздействия человеческой деятельности. Эти параметры нуждаются в дополнительном изучении и картировании как основной элемент поверхностной гидросферы.

В данной работе приводится обобщение имеющихся гидрологических особенностей карстовых рек в районе Северо-Запада России в сравнительной оценке. Это реки: Оредеж, Мста и Пинега, - принадлежащие к различным районам и характеризующиеся различными процессами формирования гидро-сети.

Эти объекты частично изучались во время производственных практик и методический подход к изучению их характеристик освоен в результате теоретических курсов по геологии, гидрогеологии, гидрология.

Для характеристики водотоков использованы материалы производственных и учебных практик, опубликованные материалы по районам Северо-Запада РФ и интернет-ресурсы.

Для статистической обработки были использованы данные о месячной температуре воздуха, месячной сумме осадков для описания климата и месячные данные о стоке для составления гидрографов р. Оредеж, р. Мста, р. Пинега.

Особым контрастом исследований является гидрохимические особенности каждой реки, в результате которых преобразуется рельеф, создаются новые формы, такие как карстовые воронки, пещеры, поноры, карстовые овраги и карстовые источники. В связи с этими процессами речная сеть изменяется и требует постоянного наблюдения и картирования. Многие новообразования являются объектом исследования спелеологов, почвоведов, гидрологов и гидрохимиков в связи с выделением отдельных объектов природных заказников.

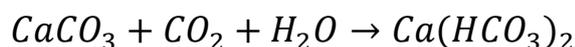
1 Общая характеристика карстовых областей Северо-Запада

Происхождение самого слова «карст», происходит из известнякового плато Kras/Karst (Словения/Германия), что послужило источником для названия процесса и рельефа, который образуется в результате растворения (выщелачивания) горных пород водой. Карст проявляется в ослаблении пород, разрушении, образовании пустот и пещер, изменении напряженного состояния пород, динамики, химического состава и режима подземных и поверхностных вод, в развитии суффозии (механической и химической), эрозий, оседаний, обрушений и провалов земной поверхности [1].

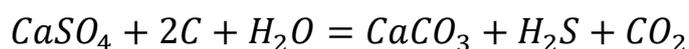
1.1 Карст и карстовые формы рельефа

По составу карстующихся пород карст подразделяется на:

1. Карбонатный (известняки, доломиты, мел). Происходит процесс выщелачивания под влиянием CO_2 , по реакции [2]:



2. Сульфатный (гипсы, ангидриты), по реакции [2]:



3. Соляной (каменная, калийная соли), по реакции [2]:



Карбонатные породы относятся к труднорастворимым (растворимость 0,01-1,0 г/л); сульфатные породы – к среднерастворимым (1,0-10 г/л); галоидные породы (каменная (NaCl) и калийные (KCl) соли) – к легкорастворимым (более 10 г/л).

На рисунке 1.1 представлен фрагмент карты распространения карста Русской равнины.



Рисунок 1.1 Распространение карста на северо-западе Русской равнины

URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293747/4293747636.files/x020.jpg> (дата обращения:

13.06.2025)

По залеганию карстующихся пород выделяют карст открытый, когда карстующиеся породы выходят на дневную поверхность или перекрыты почвенно-растительным слоем и покрытый, когда над карстующимися породами залегают нерастворимые грунты. В более детальных схемах выделяют карст открытый, покрытый; перекрытый, смешанный (рис. 1.2) [3].

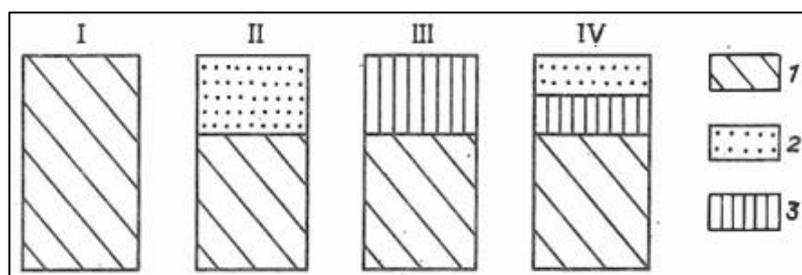


Рисунок 1.2 Виды карста по характеру покровных отложений [3]: 1 – открытый; II – покрытый; III – перекрытый; IV – перекрыто-покрытый. Горные породы: 1 – карстующиеся; 2 – осадочные несцементированные; 3 – осадочные сцементированные, магматические, метаморфические. (Дата обращения 13.06)

Основные проявления поверхностного карста представлены следующими формами рельефа: карры, поля, западины, воронки, желоба, ниши, навесы,

гроты и др.). К проявлениям подземного карста относятся пещеры, колодцы, шахты). В руслах рек карст представлен понорами и вклюдями.

К факторам, в большей степени влияющим на формирование карста, относятся геолого-гидрогеологические условия, климатические условия (количество осадков, температура воздуха, и т.д.), почвенно-растительный покров. [4]

В районировании территорий выделяются карстовые области, провинции, округа, районы.

1.2 Геологическое строение и рельеф карстовых областей Северо-Запада

Северо-Запад Русской равнины подразделяется на три карстовых области: Прибалтийскую, Онежско-Кулойскую и Центрально-Русскую, границы которых выходят за пределы северо-западного региона (Приложение А_{1,2}). [5]

В основании Русской равнины как части Восточно-Европейской платформы залегает докембрийский кристаллический фундамент, сильно дислоцированный, представленный магматическими и метаморфическими породами.

Осадочные породы чехла заполняют неровности рельефа фундамента и представлены песчано-глинистыми, карбонатными и сульфатными отложениями позднепротерозойского, палеозойского и кайнозойского возраста, мощность которых достигает 1500 м и более. (Приложение Б-В). [6]

В платформенном осадочном чехле широко развиты карстовые явления до глубины 1700 м. Карстовые формы представлены воронками глубиной от 1–3 до 5–10 м и диаметром 5–30 м, иногда до 20–100 м, реже – карстовыми долинами, участками сухих русел и пещерами.

Закономерности карстующихся площадей связаны с геологическими тектоническими деформациями осадочного чехла и фундамента платформы.

Рассмотрим Прибалтийскую, Онежско-Кулойскую и Центрально-Русскую карстовые области, на территории которых развиты основные речные системы: Оредеж, Пинега, Мста.

Прибалтийская карстовая область располагается к югу от Балтийского щита вдоль северо-западного крыла Московской синеклизы. Карстующиеся породы представлены известняками и доломитами ордовика и девона. Покров четвертичных отложений разного генезиса имеет малую мощность. На Ордовикском плато карстовые формы представлены многочисленными воронками, колодеобразными провалами, понорами, суходолами.

Рельеф — равнинный, пологоволнистый. Наиболее высокие участки отмечаются на Ижорской возвышенности (100—170 м), наиболее пониженные на востоке территории на Волховском плато. Равнинность территории местами нарушается холмисто-моренными и камовыми образованиями, связанными с четвертичными оледенениями и размывающей деятельностью ледниковых вод. Среди них выделяются Дудергофские высоты, расположенные на северо-востоке Ижорской возвышенности и достигающие абсолютной высоты 175 м. Они сложены известняками и мергелями, смятыми в складки под действием ледника.

Онежско-Кулойская карстовая область располагается в пределах северо-западного крыла Московской синеклизы. Древний кристаллический фундамент погружается к востоку-юго-востоку от 200 до 1500 м. Мощность палеозойских осадочных отложений, несогласно залегающих на выравненной поверхности протерозойских пород, увеличивается к юго-востоку от 500 до 1500 м. В том же направлении отмечается смена древних отложений (C_2), более молодыми (P_2). [Приложение В]. Территория сложена известняками, доломитами, гипсами, ангидритами, мергелями, аргиллитами, алевролитами и песчаниками каменноугольного и пермского возраста. Верхнепалеозойские породы характеризуются слабым падением на восток-северо-восток и высокой трещиноватостью, преобладают трещины северо-западного и северо-восточного простирания. Карбонатные и сульфатные породы определили активное развитие карстовых процессов (рис. 1.3). Наиболее интенсивно карстовые процессы выражены на склонах, местных водоразделах небольших рек, где покрывающие отложения частично или полностью размыты.

Тектонически пологим зонам соответствуют карстовые лога и долины на

поверхности. Воздымающийся характер тектонических движений способствует усилению развития карстового процесса [7].

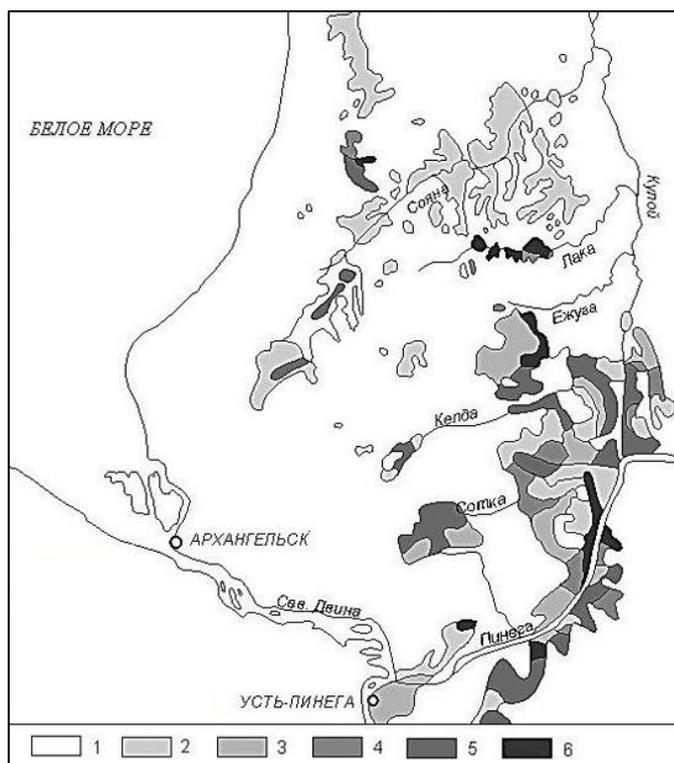


Рисунок 1.3 – Современная закарстованность территории Беломорско-Кулойского плато [8]. Степень развития карста: 1 – не выражен; 2 – слабая; 3 – средняя; 4 – значительная; 5 – высокая; 6 – предельная

Каменноугольные и пермские образования почти повсеместно перекрыты плащом песчано-глинистых четвертичных осадков преимущественно ледникового происхождения незначительной мощности, обычно не более 2—3 м. Лишь в некоторых местах она увеличивается до 20 м (г. Пинега).

Рельеф карстовой области плоско- и волнисто-равнинный. Северную часть занимает Беломорско-Кулойское плато, которое на юге и востоке переходит в низменную полого-холмистую равнину. Плато представляет собой пластовую возвышенность, образовавшуюся в кайнозойское время в результате общего поднятия северной части Русской равнины и последовавшего за этим эрозионного расчленения единой верхне-мезозойской поверхности выравнивания. Оно крутым уступом высотой 20—50 м обрывается на северо-западе к приморской

низменности, а на востоке — к долине р. Кулоя. Средняя высота плато составляет около 100 м. Проявления карста связаны с трещиноватостью пород и развитием речной и эрозионной сети (рис. 1.4)



Рисунок 1.4 – Карстовые формы рельефа р. Пинега URL: http://www.nordspeleo.ru/cca/kip/image_kipp/1_8_14_kipp.jpg (Дата обращения 13.06.2025)

Наиболее интенсивно карстовые процессы на Кулойско-Беломорском плато выражены на склонах, местных водоразделах небольших рек, где покрывающие отложения частично или полностью размыты. По тектоническим крутопадающим зонам и разломам формируются провальные и обвальные карстовые формы. Тектонически пологим зонам соответствуют карстовые лога и долины. [8]

Центрально-Русская карстовая область расположена в пределах Московской синеклизы, карст развит по ее северо-западному, западному, южному и юго-восточному крыльям. Фундамент характеризуется блоковым строением. Мощность осадочного чехла составляет 1200—1500 м. На севере, западе и юго-востоке закарстованы карбонатные и карбонатно-сульфатные (доломитово-

гипсовые) отложения каменноугольного и пермского возраста, на юге — карбонатные толщи карбона и верхнего девона (слабо-доломитизированные известняки, мергели). Карбонатные породы разбиты тектоническими трещинами, северо-западного и северо-восточного направления. Трещины вертикальные, с крутыми углами падения, что способствует развитию подземного и поверхностного карста. В северной части области в соответствии со сменой каменноугольных пород пермскими к востоку повышается роль гипсового карста. Дочетвертичные отложения перекрыты валунными суглинками, флювиогляциальными и озерными песчано-глинистыми отложениями. Мощность рыхлых образований изменяется от 0,5 до 20 м.

Западному склону Московской синеклизы в рельефе соответствуют обращенные моноклиальные возвышенности – Вепсовская, Валдайская, Тихвинская гряда. На западе Валдайская возвышенность круто обрывается к Прибалтийской низменности, а на востоке незаметно переходит в Верхневолжскую низменность. Наибольшие высоты составляют 280—300 м. К крупным орографическим элементам относятся карбоновый уступ (Карбоновый глинт), четко выраженный в рельефе, и Карбоновое плато, представляющее собой относительно выровненную поверхность высотой 110—200 м. Они сложены преимущественно карбонатными отложениями нижнего карбона, достигающими мощности 55 м. Среди древних форм рельефа выделяется Мстинская впадина, заложенная в девоне.

1.3 Климатические особенности карстовых областей Северо-Запада

Условия развития карста на Русской равнине меняются в соответствии с широтной зональностью и нарастанием континентальности климата. Уменьшение количества атмосферных осадков с северо-запада на юго-восток, увеличение испаряемости и засушливости климата способствует снижению интенсивности процесса карстования, на юге равнины энергично развивается только гипсовый и соляной карст.

Территория Северо-Запада расположена в пределах умеренного климата, переходного от морского к континентальному и умеренно континентального. Средняя годовая температура воздуха колеблется от 2°С в северо-восточной части до 4,5 °С в южной. Самым теплым месяцем в году является июль, самыми холодными – январь и февраль. В среднем годовой объем осадков на большей части районов составляет 550-750 мм. Распределение осадков зависит от орографических особенностей местности и подстилающей поверхности. На испарение затрачивается 50-70% осадков, поступающих на поверхность водосбора, это один из основных расходных элементов водного баланса.

Климат Прибалтийской карстовой области умеренный, переходный от морского к континентальному, что способствует интенсивному развитию карстовых процессов. Годовое количество осадков увеличивается к востоку от 560 до 640 мм. Наблюдения на Ижорской возвышенности показали, что 39—59% от общего количества выпадающих осадков инфильтруется в толщу известняков, определяя их выщелачивание.

