

УДК 556.5

**Оценка будущих изменений экстремальных характеристик речного стока
в бассейнах водохранилищ Верхней Волги и Камы по данным
климатического моделирования**

М.В. Сидорова ¹, С.В. Ясинский ¹

¹Институт географии РАН, г. Москва (Россия)

E-mail: sidorova@igras.ru

Аннотация. Происходящие изменения климата влияют на водные ресурсы и режим водных объектов. Это отражается на работе водохозяйственного комплекса. Анализ возможных гидрологических изменений на европейской территории России (ЕТР) в XXI в. основан на проекциях будущего климата в ансамбле моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) проекта CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project), отобранных по критерию достоверности воспроизведения регионального климата. Проведена оценка возможных изменений в 21 веке коэффициента вариации годового стока и стока маловодных лет 95% обеспеченности, а также суммы осадков холодного периода, как основной приходной части водного баланса весеннего половодья для пяти бассейнов водохранилищ Верхней Волги и трех водохранилищ Камы. Оценка проведена по двум сценариям – оптимистичному и пессимистичному, что дает широкий диапазон оценки будущих изменений. Показано, что в течение 21 века на исследуемых территориях не ожидается принципиальных изменений водного режима, кроме перераспределения части стока половодья на меженные периоды.

Ключевые слова: речной сток, изменение климата, сток половодья, коэффициент вариации стока, вероятность экстремально маловодных лет.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема оценки и прогнозирования характеристик речного стока на перспективу в несколько десятилетий всегда относилась к разделу наиболее актуальных в научной гидрологии, поскольку она непосредственно связана с решением важнейших задач по планированию водообеспечения населения и экономики, обоснованию крупных водохозяйственных мероприятий и практикой гидротехнического проектирования.

В XX веке были разработаны и успешно применялись методы оценки гидрологических характеристик, основанные на гипотезе стационарности гидроклиматических условий формирования речного стока в прошлом и в обозримом будущем в масштабах нескольких десятилетий. В соответствии с этим за основу предвидения естественного (не измененного хозяйственной деятельностью) гидрологического режима на ближайшие десятилетия, статистические характеристики речного стока переносятся на будущий период эксплуатации водохозяйственных систем и гидротехнических сооружений.

В настоящее время правомерность концепции стационарности многолетних колебаний гидрологических условий формирования речного стока ставится под сомнение в связи с усилившимися в последней четверти XX века процессами глобального потепления климата. Учитывая достоверность произошедшего потепления и высокую вероятность его продолжения в течение XXI века, количественная оценка климатических изменений речного стока приобретает особую актуальность на фоне имеющегося и возрастающего дефицита водных ресурсов и ухудшения экологического состояния водных систем в районах интенсивного водопотребления и повышенной антропогенной нагрузки, к которым относится большая часть европейской территории России.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основным инструментом долгосрочного прогнозирования климатических и водно-балансовых характеристик в современной научной практике является

глобальное климатическое моделирование. Основой прогнозных оценок в данной работе служат результаты моделирования климата под эгидой Всемирной программы исследований климата (WCRP) [1] по данным проекта CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project, Phase 6). Это проект взаимного сравнения совмещённых моделей общей циркуляции атмосферы и океана, который объединяет результаты глобального климатического моделирования различных стран. Проект был запущен в 1995 году рабочей группой по сопряжённому моделированию Всемирной программы исследований климата. Он разрабатывается поэтапно для содействия улучшению климатических моделей, а также для поддержки национальных и международных оценок изменения климата. В 2006 году были собраны и скоординированы данные моделирования климата различными странами в рамках 3 стадии проекта - CMIP3. Для CMIP3 был предложен список из 20 различных экспериментов по возможному изменению климата. Следующим этапом проекта (2010–2014) стал CMIP5. CMIP5 включал больше метаданных, описывающих модели, чем предыдущие этапы. На данный момент, наиболее современные данные моделирования собраны в рамках стадии CMIP6. К 2018 году CMIP6 одобрил 23 проекта по сравнению моделей, в которых участвовали 33 группы моделирования в 16 странах. Этими группами разработано 45 моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), которые и были рассмотрены в данном проекте ранее [2].

Данные глобальных моделей нового поколения общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) выдают практически все поля атмосферы, океана, криосферы и деятельного слоя суши. При этом отношение специалистов к прогнозам стока по данным МОЦАО часто скептическое. Считается, что в МОЦАО заложены упрощённые схемы расчета речного стока, которые не позволяют адекватно воспроизводить колебания стока. Но, нельзя игнорировать тот факт, что ведущие научные центры (специалисты) мировой гидрометеорологии постоянно совершенствуют разработанные модели. Однако

обязательным этапом перед работой с данными глобальных моделей является их предварительное тестирование по качеству воспроизведения характеристик современного климата. Эта задача была выполнена ранее [2] и из 45 МОЦАО проекта CMIP6 был отобран ансамбль из 9 моделей FGOALS-f3-L, GISS-E2-2-H, CESM2, BCC-CSM2-MR, E3SM-1-1-ECA, BCC-ESM1, NorESM2-MM, CESM2-WACCM, FIO-ESM-2-0, которые воспроизводили современный климат исследуемой территории более убедительно. Для каждой модели были рассчитаны ошибка воспроизведения средних значений среднемноголетних сумм осадков, среднеквадратических отклонений и площади совпадения трендов сумм осадков за период 1985-2014 гг.

Однако в данной работе оценка приведена только по 4 моделям, которые обладали достаточными данными – в них был смоделирован речной сток для прогнозных периодов и наиболее удовлетворительным качеством воспроизведения современного климата (осадков). Это модели различных научных групп и стран: BCC-CSM2-MR, CESM2-WACCM, FGOALS-f3-L, FIO-ESM-2-0. Модели используют различные схемы формализации глобальных климатических процессов, начальные и граничные данные.

На основе данных выдач по стоку МОЦАО проведена оценка вероятности экстремально маловодных лет и осадков холодного периода, как предиктора изменений стока половодья для XXI века. Для оценки максимального стока рассмотрен только случай весеннего половодья, вызванного таянием снега. На базе этих оценок можно сделать выводы о возможных рисках для водного