Климат Онежско-Кулойской карстовой области — континентальный. Область находится в условиях избыточного увлажнения. Средняя температура января — от -10 до -13°С, а июля 14—15°С. В течение года выпадает 350—450 мм осадков. Высота снежного покрова 0,5 м, продолжительность его залегания составляет около 190 дней. Климат — континентальный, с холодной и многоснежной зимой, прохладным и влажным летом. Средние температуры января — от -10 до -13°С, июля – 14—16°С. В течение года выпадает от 350—450 до 550—650 мм осадков. Высота снежного покрова 0,5–0,6 м. Высота снежного покрова м, продолжительность его залегания около 190 дней.

Климат Центрально-Русской области – циклонический, на северо-западе переходный от морского к континентальному, в южной части – умеренно-континентальный. Средняя годовая температура изменяется с юго-запада на северо-восток от 4,5°С до 2,5°С. Средняя температура самого холодного месяца (января) от -8°С до -11°С, самого теплого (июля) 16-18°С. Годовое количество осадков

составляет 600–800 мм. Снежный покров лежит 120–150 дней, его мощность нарастает с юго-запад на северо-восток от 25 до 50 см.

Наиболее активно карстовые процессы идут в теплое время года, когда выпадает наибольшее количество осадков.

Произведена сравнительная оценка климатических данных по температуре воздуха и осадкам для дальнейшего сравнения и гидрологических особенностей по карстовым рекам: Оредеж, Мста, Пинега, приведенные ниже в

Таблице 3.10.

Многолетние значения среднемесячной температуры воздуха по данным метеостанции Белогорка на реке Оредеж приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Средние многолетние значения месячной и годовой температуры воздуха (°С) по данным метеостанции Белогорка. [18]

Метеостанция	Месяц												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Белогорка	-7,9	-7,9	-3,5	3,5	10,1	14,6	17,0	15,3	10,2	4,5	-0,8	-5,1	4,2

Многолетние значения месячных сумм осадков по данным метеостанций на реке Оредеж приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 Средние многолетние значения месячных и годовых сумм осадков (мм) по данным метеостанций [18]

Метеостанция	Месяц												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Белогорка	43	34	37	39	49	69	79	87	63	66	59	54	678

Многолетние значения среднемесячной температуры воздуха по данным метеостанций на реке Пинега приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Средние многолетние значения месячной и годовой температуры воздуха (°С) по данным метеостанций реки Пинега [18]

Метеостанция	Месяц												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Холмогоры	-13,4	-11,6	-5,9	0,4	7,5	13,4	16,7	13,8	8,4	1,8	-4,8	-9,7	1,4
Сура	-15,0	-13,3	-7,0	0,3	7,1	13,4	16,4	13,4	7,7	1,2	-6,0	-11,2	0,6
Пинега	-14,0	-12,7	-7,4	-0,4	6,1	12,5	15,6	13,1	7,6	1,1	-5,2	-10,5	0,5

Многолетние значения месячных сумм осадков по данным метеостанций на реке Пинега приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Средние многолетние значения месячных и годовых сумм осадков (мм) по данным метеостанций реки Пинега. [18]

Метеостанция	Месяц												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Холмогоры	32	24	24	29	37	63	68	68	54	54	43	38	535
Сура	35	26	26	32	45	61	70	71	58	57	45	39	565
Пинега	31	26	27	30	40	60	65	67	60	53	44	38	542

Многолетние значения среднемесячной температуры воздуха по данным метеостанций на реке Мста приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Средние многолетние значения месячной и годовой температуры воздуха (°С) по данным метеостанций реки Мста. [18]

Метеостанция	Месяц												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Боровичи	-8,8	-8,2	-3,1	4,5	11,4	15,8	17,9	15,9	10,4	4,5	-1,3	-5,8	4,4
Великий Новгород	-7,5	-7,4	-3,0	4,4	11,5	15,9	17,9	16,1	10,8	5,0	-0,5	-4,7	4,9
Крестцы	-8,0	-7,3	-2,3	4,8	11,6	15,8	17,6	15,7	10,5	5,0	-0,7	-5,0	4,8

Многолетние значения месячных сумм осадков по данным метеостанций на реке Мста приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Средние многолетние значения месячных и годовых сумм осадков (мм) по данным метеостанций на реке Мста. [18]

Метеостанция	Месяц												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Боровичи	33	26	26	35	49	69	79	75	58	54	45	39	588
Великий новгород	32	26	27	35	44	69	71	76	60	54	52	38	584
Крестцы	56	41	42	40	53	76	84	108	69	72	70	61	774

1.4 Гидрография карстовых областей Северо-Запада

Реки карстовых территорий создают своеобразную гидрографическую сеть. Она отличается разреженностью поверхностной сети, возникающей вследствие поглощения поверхностного стока понорами в карстовых логах, воронках и котловинах и перевода его в подземный сток. Характерно обилие подземных,

пещерных рек, исчезновение под землю поверхностных водотоков. Во многих карстовых районах наблюдаются несовпадения подземных водоразделов с топографическими и подземный водообмен между речными бассейнами (он может быть положительным и отрицательным).

В карстовых областях Северо-Запада реки принадлежат к бассейнам Балтийского, Белого и Каспийского морей. Карстовые процессы наиболее хорошо выражены на малых водотоках, частично представленных в табл. 1.7. Отметим, что деление рек по размерам проведено по площади водосбора (длина реки – весьма условный показатель).

Таблица 1.7. Основные водотоки карстовых областей Северо-Запада

Тип водотока	Длина, км	Площадь водосбора, км ²	Реки
Большие реки	501–1000	Более 50 000	Нарва, Северная Двина, Онега, Сухона, Волхов, Луга
Средние реки	201–500	5 000–50 000	Оредеж, Пинега, Кулой, Мехреньга, Юг, Мста
Малые реки	26–200	1 000–5 000	Сояна, Сотка, Шелекса, Хревица, Рагуша и др.
Самые малые реки	Менее 25	Менее 1 000	Копорка, Лопухинка, Хревица, Урья, Понеретка, Белая, Прикша, Ивода и др.

В Прибалтийской карстовой области густота речной сети весьма изменчива. На Ижорской возвышенности она вообще отсутствует. По окраинам возвышенности в местах выхода подземных вод берут начало реки Оредеж, Ижора и малые водотоки длиной 15–30 км и площадью водосборного бассейна от 50–330 км² – Хревица, Стрелка, Лопухинка, Копорка и др. Наиболее крупные водотоки – транзитные реки Нарва, Луга и Волхов, текущие в глубоких древних долинах. Карстовые участки приурочены к выходам пород ордовика. Модуль стока составляет около 10 л/сек с км². На Ордовикском плато значителен подземный сток. Для всех рек характерно весеннее половодье и осенний паводок. Озер мало. Поверхностные воды пресные, гидрокарбонатно-кальциевые.

Речная сеть Онежско-Кулойской карстовой области довольно густая. Поверхность дренируется большими реками – Северной Двиной и Онегой и их

многочисленными притоками. На гидрологический режим рек существенное влияние оказывает карст, определяющий значительную зарегулированность стока. На многих реках отмечаются суходолы длиной до 0,5—1,5 км. Уход вод в карстовые полости и прекращение поверхностного стока происходит несмотря на избыточное увлажнение поверхности. Речная сеть на водоразделах рек Ваймуги и Емцы, Емцы и Мехреньги, Емцы и Моши, Шелексы и Емцы.

Карстующиеся нижнепермские и каменноугольные породы водообильны. Подземные воды залегают на глубине 2—60 м. Они имеют гидрокарбонатно-кальциевый и гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевый состав. Воды источников на участках развития сульфатных пород имеют высокую минерализацию – до 2 г/л. Минерализация подземных вод увеличивается с глубиной. Выше местных базисов эрозии она не превышает 0,3—0,5 г/л. Дебит карстовых источников, приуроченных к каменноугольным отложениям, достигает иногда 100 л/сек. К числу наиболее крупных источников относятся Потылицинский, Курятовский и Серехода. Дебит группы источников у д. Бережная Дубрава (на левом берегу Онеги) достигает 600 л/сек.

Реки Центрально-Русской карстовой области относятся к бассейнам Волхова, Свири и Волги. Речная сеть на Валдайской возвышенности развита слабо, возвышенность пересекает Мста, на притоках которой в среднем течении развит карбонатный карст. Для рек характерны высокие весенние половодья и осенние паводки. На снеговое питание приходится 60%, на грунтовое – 30%, дождливое – 10%. Сток рек высокий – до 10—12 л/сек с км².

1.5 Почвенно-растительный покров карстовых областей Северо-Запада

Карстовые области Северо-Запада расположены в зоне тайги, которая на юго-западе переходит в зону смешанных лесов. Крайний север занимает лесотундра. Хорошо развитый на большей части территории почвенно-растительный покров задерживает развитие карстовых процессов. Вместе с тем, в

покрытом карбонатном карсте проявляется растворяющее действие почвенных вод, активность которых растет по мере уменьшения водородного показателя (рН) [9]. Кислые почвы способствуют развитию карбонатного карста. Дерново-карбонатные почвы и, местами вскрывающиеся в долинах рек и в карстовых ландшафтах перекрытые карбонатной мореной. Широкое распространение карбонатных почв и почвообразующих пород (морены, древние песчаники с карбонатным цементом) влияют на скорость развития карста.

Прибалтийская карстовая область располагается на границе южной тайги и смешанных лесов. Преобладают хвойно-широколиственные леса, под которыми формируются почвы подзолистого ряда (слабо- и среднеподзолистые, дерново-подзолистые), а также дерново-карбонатные почвы. В восточной части наиболее характерной растительной ассоциацией является ельник кисличник, относящийся к зеленомошной группе. На богатых, хорошо дренируемых почвах развиваются сложные ельники, второй ярус которых формирует липа. К понижениям приурочены сосняки-долгомошники с моховым покровом из кукушкина льна. Хвойно-широколиственные леса, распространенные на западе территории, состоят из ели, березы, дуба, ясеня и клена. Леса в настоящее время сильно вырублены, и большая часть территории занята пашнями и лугами. На карбонатных суглинках Ижорской возвышенности развиты альвары – остепненные разнотравно-злаковые луга. На слабо дренируемых поверхностях формируются верховые и низинные болота.

Территория Онежско-Кулойской карстовой области покрыта северо- и среднетаежными еловыми, елово-пихтовыми, сосновыми и березовыми лесами, под которыми формируются глеево-подзолистые и подзолисто-иллювиально-гумусовые суглинистые и супесчаные почвы. На наиболее закарстованных участках Беломорско-Кулойского плато в составе темнохвойных лесов появляется лиственница. По карстовым «коридорам» она проникает глубоко на север, располагаясь на более сухих карстовых почвах [8]. Южная часть области покрыта среднетаежными и южно-таежными еловыми и елово-пихтовыми лесами, развитыми на подзолистых и дерново-подзолистых суглинистых почвах.

Растительность Центрально-Русской карстовой области представлена южно-таежными еловыми и сосновыми лесами зеленомошного ряда, смешанными хвойно-широколиственными лесами с участием липы, дуба, клена и подлеском из орешника, бересклета и ильма, а также вторичными мелколиственными лесами и массивами болот и лугов. Пойменные разнотравные луга переходят в понижениях в осоковые, а на по возвышенных участках — щучково-разнотравные. В долине р. Мсты, где аллювий обогащен обломками карбонатных пород, развиты остепненные разнотравные луга. [5].



Рисунок 1.5 Карстовые формы рельефа на р. Мста. URL: <https://oreke.ru/wp-content/uploads/2022/11/bereg-reki-msta.jpg> (Дата обращения 13.06.2025)

2 Сравнительная оценка режимобразующих факторов карстовых рек Северо-Запада

Рассмотренные выше реки карстовых областей относятся к средним рекам (см. выше Таблица 1.7), сравнительные характеристики которых объединяются в диапазоны: длина (201-500 км), площадь водосбора (5000-500000 км²). Эти реки

имеют свой гидрологический режим, температурный режим, гидрохимический состав, и различаются признаками:

- особенности строения и густота речной сети;
- морфология русел, долин и карстовых форм рельефа;
- характер взаимодействия поверхностных и подземных вод;
- условия протекания (наземные и подземные);
- постоянство водотока (постоянные и исчезающие);
- температура и химический состав воды.

Данные реки относятся как к транзитным водотокам, несущим воду из незакарстованных районов (Пинега, Мста), так и берущими начало из карстовых областей (Оредеж).

2.1 Строение гидросети рек Оредеж, Пинега, Мста

В пределах карстовых массивов обычно нет больших постоянных рек, но они могут пересекаться многоводными транзитными реками, несущими воду из незакарстованных районов. Есть реки, которые текут примерно по границе карстующихся и некарстующихся пород. Имеются и реки, начинающиеся исполинным источником на окраине карстующегося массива. Наконец, часть небольших рек, дойдя до района развития карстующихся пород, исчезает в воронках, понорах и трещинах [10].

По гидрологическому режиму и морфологии речных долин по И.С. Щукину [9] исследуемые нами реки (Оредеж, Пинега, Мста) относятся к *постоянно текущим*, с долинами, днище которых врезано до уровня грунтовых вод. Это обеспечивает преобладание подземного питания.

Поверхность гидросети этих рек характеризуется разреженностью сети из-за поглощения поверхностного стока понорами в карстовых логах, воронках и котловинах, с последующим переводом его в подземный сток, рисунок 2.1.

Густота речной сети р. Оредежи км, р. Мста, р. Пинега составляет 0,5–0,6 км/км², в карстовых районах снижается до 0,1–0,2 км/км²



Рисунок 2.1 – Выход карстовых вод в лог, р. Пинега (фото Бродской Н.А., 2022 г.)

Подземные реки образуются чаще в средне- и высоко-растворимых горных породах. Карст усиливает интенсивность подземного стока, нарушает плавный зональный характер его распределения.

Водопроницаемость горных пород оказывает большое влияние на строение гидросети и связана с трещиноватостью платформенного чехла и кристаллического основания. Пути движения воды приурочены к крупным трещинам или к местам тектонического дробления пород.

Густота речной сети на территории Архангельской области (Сев. Двина, Пинега) составляет 0,5–0,6 км/км², в карстовых районах снижается до 0,1–0,2 км/км² [11].

Густота речной сети в бассейне Шелексы (Архангельская обл.) составляет 0,16 км/км², тогда как в лежащих рядом бассейнах некарстовых рек она равна 0,5–0,6 км/км². Относительно высокий поверхностный сток на территориях, сложенных с поверхности суглинистой мореной, обеспечивает высокий коэффициент густоты речной сети (0,5—0,6 км/км²).

Сводная таблица густоты речной сети, заболоченности, озерности, приведена ниже в главе 3, в таблице номер 3.10 ниже по тексту.

Русла рек в массивах с активным карстом отличаются обилием резких коленообразных перегибов и спрямленными участками в продольном профиле, что вызвано трещиноватостью горных пород. Реки формируют V-образные врезанные долины, имеют скальные берега. Кроме того, часто отмечается наличие «слепых» и «полуслепых» долин и суходолов.

Транзитные реки (Пинега, Мста) коренной берег представляет собой протяженный скальный массив, сложенный гипсами, ангидридами и доломитами высотой до 30 м. В гипсовых обрывах Двинско-Кировского спелеомассива исследовано 14 пещер общей протяженностью 2,1 км.

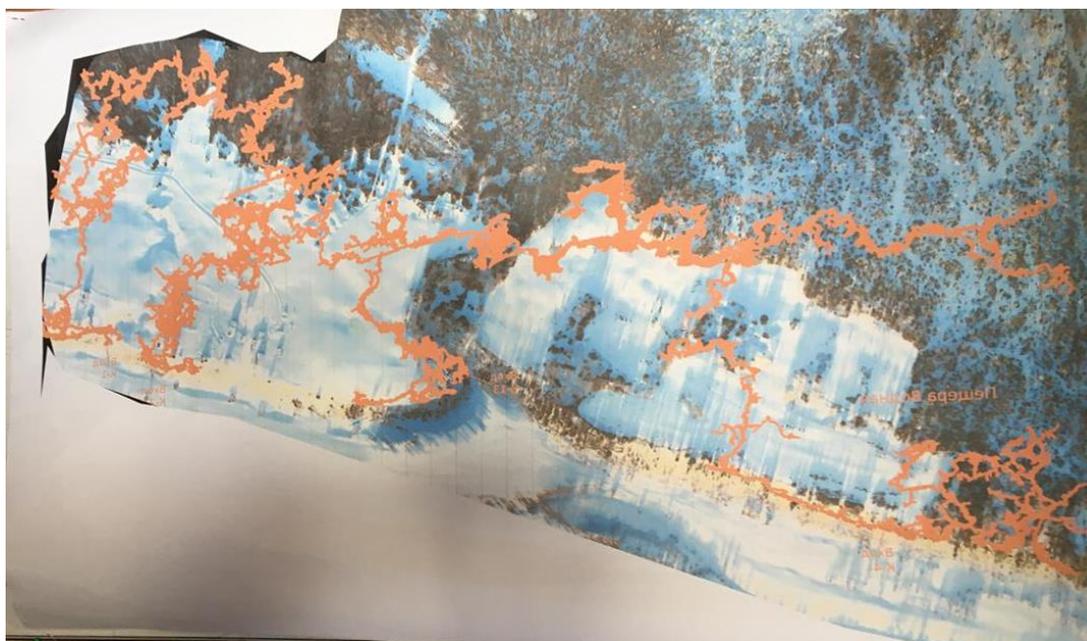


Рисунок 2.2 Схема пещер на реке Пинега [12].

В периоды прохождения половодий и паводков происходит внедрение речных вод в берега и подпитка подземных вод. На спаде половодий и паводков наблюдается обратная картина: к частичному возврату воды в реки и выпиранию грунта, что приводит к активизации оползневых и суффозионных процессов в нижней части склонов долины.

Пойма при глубоком врезе реки в карстующиеся породы может отсутствовать. Мощность аллювия невелика. У подножия склонов долин часто встречаются воронки и выходы источников подземных вод, которые спрямляют серии излучин. [13]. Излучины таких рек имеют более угловатые очертания и крупнее, чем в аллювиальных отложениях.

На реке Пинеге колебания отметок дна за навигационный период на закарстованных участках могут достигать 1,0–1,5 м.

Малые карстовые реки также можно отнести к транзитным, если они формируют русла в достаточно мощной толще рыхлых покровных отложений.

Продольный профиль таких рек в зоне разгрузки подземных вод может быть представлен вогнутой плавной кривой. [13]

Наличие активного карста – один из основных факторов, определяющих пересыхание реки и возникновения гидрологической засухи.

Условия для возникновения гидрологической засухи создают климатические и гидрогеологические факторы: количество осадков, испаряемость, запасы подземных вод в бассейне реки (число водоносных горизонтов, зависящее от глубины эрозионного вреза русла, и объем содержащейся в них воды). В период минимального стока реки могут питаться верховодкой, грунтовыми безнапорными и напорными (артезианскими) и карстовыми водами.

При отсутствии гидравлической связи речных и подземных вод режим речного стока зависит от режима питающих реку родников. Если водоносный пласт имеет небольшую мощность и не связан с артезианскими водами, поступление воды в русло может прекратиться, что наблюдается обычно в верховьях рек. При постоянной гидравлической связи речных и подземных вод в период минимального стока их режим совпадает. Поэтому при истощении питающего реку водоносного горизонта (или горизонтов) на реке наступает период отсутствия стока. При этом подрусловой сток может сохраняться. [14]

У карстовых рек доля грунтовых вод составляет 38-44% и больше. Поэтому, сезонное распределение годового стока у карстовых рек по сравнению с

обычными равнинными реками сглажено. На весну приходится большая часть грунтового стока, а зимой в половину меньше. (Кулойско-Беломорское плато).

2.2 Ледовый режим

Ледовый режим рек: ледообразование и вскрытие, – имеет индивидуальный характер, основывающийся на совокупности климатических условий территории, изменчивости температуры воздуха, типа питания реки.

Ледостав на реке Оредеж начинается в конце ноября и продолжается до конца марта. Характерными для данной реки ледяными явлениями является наличие заторов. Шуга отсутствует, т.к. не происходит повышения уровня воды. Как было сказано ранее, р. Оредеж классифицируется как *постоянно текущая* река, поэтому зачастую даже при наблюдении заберегов и их смыкания, ледовые образования непостоянны, склонны к стаиванию.



Рисунок 2.3 р. Оредеж зимой (фото Голубков А.М., 2024 г.)

Зимний период у реки Пинеги длится около 5-6 месяцев. Лёд на реке устанавливается в октябре. В начале ноября устанавливается ледостав, продолжительность которого составляет 180 дней. К концу зимы толщина льда достигает

100 см. Ближе к концу весны река вскрывается, начинается весенний ледоход. В период весеннего ледохода на участках разветвлений ниже поселка Пинега образуются заторы льда, вызывающие резкие подъёмы уровня воды на 1–3 м. После заторов на берегах остаются навалы льда.

Ледообразование на р. Мста происходит позже остальных описанных рек: в конце ноября – начале декабря, с появлением устойчивого снежного слоя. Река вскрывается в апреле. Извилистость реки приводит к тому, что в местах рапид река не замерзает из-за скорости течения, там образуется шуга. В определенном участке р. Мста (н.п. Холынья) ежегодно происходит мероприятие взрывных работ для пропуска паводковых вод.



Рисунок 2.4 Подрыв льда на р. Мста (фото МЧС России по Новгородской области, 2019 г.) URL: https://static.mchs.gov.ru/upload/site11/document_images/EhtJpa0gKF.png (Дата обращения: 13.06.2025)

2.3 Температурный режим.

Температурный режим карстовых рек в значительной мере определяет высокая доля подземного питания, что оказывает существенное влияние на их термальные характеристики. Средняя температура карстовых вод колеблется в пределах 4—6°C, при этом годовая амплитуда колебаний не превышает 1–2°C.

Реки, берущие начало из родников типа воклюз, в верховьях демонстрируют незначительные изменения температуры воды. Это связано с тем, что вода, проходя через подземные карстовые системы, нагревается или охлаждается в зависимости от геологических условий, но в целом сохраняет свою температуру на относительно постоянном уровне. Такие условия способствуют формированию уникальных экосистем, в которых обитают специализированные виды флоры и фауны.

По мере продвижения вниз по течению, на температурный режим начинают оказывать влияние притоки.

2.5 Химический сток

Показатели стока растворенных веществ определяют геологические и географические условия речных бассейнов. Для рек Северо-Запада в целом характерны незначительные величины концентраций главных ионов и низкая минерализация речных вод, однако развитие карста ведет к росту гидрохимических показателей вплоть до аномально высоких значений. Для гипсового и карбонатного карста характерны родники и малые реки с минерализацией воды до 2 г/л. Водосборам рек, сложенным сульфатными и сульфатно-карбонатными породами (Онега, Северная Двина, Вычегда и др.), свойственен также более высокий модуль химического стока SO_4 – от 20 до 150 т/км² год и более [15].

Наблюдаются также различия в пределах одного бассейна. Воды Онеги принадлежат к гидрокарбонатному классу с малой минерализацией. Однако правобережье реки сложено карстующимися сульфатными породами, что ведет к росту минерализации и повышенному стоку сульфатов [16].

3 Гидрологические особенности карстовых рек Северо-Запада

Карстовые процессы играют центральную роль в формировании гидрологических особенностей рек, оказывая значительное влияние на их экосистемы и водный режим. Эти процессы не только определяют уровень и качество воды в реках, но и влияют на биологическое разнообразие, которое обитает в этих водоемах.

В результате взаимодействия карстовых вод с поверхностными водами формируются специфические гидрологические режимы, которые могут значительно отличаться от тех, что наблюдаются в реках, питаемых исключительно поверхностными водотоками. Подземное питание, обеспечиваемое карстовыми образованиями, способствует стабильности уровня воды и температурного режима, что, в свою очередь, создает благоприятные условия для существования разнообразных экосистем.

Изучение гидрологических особенностей рек, связанных с карстом, позволяет глубже понять динамику водных экосистем и их устойчивость к изменениям окружающей среды.

3.1 Река Оредеж

Река Оредеж относится к бассейну реки Луги, впадающей в Лужскую губу Финского залива Балтийского моря. В саму реку Лугу Оредеж впадает через систему проточных озер Антолово и Хвойлово, находясь на расстоянии 194 км от устья Луги, рисунок 3.1



Рисунок 3.1 Гидрологическая карта Северо-Запада. URL: http://www.nord-west-water.ru/upload/skiovo/luga_132/skiovo_luga_132_book_1.pdf (Дата обращения 17.06.2025)

Истоком реки Ордеж являются карстовые выходы подземных вод, образующие Кикеренские болота, из которых она течет в северо-восточном направлении. Верхнее течение реки зарегулировано шестью плотинами бывших малых ГЭС с водохранилищами небольшой емкости. В низовьях река становится судоходной. Отметка истока - 112,6 м БС, устья - 31,6 м., таким образом, общее падение реки составляет 81 м.

Длина реки составляет 201 км, средняя ширина русла варьируется от 25 до 30 м, а общая площадь водосбора достигает 3350 км².

Бассейн р. Ордеж сложен моноклонально залегающими толщами глин, песков, известняков, доломитов, мергелей с пологим (до 4-6°) падением стратиграфических горизонтов на юго-восток к центру синеклизы. Истоки реки сложены отложениями среднего ордовика, основное течение – отложениями

девонской системы, перекрытыми четвертичной мореной с валунами кристаллических пород. Эрозионная работа реки способствует образованию многочисленных обнажений песков и песчаников среднего и верхнего девона. [6]

Относительная площадь карста меняется по длине реки Оредеж от 70 % – в верхнем течении до 10 % – в нижнем течении [17], что отображено на рисунке 3.2.

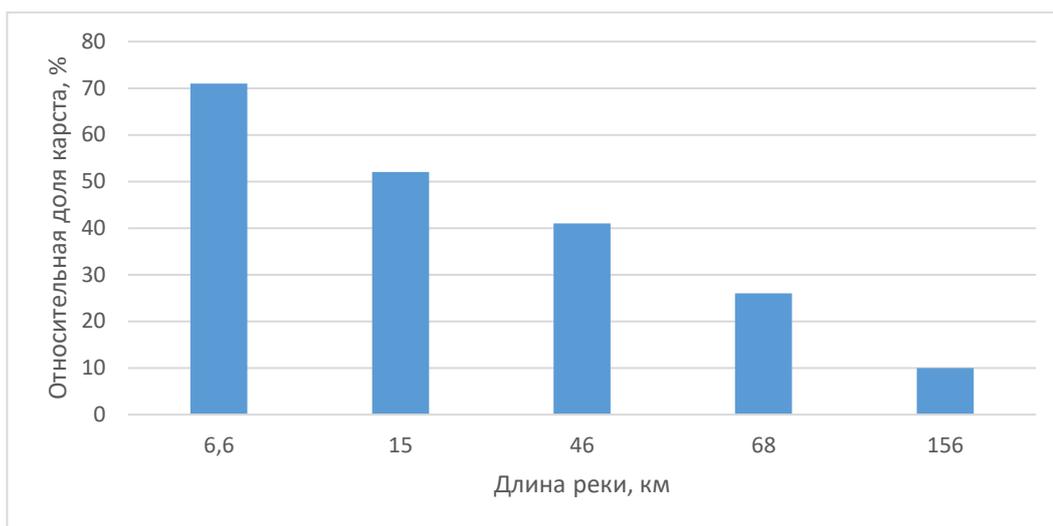


Рисунок 3.2 Изменение относительной площади карста по длине реки Оредеж [17]

Карстовые процессы оказывают значительное влияние на гидрологический режим реки, снижая объем поверхностного стока за счет инфильтрации воды в подземные карстовые полости. Эти подземные воды питают родники и ключи, формируя холодное и прозрачное течение реки. В некоторых местах отмечаются промоины и провалы, вызванные развитием карста.

Специфическими особенностями характеризуется *промежуточный пояс* в зоне аэрации, сложенной закарстованными породами, здесь происходит нисходящая периодическая циркуляция вод по различного рода пустотам, связанных с растворением и частичном размывов горных пород (известняков, доломитов, мела, гипса, калийной соли и др.) происходит нисходящая периодическая циркуляция вод. После выпадения осадков или таяния снега в ней происходит движение воды вниз. [6]

Средняя годовая температура воздуха на территории Северо-Запада колеблется от 2°С в Северо-Восточной части до 4,5 °С в Южной. Самым теплым месяцем в году является июль, самыми холодными – январь и февраль. Согласно таблице 1.2 среднегодовое значение осадков по м. Белогорка – 678 мм. На испарение затрачивается 50-70% атмосферных осадков, поступающих на поверхность водосбора, поэтому оно является одним из основных расходных элементов водного баланса.

Ледостав на реке начинается в конце ноября и продолжается до конца марта. Ледяные явления могут вызывать заторы и подъемы уровня воды. Наблюдается появление сала, на мелководье обнаруживается донный лед.

Сток реки Оредеж формируется за счет атмосферных осадков, подземных вод и притоков. Среднегодовой сток реки составляет около 5-10 м³/с, однако в период половодья этот показатель может увеличиваться до 50 м³/с и более. Ширина реки варьируется от 15 до 30 метров, а глубина — от 1 до 3 метров. В некоторых участках река образует плесы и мелководные зоны, что создает разнообразные экосистемы.

Сток реки мало изменчив в течение года, что указывает на то, что грунтовое питание для реки преимущественно. У таких рек сток распределяется равномерно по месяцам.

Многолетние значения месячных расходов воды по данным постов приведены в таблице 3.1. Совмещенные гидрографы по постам представлены на рисунке 3.2.

Таблица 3.1 Среднеголетнее распределение стока (м³/с) по месяцам на постах [18].

Пост	Месяц												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Р.ОРЕДЕЖ - Д.ЧИКИНО	4,6	4,3	5,0	9,0	7,5	8,0	8,3	8,1	6,3	5,8	5,9	5,4	6,5
Р.ОРЕДЕЖ - ПГТ ВЫРИЦА	8,1	6,4	8,4	27,6	10,0	8,3	10,7	10,9	7,6	6,7	9,4	8,3	10,2

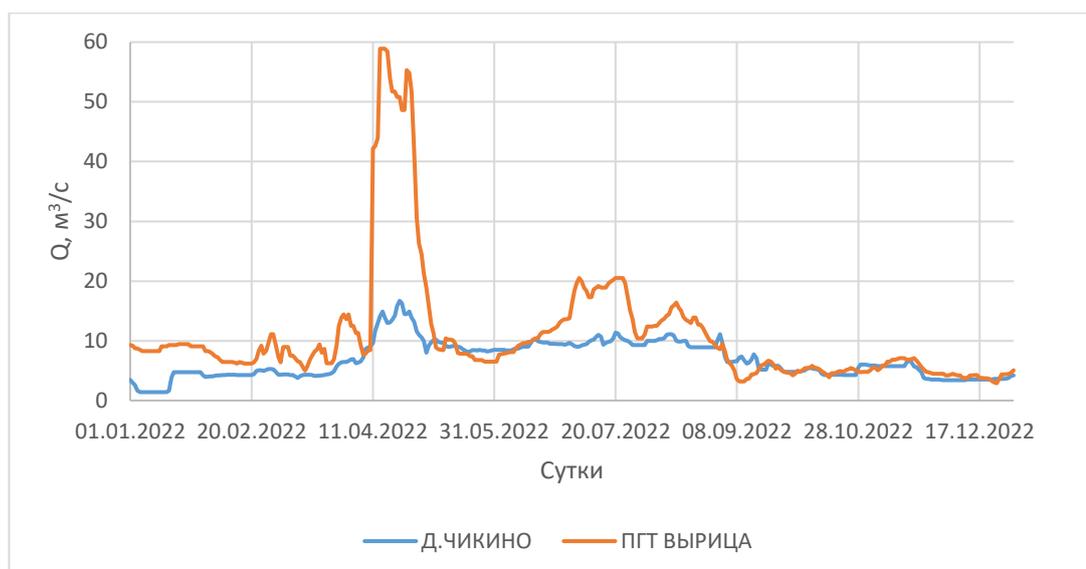


Рисунок 3.3 Совмещенные гидрографы стока реки Оредеж за 2022 год.

По химическому составу вода Оредеж отличается высоким уровнем прозрачности и низким содержанием органических веществ, что связано с фильтрацией через карстовые породы. В районе д. Даймище у воды появляется привкус железа, поскольку река дренирует железистые пески и песчаники девонского возраста.

Вода реки содержит следы радиоактивности из-за наличия газа радона, поступающего по трещинам и карстовым полостям в известняках, по своему составу относится к гидрокарбонатной группе (содержащей кальций). Уровень pH варьируется от 7,5 до 8,2, а минерализация составляет от 180 до 280 мг/л.

3.2 Река Пинега

Река Пинега начинается при слиянии рек Белой и Черной, впадает в Северную Двину в Архангельской области и, в последствие, в Белое море. В среднем течении Пинега имеет широкую пойму, разветвляется на рукава, подходя то к одному, то к другому коренному берегу. В нижнем течении перед слиянием с Северной Двиной Пинега течет в каньоне между берегами, сложенными гипсами и известняками. Характерной особенностью Пинеги является её карстовое

происхождение, что оказывает существенное влияние на гидрологические процессы, протекающие в её бассейне, рисунок 3.4.



Рисунок 3.4 Бассейн р. Северная Двина. URL: <https://cont.ws/uploads/pic/2019/11/iLOIIRCQV.jpg> (Дата обращения 19.06.2025)

Пинега сложена в основном песчаниками, алевролитами и гипсами, также мергелями. В низовьях река сложена морскими песками, глинами. Левобережье нижнего течения занимает Пукшенгинский карстовый район. Среднее течение р. Пинеги охватывает Среднепинежский карстовый район. Особенно интенсивно закарстована непосредственно примыкающая к реке полоса шириной 0,2—0,5 км. Здесь поверхность буквально испещрена карстовыми воронками и провалами, достигающими 50—80 м в диаметре и 15 м глубины. Карст этой полосы близок к типу задернованно76 Рис. 8. Провальная карстовая воронка на окраине с. Кулогоры го гипсово-ангидритового карста. [5]

Карстовые пещеры в этом районе образуются в результате растворения растворимых пород, в первую очередь известняка, под воздействием слабокислой воды. Этот процесс приводит к образованию пещер, воронок. Сама река Пинега имеет несколько известных карстовых пещер вдоль своих берегов, которые

привлекают исследователей и туристов, интересующихся геологией, спелеологией и уникальными экосистемами, находящимися внутри этих пещер.

Некоторые из известных пещер в окрестностях реки Пинега включают "Пинежскую" пещерную систему, которая отличается впечатляющими сталактитами и сталагмитами. Так, на территории обустроен ФГБУ Государственный природный заповедник «Пинежский» для исследования и сохранения карстовых пещер. [12] Примеры пещерных образований приведены на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 Пинежская пещерная система URL: <https://pomorland.travel/upload/iblock/9d9/9d998d368879ea02e90200dc35ddad89.jpg> (Дата обращения 19.06.2025)

Климат характеризуется как умеренно-континентальный. Средняя температура января колеблется от -10°C до -15°C , в то время как средняя температура июля составляет около $+15^{\circ}\text{C}$ до $+20^{\circ}\text{C}$. Колебания температуры воздуха представлены в таблице 1.3.

Осадки распределены неравномерно в течение года, с максимальными значениями в летние месяцы. Это создает условия для активного таяния снега и увеличения уровня воды в реке весной, что может приводить к паводкам и затоплению прибрежных территорий. Высок уровень заболачиваемости, поскольку осенью испарение незначительно.

Зимний период длится около 5-6 месяцев, с устойчивым снежным покровом, который способствует формированию паводков весной. Ледостав на реке Пинега устанавливается, как правило, в конце ноября – начале декабря, следующие две-три недели идет ледоход. Продолжительность ледостава составляет стандартно 180 дней. В это время наблюдается снижение уровня воды, что связано с уменьшением стока и замедлением течения. Особенностью ледового режима реки Пинега является реверсивное течение, которое приводит к перемещениям льда, выносу льдин.

Во время весеннего ледохода на участках среднего течения реки возникают ледяные заторы, которые приводят к резкому повышению уровня воды вплоть до нескольких метров. После образования заторов на берегах остаются скопления льда. В первой декаде мая река освобождается от льда.

Водный режим Пинеги характеризуется быстрым подъёмом расходов воды в период весеннего половодья при снеготаянии и медленным спадом, сопровождаемым дождевыми паводками. Пик половодья наблюдается во второй декаде мая. В период дождевых паводков уровни воды поднимаются на 1 м. Среднегодовой расход воды реки 430 м³/с (объём стока 13,6 км³/год), максимальный – более 3000 м³/с. Особенностью является то, что основную фазу их водного режима составляет весеннее половодье.

Многолетние значения месячных расходов воды по данным постов приведены в таблице 3.2. Совмещенные гидрографы по постам представлены на рисунке 3.6.

Таблица 3.2 Среднегодовое распределение стока (м³/с) по месяцам на постах [18]

Пост	Месяц												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
р, Пинега - д, Согры	9,9	8,3	8,8	49,4	152,8	33,5	19,3	19,3	22,9	42,4	35,7	15,0	34,8
р, Пинега - д, Засурье	53,9	40,4	39,9	213	844	208	107	124	133	228	186	78,4	188
р, Пинега - с, Кулогоры	132	102	103	370	1664	460	240	275	273	452	401	183	388

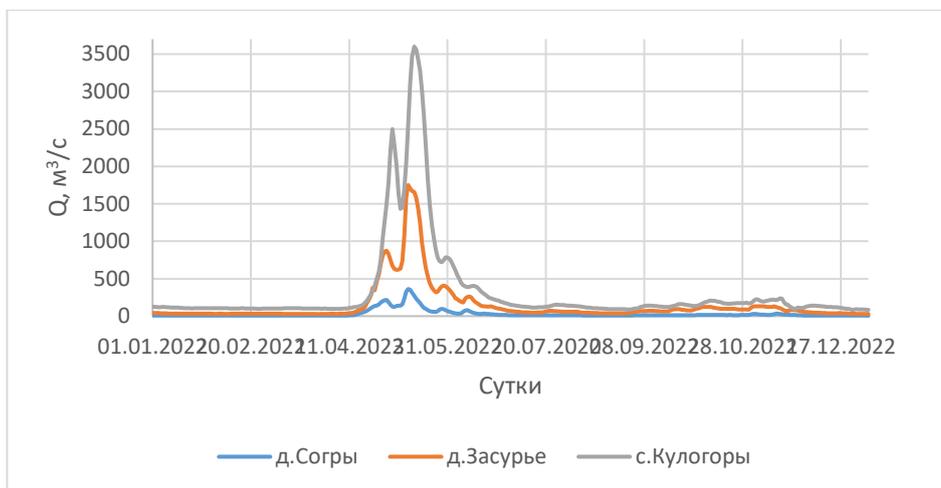


Рисунок 3.6 Совмещенные гидрографы стока реки Пинега за 2022 год.

По химическому составу речная вода относится к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе. Минерализация воды увеличивается до 320 мг/л зимой и уменьшается до 70 мг/л в период весеннего половодья. Мутность речных вод не превышает 50 г/м³. Категория качества воды в реке – умеренно загрязнённая. [19]

Источником соединений железа являются болотные воды, питающие малые реки и ручьи бассейна р. Пинега. Среднегодовое (максимальное) содержание соединений железа и марганца определялось на уровне 4 из 10 максимум ПДК. Среднее за год содержание трудно окисляемых органических веществ (по ХПК) и соединений меди составило 3 ПДК, при наибольших значениях 5 ПДК и 7 ПДК соответственно. Содержание соединений цинка и алюминия на уровне 2 ПДК. Максимальные концентрации соединений цинка превысили установленный норматив в 4 раза, соединений алюминия – в 3 раза. [20]

3.3 Река Мста

Истоком реки Мста является озеро Мстино, среднее течение проходит по территориям Тверской и Новгородской области и, в конечном счете, река впадает в озеро Ильмень. Длина реки составляет 445 км. Падение реки составляет 134 м.

Площадь бассейна реки Мсты составляет 23 300 км². Река имеет около 70 притоков. Рисунок 3.7.



Рисунок 3.7 Бассейн р. Мста URL: <https://geoglob.ru/wp-content/uploads/2023/06/msta-karta.webp> (Дата обращения 19.06.2025)

Речной бассейн реки Мсты является река Нева, речной подбассейн р. Волхов. Бассейн расположен на Русской плите в пределах северо-западного крыла Московской синеклизы и сложен отложениями верхнего девона, нижнего и среднего карбона, залегающими моноклинально с падением в сторону центра синеклизы. Возраст отложений уменьшается с запада на восток. Западная часть бассейна Мсты относится к Главному девонскому полю, восточная – к Карбонному плато. [21]

Вдоль течения реки Мста наблюдаются значительные карстовые процессы, которые приводят к образованию пещер, воронок и обрывов. Эти карстовые структуры создают нестабильные берега.

Нижнее течение Мсты сложено верхнедевонскими отложениями (глины, песчаники, пески). В среднем развиты верхнедевонские глины, известняки, мергели и доломиты. Начиная от г. Боровичи, река протекает по Карбонному плато,

где преобладают отложения нижнего отдела каменноугольной системы (доломитизированные известняки, глины, пески).

В верхнем и среднем течении Мсты проявляется эрозия, вызванная карстовыми процессами, негативно воздействуя на городскую и сельскую инфраструктуру. В г. Боровичи зафиксированы проявления эрозии берегов.

Вблизи части, впадающей в оз. Ильмень, река Мста демонстрирует авандельту – это участок, где происходит отложение осадков, приносимых рекой, в результате замедления течения воды. Это аккумулятивное образование с четко выраженной на эхограммах бровкой высотой 1–1,5 м. Оно сложено песками, глинами, которые ближе к краю сменяются песчаными и глинисто-песчаными алевритами.

С приходом морского воздуха от Балтийского моря устанавливается нежаркая, пасмурная или дождливая погода. Согласно таблице 1.5, средняя температура июля – 17–17,7 С°.

Годовая сумма осадков, согласно таблице 1.6, составляет в разных частях бассейна от 550 до 700 мм при испаряемости до 800 мм в год. В Приильменской низменности средняя годовая испаряемость составляет 400–450 мм. Максимум осадков приходится на лето (38%), немного меньше – на осень (27%). Высота снежного покрова увеличивается к северо-востоку от 0,4 до 0,6 м. В связи с сильными ветрами снег сносится с понижения рельефа, где он нередко достигает большой мощности.

Снежный покров образуется к середине ноября – началу декабря, и длится 4–5 месяцев (110–120 дней). В марте наступает потепление и к апрелю снег ставивает. Зимой преобладает умеренно морозная погода с температурой воздуха до -10°С. Средняя температура января составляет от -7 С до -11 С. Арктический воздух понижает температуру до -45°С. Весенний подъем уровня воды, сопровождающийся вскрытием реки, происходит в апреле. Продолжительность весеннего ледохода составляет от 3– 6 дня, максимальная – 19 дней.

Питание реки преимущественно снеговое – 60%, против 30% на грунтовое питание и 10% на дождевое.

Порожистость является характерной особенностью Мсты, причем наиболее крупные пороги сосредоточены в верхнем течении – на первых 130-140 км.

Многолетние значения месячных расходов воды по данным постов приведены в таблице 3.3. Совмещенные гидрографы по постам представлены на рисунке 3.8.

Таблица 3.3 Среднемноголетнее распределение стока ($\text{м}^3/\text{с}$) по месяцам на постах [18]

Пост	Месяц												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Р.МСТА - ПОС.ПОТЕРПЕЛИЦЫ	61,8	49,7	67,2	214	168	57,4	46,8	49,7	47,4	69,2	99,4	78,8	84,1
Р.МСТА - Д.ДЕВКИНО	149	114	174	534	305	110	105	96,9	89,7	146	227	192	187

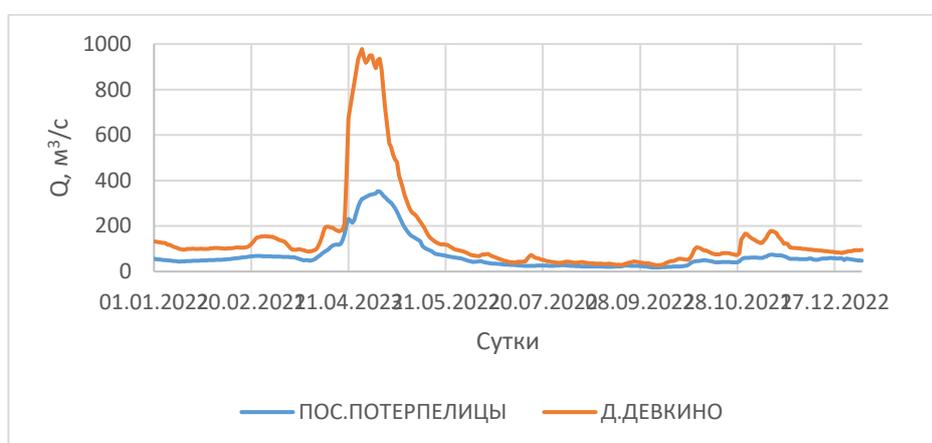


Рисунок 3.8 Совмещенные гидрографы стока реки Мста за 2022 год.

Химический состав реки Мста многообразен: на него оказывает влияние и деятельность человека, и территория, по которой она протекает, богатая известняком и глиной. Вода классифицируется как сульфатная, слабокислая, рН в районе 6,3 до 8,5. Река Мста характеризуется минерализацией воды в течение всего года – 105-170 мг/л.

3.4 Сравнительный анализ карстовых рек Северо-Запада

Для сравнения климатического режима и стока рек, приводятся совмещенные графики по среднемесячной температуре воздуха (рис. 3.9), месячным суммам осадков (рис. 3.10), месячному распределению стока (рис. 3.11).

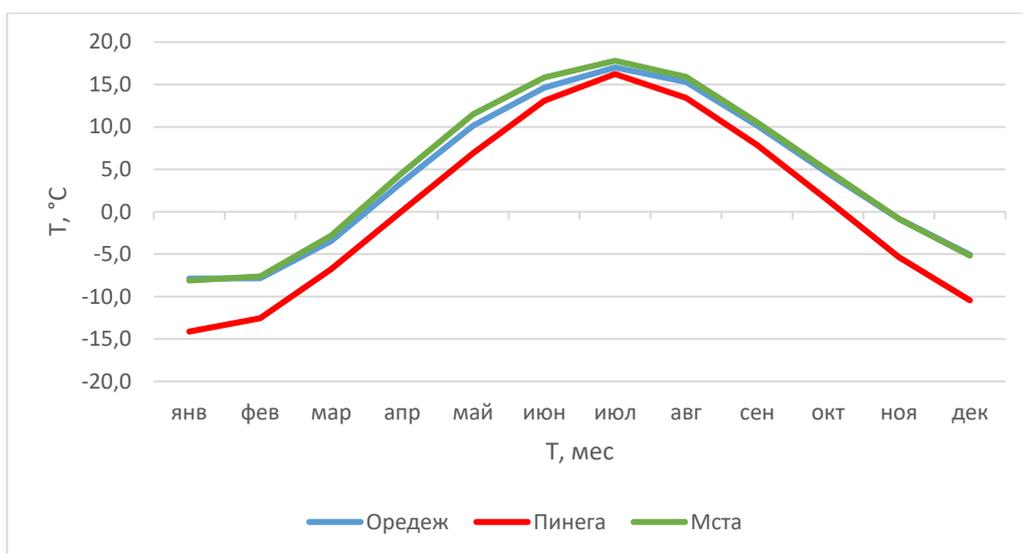


Рисунок 3.9 Совмещенный график среднемесячного хода температур по метеостанциям в бассейнах рек.

Среднемесячные температуры воздуха в бассейнах рек Оредеж и Мста схожи, поскольку они находятся в зоне умеренно-континентального климата и подвержены влиянию одних и тех же метеорологических факторов, в то время как температуры воздуха в бассейне реки Пинега в зимний период ниже на 5-7 °С, а в летний период на 1-3 °С. Это связано с более северным географическим положением реки.

Также на схожесть температур воздуха рек Оредеж и Мста влияет их рельеф: в обоих присутствуют равнинные участки, которые способствуют удержанию тепла и создают схожие микроклиматические условия, - для Оредежи – Восточно-Европейская равнина, для реки Мста – Приильменская низменность.

Самым холодным месяцем для всех бассейнов является январь, а самым жарким – июль.

Осреднение сумм осадков по выбранным рекам Северо-Запада РФ представлено на рисунке 3.10.

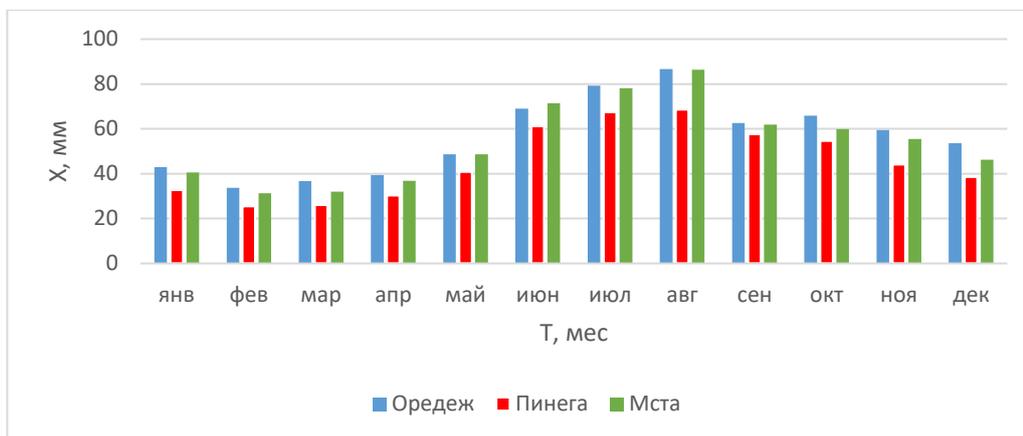


Рисунок 3.9 Совмещенное многолетнее месячное распределение сумм осадков по метеостанциям в бассейнах рек

В связи с близким географическим расположением, в бассейнах рек Мста и Оредеж выпадает приблизительно одинаковое количество осадков. В среднем, в бассейне реки Оредеж суммарно выпадает 680 мм, в бассейне реки Мста – 650 мм, а в бассейне реки Пинега – 550 мм. Наибольшее количество осадков выпадает в летие месяцы в жидкой форме.

Пинега, в связи со своим северным расположением, имеет более низкие суммы осадков, чем Оредеж и Мста.

Осреднение многолетнего месячного стока по выбранным рекам Северо-Запада РФ представлено на рисунке 3.10.

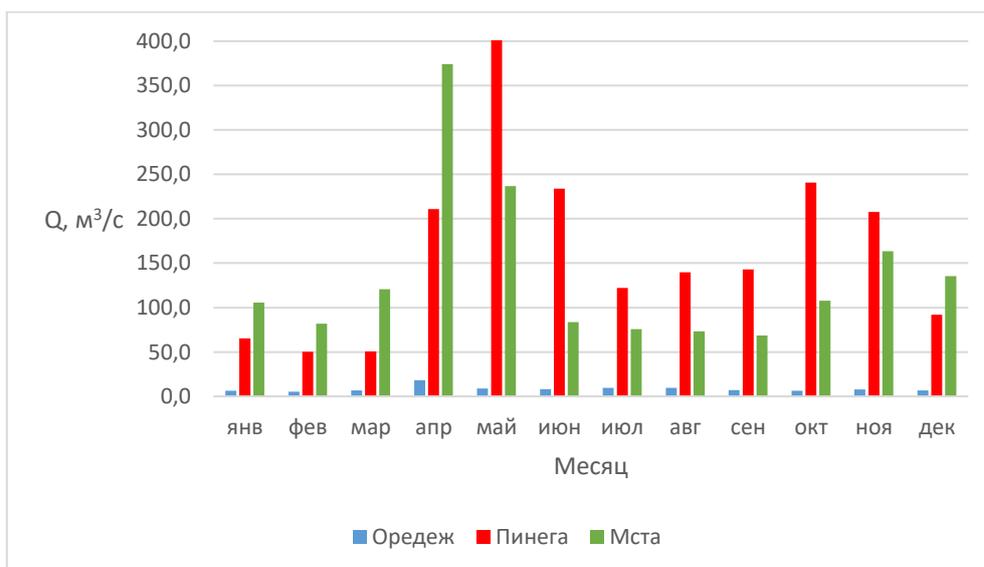


Рисунок 3.11 Фрагмент совмещенного многолетнее распределение месячного стока на постах в бассейнах рек.

Месячный сток на реках значительно отличается друг от друга. Для реки Оредеж характерны расходы воды от 5 м³/с в межень до 20 м³/с в весеннее половодье. Расход воды в межень реки Пинега составляет от 50 м³/с, а в весеннее половодье – до 900 м³/с. Характерные расходы воды для реки Мста в межень – от 70 м³/с и до 240 м³/с в весеннее половодье. Максимальные расходы воды наблюдаются в апреле для Оредежа и Мсты и в мае для Пинеги. Максимальный скачок расхода воды для Пинеги обусловлен таянием снега. В осенние месяцы наблюдаются увеличения расходов воды у всех рек, связанное с выпадением жидких осадков на поверхности бассейнов.

Настолько сильное различие по месячному стоку между выбранными реками также обусловлено размерами рек, наличием притоков, устьем и истоком: у р. Мста много крупных притоков (Березайка, Шегринка, Перетна и др), выдающийся расход воды у Пинеги обусловлен стаиванием более густого снежного покрова, превосходящего по количеству снежные массы на двух других сравнительных реках.

Циклы воды в атмосфере, на поверхности и в подземных слоях представляют собой различные фазы единого процесса постоянного перемещения влаги на планете. Завершение подземного цикла общего круговорота воды происходит с выходом подземных вод на поверхность, что называется подземным стоком. Для расчета коэффициента подземного стока понадобятся формулы [22]:

1. Модуль подземного стока

$$M_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{п}} \cdot 10^3}{F_{\text{п}} \cdot 365 \cdot 86400}$$

2. Слой подземного стока

$$\frac{y_{\text{п}}}{x} = \frac{0,001Q_{\text{п}}}{F_{\text{п}} \cdot x} = \frac{31,5M_{\text{п}}}{x}$$

3. Коэффициент подземного стока

$$K_{\text{п}} = \frac{y_{\text{п}}}{x} \cdot 100\%$$

4. Коэффициент подземного питания реки

$$K_{\text{пп}} = \frac{Q_{\text{пс}}}{Q_{\text{рс}}} \cdot 100\%$$

Для определения среднего значения $M_{\text{п}}$ по гидропостам на выбранных реках была использована карта прогнозных ресурсов подземных вод России за 2008 г, представленная фрагментами с выбранными реками на рисунках 3.12, 3.13, 3.14.

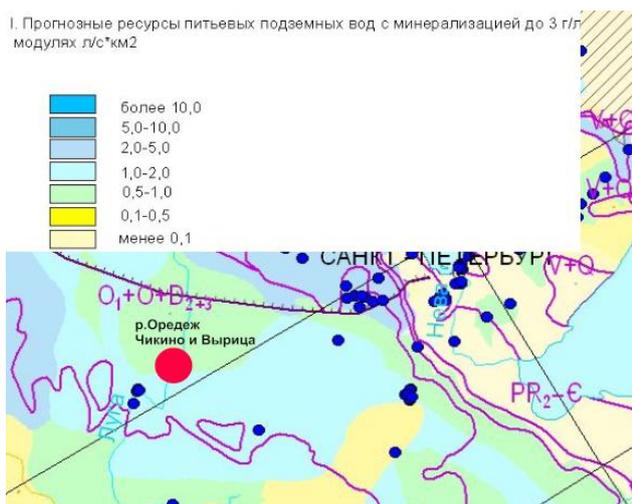


Рисунок 3.12 Фрагмент карты прогнозных ресурсов подземных вод для р. Оредеж. URL: https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/archiv_sv_maps/492743/492743_5-10.jpg (Дата обращения 19.06.2025)

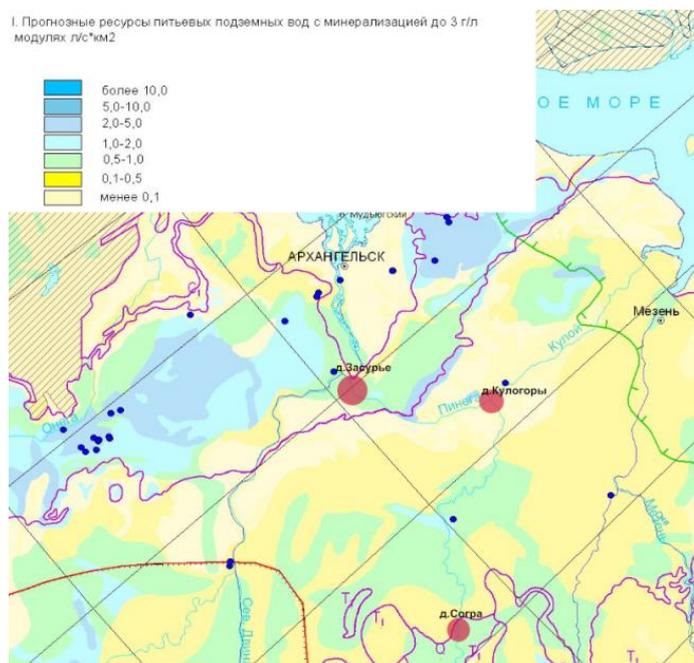


Рисунок 3.13 Фрагмент карты прогнозных ресурсов подземных вод для р. Пинега. URL: https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/archiv_sv_maps/492743/492743_5-10.jpg (Дата обращения 19.06.2025)

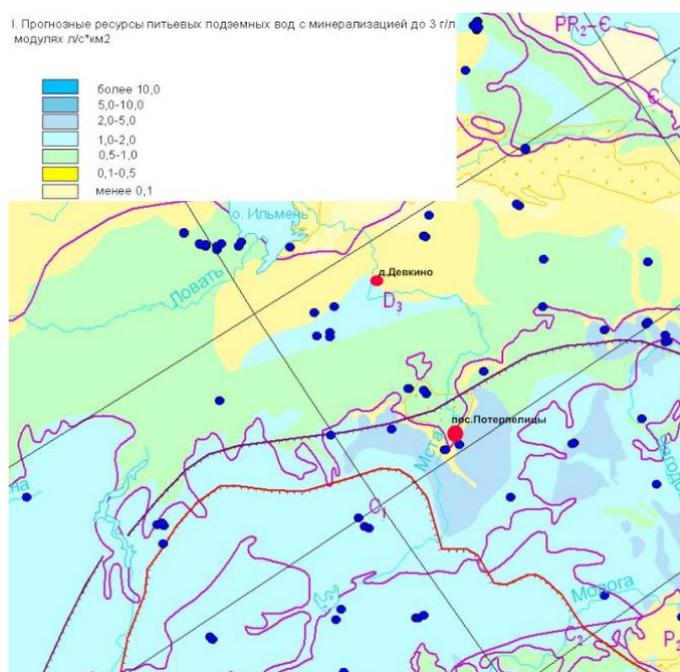


Рисунок 3.14 Фрагмент карты прогнозных ресурсов подземных вод для р. Мста. URL: https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/archiv_sv_maps/492743/492743_5-10.jpg (Дата обращения 19.06.2025)

После снятия значений M_p по фрагментам карты, была составлена таблица 3.5, в которой проведено осреднение модуля подземного стока.

Таблица 3.5 Средний модуль подземного стока по р. Оредеж, Мста, Пинега.

Пост	M_p (с карты)	M_p ср
Р.МСТА - ПОС.ПОТЕРПЕЛИЦЫ	0,75	1,13
Р.МСТА - Д.ДЕВКИНО	1,5	
р.Пинега - д.Согры	0,75	0,58
р.Пинега - д.Засурье	0,75	
р.Пинега - с.Кулогоры	0,25	
р.Оредеж - д.Чикино	0,75	1,25
р.Оредеж – пгт Вырица	1,5	

Был произведен расчет слоя подземного стока и коэффициента подземного стока. Для расчета также использовались данные значения месячных и годовых сумм осадков по таблицам 1.2, 1.4, 1.6. Результаты отображены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 Расчет коэффициента подземного стока для р. Оредеж, Мста и Пинега.

	Оредеж	Мста	Пинега
$M_{п}$ (с карты)	1,25	1,13	0,58
X (с климата)	678	649	547
$K_{п}$	0,058	0,055	0,043

Коэффициенты различны, стоит отметить, что находятся в пределах нормы (менее 1). Видно, что для реки Оредеж коэффициент подземного стока наиболее влиятелен в сравнении с другими реками.

Следующим этапом был расчет подземного питания рек через подземный сток к речному стоку по среднегодовым значениям (см. Рисунок 3.10). Подземный сток был получен путем расчета зимнего стока (январь, февраль, март), который отвечает чистому подземному стоку, и отнесен к общему речному стоку для карстующихся участков. Результат приведен в таблице 3.7.

	Оредеж	Мста	Пинега
$K_{пп}$	0,35	0,33	0,33

Таблица 3.7. Расчет коэффициента подземного питания рек Оредеж, Пинега, Мста.

По представленным выше материалам, связанным с режимобразующими факторами для рек с карстовыми процессами, была составлена сводная таблица сравнения характеристик рек 3.8:

Таблица 3.8 Сравнение характеристик рек Северо-Запада.

Характеристика	Оредеж	Пинега	Мста
$T, ^\circ\text{C}$ $\frac{\min(I)}{\max(VII)}$	$\frac{-7,9}{17}$ $\bar{T}_{\text{Год}} = 4,2$	$\frac{-14,1}{16,2}$ $\bar{T}_{\text{Год}} = 0,8$	$\frac{-7,9}{17}$ $\bar{T}_{\text{Год}} = 4,7$
X, мм	678	547	649
Q, м ³ /с	8,3	204	136
Химический состав воды	Гидрокарбонатная	Гидрокарбонатно-сульфатная	Сульфатная
Ледовый режим, $\frac{\text{начало}}{\text{конец}}$	Конец ноября	Конец ноября – начало декабря	Конец ноября
Рельеф	Карстовые воронки, поноры в известняках.	Пещеры, лога, карстовые воронки, прибрежные скалы, галереи.	Карстовые воронки, пещеры.
Тип карста	Открытый тип	Открыто-перекрытый	Покрыто-открытый
Режим питания реки	Снеговое, подземное, грунтовые воды.	Снеговое с подпиткой грунтовыми водами.	Снеговое с подпиткой грунтовыми водами.
Густота речной сети, км/км ²	0,07	0,5–0,6	от 0,3 до 0,6
Заболоченность реки, %	1,17%	8,5%	до 30-35%
Озерность, %	0,43%	0,47%	3-4%
Коэффициент подземного стока	0,070	0,055	0,043
Коэффициент подземного питания реки	0,35	0,33	0,33

На химический состав воды влияет карстовые образования, которым сложен рельеф рек, для Оредежи – выщелачивание доломитов, известняков, для Пинеги – гипсы, известняки, для Мсты - гипс, ангидрит. Все реки классифицируются как сильно загрязненные. У рек Пинега и Мста загрязняющие вещества попадают из притоков, в их составе обнаруживаются следы меди и марганца (Мста), цинка и железа (Пинега).

Ледостав рек начинается в одно и то же время. Особенностью ледового режима реки Пинега является реверсивное течение, которое приводит к перемещениям льда, выносу льдин. На Пинеге также образуются ледяные сталактиты в Пинежских пещерных системах.

Рельеф рек разнообразен по возрасту (Оредеж – ордовик, Пинега – Р₂, Мста – девон), качеству разрушений (карст рек Мста и Оредеж характерен разрушениями, Пинежский карст не характерен) и сложенными породами, сходство лишь в наличии доломитов в отдельных частях бассейнов рек. Карст разнообразен, но схож карстовыми воронками на реках.

Режим питания у всех выбранных рек смешанного типа: снеговой, с подпиткой подземными водами. В этом помогают и воды верховодки (карстовые родники), так и болотными и надмерзлотными водами. Грунтовые воды являются базисом для р. Оредеж, Пинега и Мста.

На процент *заболоченности* влияет то, что все выбранные реки находятся в зоне прохладного и влажного климата, где преобладают хвойные леса. Самый большой показатель заболоченности у р. Мста, поскольку в нижнем своем течении она протекает в Волховско-Ильменской заболоченной впадине.

Значения *коэффициента подземного стока и коэффициента подземного питания реки* самые высокие у р. Оредежа. У Оредежа подземный сток в верхнем створе, где в основном развит карст, самый большой, на Пинеге карстовый участок расположен практически в нижнем течении при впадении в Северную Двину, Мста также характеризуется наименьшим участком закарстованности.

Уровни воды представлены на рисунках 3.15, 3.16, 3.17. Максимальные значения у Оредежи (414) и у Пинеги (684) достигаются единожды, во время весеннего половодья, у реки Мста максимум (772) достигается дважды в течение года, такое может происходить из-за регулирования режима, благоприятно действующих на подъем воды.

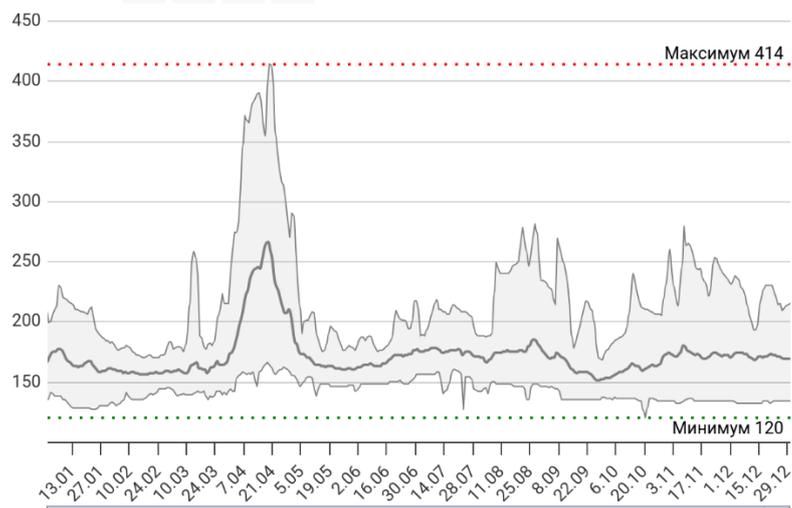


Рисунок 3.15 График уровня воды р. Оредеж, гидропоста Вырица за 2015(минимум) – 2019 (максимум) г. [23]

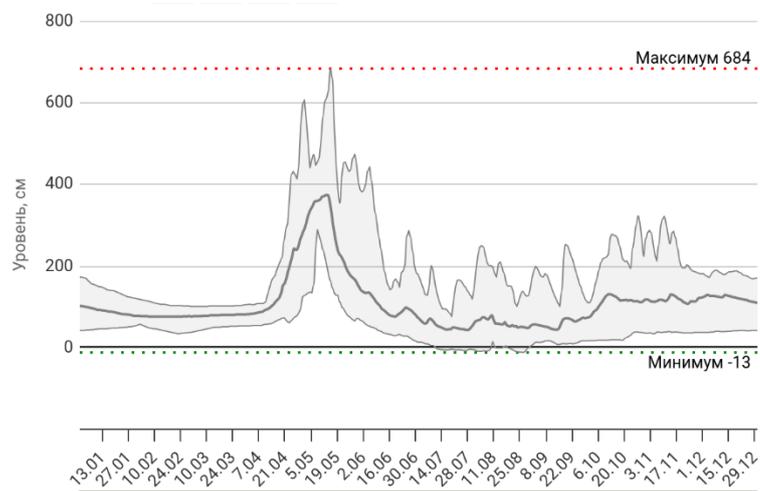


Рисунок 3.16 График уровня воды р. Пинега, гидропоста с.Усть-Покшеньга за 2016(минимум) 2017 (максимум) г. [23]

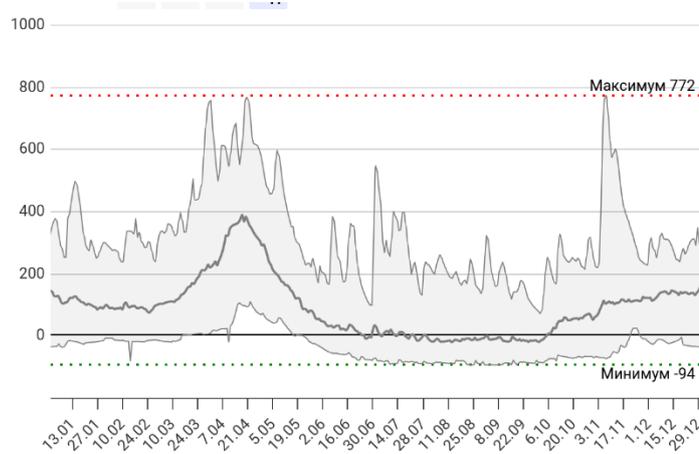


Рисунок 3.17 График уровня воды р. Мста, гидропост д.Девкино за 2002 (минимум) - 2019 (максимум). [23]

Заключение

В результате проделанной работы произведен анализ по развитию карста на Северо-Западе РФ, следует отметить, что территория имеет множество речных бассейнов, которые принадлежат к Белому, Балтийскому морю и различаются целым рядом режимобразующих факторов. Именно эти факторы и исследовались в данной бакалаврской работе. Были выбраны основные речные бассейны, характеризующие водосборные площади крупных рек: Луги, Северной Двины и Невы.

Эти площади характеризуются, в свою очередь, интенсивным развитием карстовых процессов, результатом которых является изменение рельефа территорий, густоты речной сети, водным режимом, уровнем воды, расходом воды и гидрохимическим составом воды. Дополнительно рассмотрены естественные климатические факторы территории Северо-Запада и их закономерности. Изученные материалы позволили построить графики хода климатических факторов, гидрографы стока и выявить их закономерности. Полученные данные сведены в сравнительную таблицу, приведенную в тексте. Интересным результатом различие в геолого-тектоническом районировании, в минералогическом составе карстующихся пород и масштабах самого карста.

Это явилось очень важным видом в характеристике карстовых процессов, дающих представление для всего Северо-Запада Русской платформы.

С проявлением карста на реке Оредеж студенты ознакомились непосредственно в период прохождения полевых летних практиках в п. Даймище.

Исследование, приведенное в ВКР, доказало, что необходимо изучать природные процессы системно, во взаимосвязи со всеми режимобразующими факторами, только в таком случае можно получить полную картину об изучаемых объектах. Приведенные некоторые результаты картирования карста показывают, что условия его формирования постоянно подвержены изменениям и большая задача принадлежит прогнозированию карстовых процессов для предотвращения разрушений и опасных явлений.

Список использованных источников

1. СП 499.1325800.2021. Свод правил. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от карстово-суффозионных процессов. Правила проектирования. (утв. Приказом Минстроя России от 02.03.2021 N 105/пр) Распространение карста на территории Российской Федерации ФГУП «Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких металлов» Автор: К.Г.-М.Н. И.Г. Спиридонов, к.г.-м.н. Н.А. Миронов, С.В. Егоркин / Геофизика опасных природных воздействий Актуализированная редакция СНиП 22-01—95. М.: Стандартинформ, 2018. С. 32. Дата обращения 18.06.2025
2. Самарина В.С. Гидрогеохимия — Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. — 359 с. Дата обращения 18.06.2025.
3. Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н. Карстоведение. Общее карстоведение. Пермь: Изд-во Перм. ун-та., 2004. 308 с. Дата обращения 18.06.2025.
4. Агафонова С. А., Фролова Н. Л., Василенко А. Н., Широкова В. А. Ледовый режим и опасные гидрологические явления на реках Арктической зоны Европейской территории России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2016. № 6. С. 41–49. Дата обращения 18.06.2025.
5. Чикишев А. Г. Карст Русской Равнины. М.: Наука, 1978. 193 с. Дата обращения 18.06.2025.
6. Н.А. Бродская, Н.А. Виноград, А.А. Соколова. ПОЛЕВАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ Учебно-методическое пособие по учебной ознакомительной практике по гидрогеологии/Образовательно-просветительский проект Российского государственного гидрометеорологического университета «Гидросфера: моря и воды суши». Выпуск 1. СПб.:РГГМУ, 2023 – 114 с. Дата обращения 18.06.2025.
7. Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л. Чистова З.Б. Дистанционные признаки карстового процесса на Беломорско-Кулойском плато // Материалы 22-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 11–15 ноября 2024 г. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 423. URL: http://conf.rse.geosmis.ru/files/pdf/22/10716_%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%B4%D1%80_%D0%98%D0%9A%D0%98_2024.pdf Дата обращения 18.06.2025.
8. Торсуев Н. П. Карст Онего-Северодвинского междуречья. Казань, 1964. Дата обращения 18.06.2025.
9. Щукин И. С. Общая геоморфология. Т. 2. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964. 564 с. Дата обращения 18.06.2025.

10. Максимович Г. А. Основы карстоведения. Т. II. Вопросы гидрогеологии карста, реки и озера карстовых районов, карст мела, гидротермокарст (учебное пособие). Пермь. ПГУ им. имени А. М. Горького, 1969. 530 с. Дата обращения 18.06.2025.
11. Демиденко Н. А. Современные особенности гидрологического режима устьевых областей рек бассейна Белого моря // Меняющийся климат и социально-экономический потенциал Российской Арктики /ред. Сократов С. А. . Т. 2. Ред. М.: Лига-Вент. С. 95–145. Дата обращения 18.06.2025.
12. Шаврина Е.В., ФГБУ Государственный природный заповедник «Пинежский», Архангельский центр ВОО «Русское географическое общество». Архангельск, 2022. С. 48-52. И С. 53-58. И С 86-91. Дата обращения 18.06.2025.
13. Антроповский В. И., Петров О. А. Морфология и русловые процессы рек в районах распространения карста // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. 2002. Т. 2. № 4. С. 145-152. Дата обращения 18.06.2025.
14. Владимиров А. М. Факторы формирования экстремального стока в маловодный сезон // Ученые Записки РГГМУ. 2008. № 7. С. 13–22. Дата обращения 18.06.2025.
15. Федорова В. А. Устойчивость геосистем к загрязнению как основа экологического нормирования качества воды: на примере рек севера ЕТР. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. 2001. 22 с. Дата обращения 18.06.2025.
16. Ефимова Л. Е. Демиденко Н. А., Жук В. А., Фролова Н. Л., Широкова В. А. Геохимические характеристики вод устьевой области р. Онеги // Геология морей и океанов. Материалы XIX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. 3. М.: ГЕОС, 2011. 149–153. Дата обращения 18.06.2025.
17. К.О. Семкова, А.В. Сикан. Особенности водного режима реки Оредеж. Российский гос. гидрометеорологический ун-т; [под ред. Е. В. Гайдуковой, Т. Р. Ереминой, Д. И. Исеева]. — Казань: Бук, 2023. — 222 с. Дата обращения 18.06.2025.
18. Специализированные массивы для климатических исследований. – URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index0.xhtml>. Дата обращения 18.06.2025.
19. Залывский Н.П. Пинежский вектор истории России: монография. Поморский гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: Поморский университет, 2007. Дата обращения 18.06.2025.
20. ОБЗОР загрязнения окружающей среды на территории деятельности ФГБУ «Северное УГМС» за 2012 год Д.А. Балагина, ФГБУ «Северное УГМС», Архангельск, 2013 г. С. 198. Дата обращения 18.06.2025.

21. Тихомиров С.В. Этапы осадконакопления девона Русской платформы и общие вопросы развития и строения стратисферы. - М.: Недра, 1995. - 445 с Дата обращения 18.06.2025.
22. Морозов П.Н. Подземный сток и методы его определения (сборник лекций). Ленинградский гидрометеорологический институт. Ленинград, 1975. Дата обращения 19.06.2025.
23. Уровень воды рек [Электронный ресурс] URL: <https://allrivers.info/> Дата обращения 18.06.2025.

Приложения

Приложение А

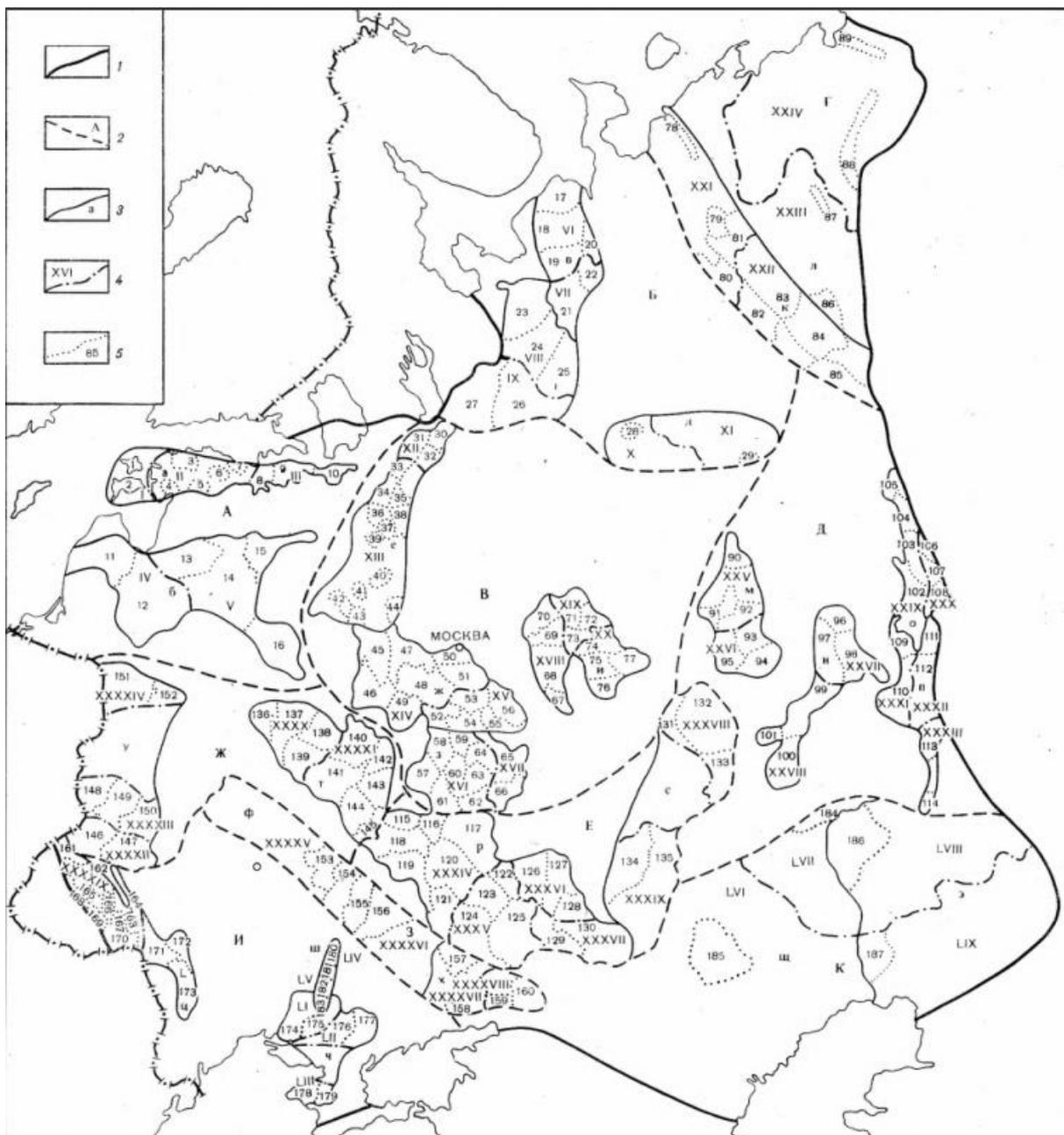


Рисунок А.1 – Карта районирования карста Русской равнины по А. Г. Чикишеву [5].

URL: http://rgo-speleo.ru/books/chikishev-karst_rus_ravniny.pdf

1 — граница карстовой страны Русской равнины; 2 — границы и индексы карстовых областей; 3 — границы карстовых округов; 4 — границы карстовых районов.

А – Прибалтийская область. **III – Изгорско-Волховский округ.** Районы: 8 – Нарва-ужский; 9 – Изгорский; 10 – Волховский. **V – Псковской округ.** Районы: Ильменьский; 16 – Ханья- Латгальский. **Б — Онежско-кулойская область.** **VI – Кулойский округ.** Районы: 17 – Койдинский; 18 – Лакинский; 19 – Кельдинский; 20 – Олминский. **VII – Пинежский округ.** Районы: 21 – Пукшенгинский; 22 – Среднепинежский. **VIII – Нижнедвинский округ.** Районы: 23 – Ваймугский; 24 – Мехреньгинский; 25 – Вагинский. **IX — Верхне-**

Онежский округ. Районы: 26 — Няндомский; 27 — Андомский. *X — Южский округ.* Районы: 28 — Сухонский. **В — Центрально-русская область.** *XII — Вепсовский округ.* Районы: 30 — Шола-Мегрский; 31 — Поша-Мегрский; 32 — Ивода-Колпский. *XIII — Валдайско-Торжокский округ.* Районы: 33 — Поша-Тихвинский; 34 — Тихвинский; 35 — Песь-Соминский; 36 — Песь-Верхнеуверьский; 37 — Уверьско-Среднемстинский; 38 — Уверьско-Кобожский; 39 — Шегринско-Березайский.

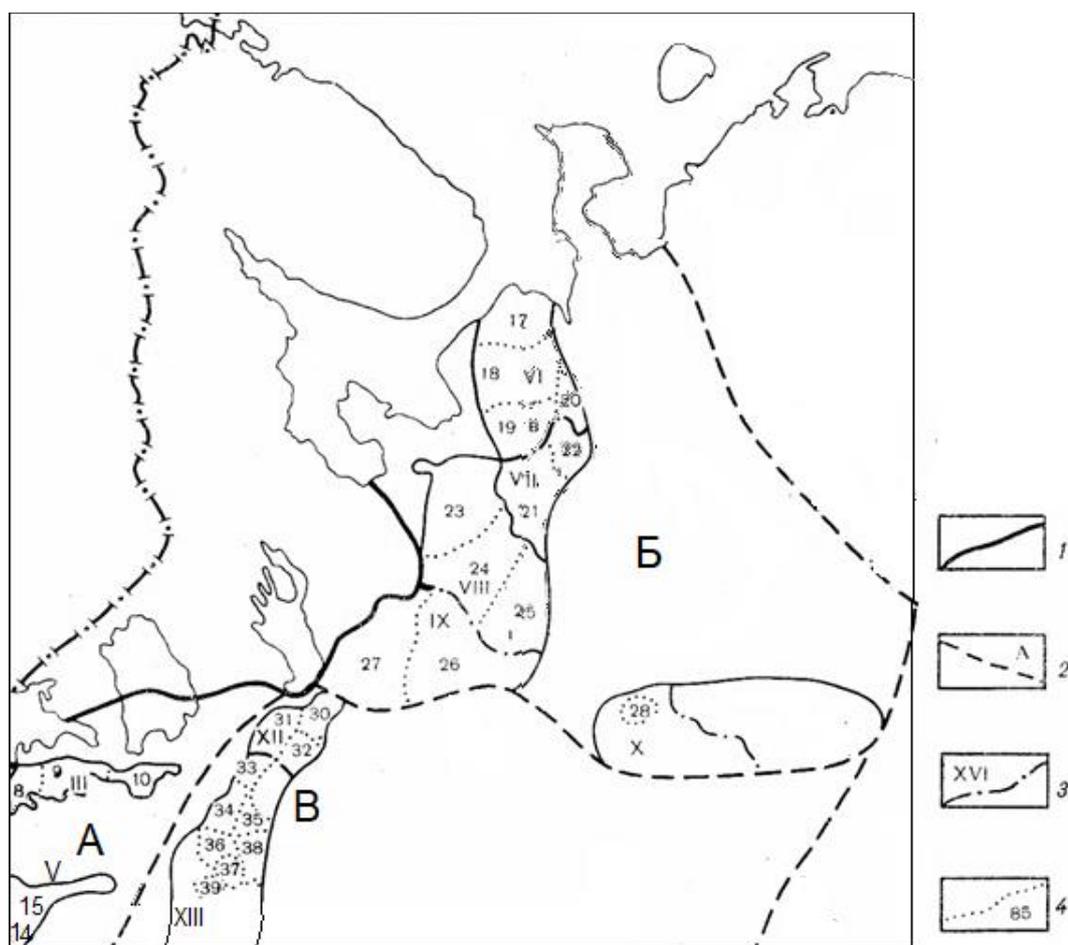


Рисунок А.2 Фрагмент карты Районирования карста Русской равнины по А. Г. Чикишеву [5].

URL: http://rgo-speleo.ru/books/chikishev-karst_rus_ravniny.pdf

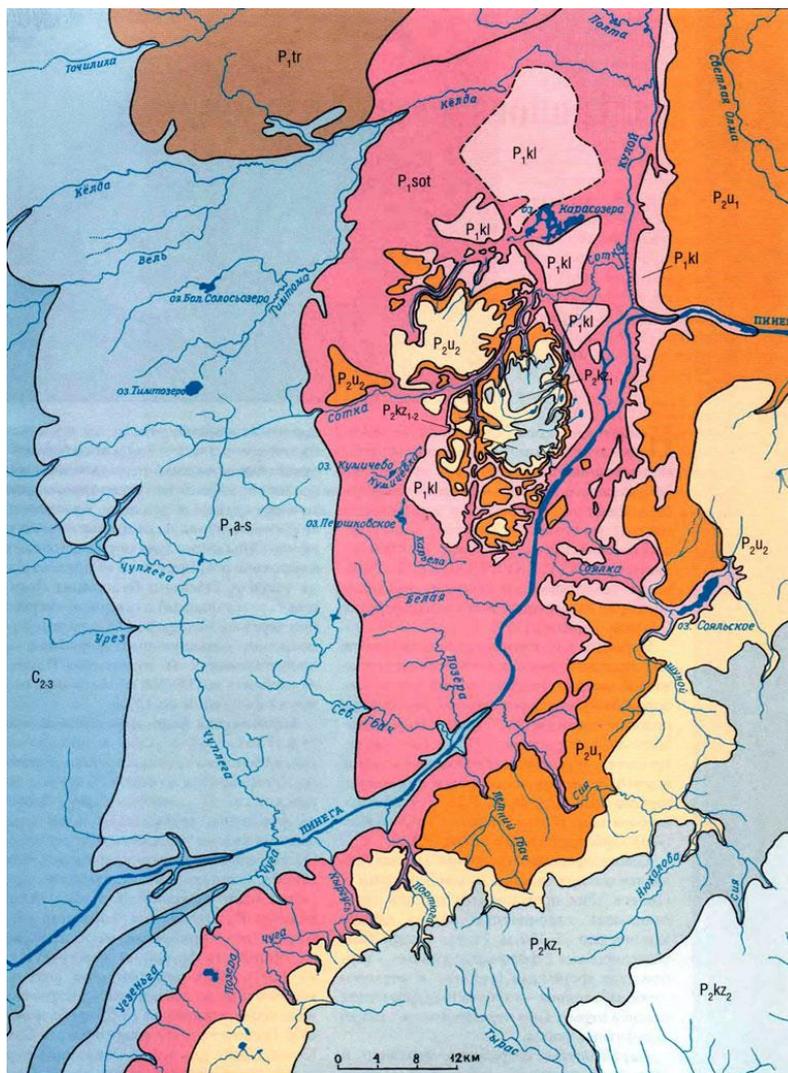
Приложение Б

Эпоха	Система	Отдел	Ярус	Поярус	Горизонт	Индекс	Мощность, м	Колонка	Индекс	Наименование Литологическая характеристика пород	Мощность, м	Глубина кровли от поверхности земли, м	Глубина кровли от д.г.т.п.к. земли, м	Напор над кровлей, м	Удельный дебит, л/с	Коэффициент фильтрации водоупор. водоносности	Минерализация пород 1/л	Пробная литология тип воды	Практическое назначение				
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21				
П а л е о з о и	Средний	Девонский	Средний	Верхний	Верхний	Арухоловский (Старорусский)	D _{2ar}	40-130		2(D _{2ef})	Верхнезифельский-нижне-франский водоносный горизонт. Пески, песчаники с прослоями алевролитов и глины.	1-200	1-200 ⁰	(+0,7+10) -35	2-50	0,1-7,0	0,5-10,0 100-1000	1,6-2,0	SO ₄ -Cl CaNa	Широко используется для водоснабжения населения, с/х и промышленных предприятий.			
						Наровский	D _{2nr}	25-60		4(D _{2ef} , nr)	Верхнезифельский (нарровский) относительно водоупорный горизонт. Мерзлы, глины, доломиты.	5-60	6-100 ⁰ до 550	(+16)-17	15-45	0,02-1,0	0,03-0,05 <50	0,85-2,1	HCO ₃ MgCa SO ₄ -Cl CaNa	Эксплуатируется в ряде населенных пунктов Гостенского района.			
						Пярнуский	D _{2pr}	10-25		2(D _{2ef})	Нижнезифельский водоносный горизонт. Песчаники, пески.	0,3-25	8-70 ⁰	(+0,4+4,0) -21	8-64	0,13-2,2	—	—	0,1-0,3	HCO ₃ MgCa	Используется ограниченно из-за небольшой площади развития.		
						Набалаский	O _{2nb}	9-30		2(O ₂)	Ордовикский водоносный горизонт. Известняки, доломиты, прослойки глины.	8-150	0,4-75 ⁰ до 550	(+1+10) -30	0-70	0,1-45	0,2-15,0 100-5000	—	—	—	0,3-0,5	HCO ₃ MgCa Cl-HCO ₃ MgCa	Источник водоснабжения крупных городов: Красное Село, Гатчина, Ломоносов и др., а также поселков, птицефабрик. Может использоваться в качестве минеральных лечебно-столовых вод.
						Ракверский	O _{2rk}	17-25															
						Оандуский	O _{2on}	до 20															
						Кейлаский	O _{2kl}	8-35															
						Йыхвиский	O _{2jh}	25															
						Идаверский	O _{2id}	10-45															
						Кукерский	O _{2kk}	25-40															
	Ухауский	O _{2uh}	10-18																				
	Ласнамягск. Азеринский	O _{2az-ls}	10-15																				
	Кундаский	O _{2kt}	5-28																				
	Волховский	O _{2vl}	4-20																				
	Латорский	O _{2lt}	0,5-10																				
	Варангуский	O _{2vt}	0,3-1,0																				
	Пакерортский	O _{2pk}	0,1-7,0 12-15		4(O ₂ , kр-lt)	Тремудокский относительно водоупорный горизонт. Аргиллиты, песчаники, глины.	1,5-7,0	3-35	Относительный водоупор		—	—	—	—	—	—	—						
	Ладожский	E _{2ld}	0,3-3,0		2(E ₂ -O ₂)	Кембро-ордовикский водоносный горизонт. Пески, песчаники.	3-40	5-300 ⁰ до 870	(+0,4+10) -20	3-250	0,1-3,0	0,1-5,0 100-560	—	—	0,3-0,6	HCO ₃ MgCa Cl Na SO ₄ -Cl CaNa	Используется для водоснабжения местного населения						
	Дейменский	E _{2dn}	28-40																				
	Вергальский	E _{2vg}	18-20																				
	Домини-ский	E _{2dm}	10-15																				
Кембрий	Нижний	Томмотский	Лонтоваский	E _{1ln}	до 120		3(E ₁ , ltr)	Нижнекембрийский (лонтоваский) водоупорный горизонт. Глины с редкими прослоями песчаников и алевролитов.	3-130	0-100 ⁰ до 900	Региональный водоупор		—	—	—	—	—	—	—				
			4-24		2(E ₁)	Нижнекембрийский водоносный горизонт. Песчаники, алевролиты, глины.	2-24	2-300 ⁰ до 950	3-40	1,5-350	0,001-2,5	0,01-3,0 <50-100	0,2-0,5	HCO ₃ CaNa	Служит источником водоснабжения в основном в Кингисеппском районе. Может использоваться в качестве минеральных вод.								
			Котлинский	V ₂ kt	до 160		3(V ₂ , kt)	Верхневендский (котлинский) водоупорный горизонт. Глины с редкими прослоями песчаников.	10-160	5-300 ⁰ до 1000	Региональный водоупор		—	—	—	—	—	—	—	—			
					до 70		2(V ₂ , kt)	Котлинский водоносный горизонт. Переслаивание песчаников, алевролитов, глины.	5-70	60-200	6-45	40-75	0,003-0,5	0,03-70,0	0,1-0,8	—	—						
			Редкинский	V ₂ rd	10-20		8(V ₂ , rd)	Верхневендский (редкин-ский) относительно водоупорный горизонт. Глины, прослойки песчаников, аргиллиты.	10-120	10-200	80-320	(+6+11)-70	О.В.	О.В.	0,1-3,0	О.В.	—	—	—	—			
					5-40		2(V ₂ , rd)	Редкинский водоносный горизонт. Песчаники с прослоем глины.	5-40	90-300	6-35- (+0,4+12)	70-160	0,4-3,0	—	—	—	—	—	—				
			Рифей	Верхний	Средний	R ₂₃	100-300		8(R)	Рифейский водоносный комплекс. Песчаники грубозернистые, аргиллиты, алевролиты.	100-300	5-300 ⁰ до 1300	(+1+11) -25	90-107	0,02-0,06	0,04-0,11	—	—	0,5-0,7	HCO ₃ CaMgNa Cl Na	Используется в единичных населенных пунктах на Карельском перешейке.		
						1,2-2,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			Архей-нижний протерозой	AR-PR ₁	Более 500		14(AR+PR ₁)	Архей-протерозойская относительно водоупорная зона. Граниты, гнейсы, магматиты, кварцито-песчаники.	>500	100-300 ⁰ до 1800	21,5	88,5	0,04-0,06	—	—	—	—	—	0,1	HCO ₃ Na HCO ₃ -Cl Na	Используется в единичных населенных пунктах на Карельском перешейке.		

Рис. Гидрогеологическая стратификация по Ленинградской области.

Приложение В

Карта геологических формаций Пинежья.



ПЕРМСКАЯ СИСТЕМА НИЖНИЙ ОТДЕЛ САКМАРСКИЙ ЯРУС	P₂kz₂	СУЛЬФАТНО-КАРБОНАТНАЯ ФОРМАЦИЯ	Карбонатная формация верхнеказанского подъяруса. Известняки, доломиты, мергели, прослои глин, песчаников.								
	P₂kz₁			Карбонатно-терригенная формация нижнеказанского подъяруса. Сероцветные мергели, глины, песчаники, известняки.							
	P₂u₂				СУЛЬФАТНО-ТЕРРИГЕННАЯ ФОРМАЦИЯ Сульфатно-терригенная субформация. Красноцветные песчаники, алевролиты, прослои песков, алевролитов, глин, гипсов, мергелей.						
	P₂u₁					Терригенно-сульфатная субформация. Красноцветные огипсованные алевролиты, гипсовые песчаники.					
	P₁kl						СУЛЬФАТНО-КАРБОНАТНАЯ ФОРМАЦИЯ Сульфатно-карбонатная субформация (кулогорская свита). Доломиты, гипсы, прослои мергелей, известняков.				
	P₁tr							Сульфатно-терригенная субформация (турьинская свита). Песчаники, прослои алевролитов, линзы гипсов.			
	P₁sot								Сульфатная субформация (соткинская свита). Гипсы, ангидриты, редкие прослои доломитов, глин.		
	P₁a-s									Карбонатная формация. Ассельский – сакмарский ярусы. Доломиты, известняки, редко прослои гипсов, ангидритов, песчаников, глин.	
	C₂₋₃										Карбонатная формация. Средний и верхний карбон. Московский, касимовский, гжельский ярусы. Известняки, доломиты.

URL: http://www.nordspeleo.ru/caa/kipp/1_3_kipp.htm (дата обращения 13.06.2025)

Приложение Г

Основные характеристики карстовых районов Северо-Запада

Карстовый район	Водотоки	Карстующиеся породы	Формы карстового рельефа
Прибалтийская карстовая область			
Ижорско-Волховский карстовый округ			
Нарва-Лужский	Нижнее течение р. Плюсы Ручей Сибирский	Известняки и доломиты ордовика и девона	Поноры, воронки Суходол, поноры, пещеры, гроты
Ижорский	Истоки р. Оредеж Река Тосна с притоком Саблинка Реки Хревица, Лопухинка, Гостилка	Известняки и доломиты ордовика	Воронки, провалы, поноры, блюдца, котловины и суходолы, подземные полости
Волховский	Река Лава Река Волхов в нижнем течении	Известняки ордовика	Пещеры Жихаревская, старолadoжские
Псковской округ			
Ильменьский	Река Псижа	Известняки верхнего девона	Карбонатные породы девона
Ханья-Латгальский	Реки Великая, Кудеба и Пскова.	доломиты	Карстовые воронки и провалы суходолов
Онежско-Кулойская карстовая область			
Кулойский карстовый округ			
Койдинский	Реки Сояна, Мегра, Май да	Сульфатные (гипс) и карбонатные отложения нижней перми и верхнего карбона	Воронки, пещеры
Лакинский	Реки Сояна, Кепина, Пачуга, Лака, Ежуга, Полта	Сульфатные и карбонатные отложения нижней перми и верхнего карбона	Воронки, суходолы, ниши, небольшие пещеры

Кельдинский	Река Белая и озеро Белое в пойме р. Кулой. Река Сотка	Гипсы, ангидриты и доломиты нижней перми; известняки и доломиты	Воронки, проваль-ные котловины, пещеры
Олминский	Верховье реки Кулой		Воронки, котловины, пещеры
Пинежский карстовый округ			
Пукшенгинский	Нижнее течение р. Пинеги и бассейн р. Пукшенги (приток Сев.Двины)	Гипсы, ангидриты и доломиты	Карстовые воронки и провалы. Поноры, подземные русла, ниши
Среднепинежский	Реки Летний Гбач, Портюга, Сия		Воронки, пещеры
Нижнедвинский карстовый округ			
Ваймугский	Реки Ваймуга, Шелекса и Сухая Шелекса.	Известняки и доломиты среднего и верхнего карбона	Воронки, ложбины, суходолы слепые долины
Мехреньгинский	Левобережье Северной Двины у пос. Звоз. Река Мехреньга	Карбонатные и сульфатные породы каменноугольного и пермского возраста.	Воронки, колодцы и лога
Вагинский	Пуя, Сора Левобережье Ваги ниже впадения Пуи	Известняки средней перми	Воронки
Верхне-Онежский карстовый округ			
Няндомский	Река Онега у д. Бережная Дуброва. Группа источников с дебитом 600 л/сек	Верхнекаменно-угольные и пермские карбонатные и сульфатные породы	Карстовые озера
Андомский	Реки Халуи и Безводица (бассейн р. Онеги) с подземными руслами	Известняки и доломиты карбона	Провальные воронки

Южский карстовый округ			
Сухонский	Нижнее течение реки Сухоны (карстовые озера и воронки в пойме Сухоны между д. Заболотье и пос. Монастырск наблюдаются ископаемые воронки. В пойме р. Сухоны имеются у д. Побоищной.	Гипсы и доломиты верхней перми	Провальные воронки диаметром до 40 м и глубиной 10 м
Центрально-русская карстовая область			
Вепсовский карстовый округ			
Шола-Мегрский	Река Калик (бассейн Базеги – Шолы).	Известняки и доломиты нижнего и среднего карбона	Воронки и блюдца, поноры, Каверны, полости, небольшие пещеры
Поша-Мегрский		Известняки и доломиты нижнего и среднего карбона	Воронки
Ивода-Колпский	Ивода (д. Слобода)	Известняки и доломиты среднего карбона	Воронки, суходолы
Валдайско-Торжокский карстовый округ			
Поша-Тихвинский		Известняки нижнего карбона	Воронки, блюдца
Тихвинский	Рагуша, Сухая Пярдомья. Ручей Майковский,	Известняки и доломиты нижнего карбона	Воронки, блюдца, провалы, поноры
Песь-Соминский		Известняки и доломиты среднего карбона	Воронки, блюдца

Песь-Верхнеуверь-ский	Карстовые озера	Нижнекарбонные известняки и доломиты	Воронки, провалы, котловины карстовых озер
Уверьско-Среднемстинский	Ширена, Кермерка	Известняки нижнего карбона	Воронки, поноры, суходолы
Уверьско-Кобожский	Кобож (бассейн Мологи)	Известняки и доломиты нижнего и среднего карбона	
Шегринско-Березайский	Шегринка, Понеретка, ручьи, начинающиеся карстовыми источниками	Известняки и доломиты нижнего карбона	Воронки, каверны, полости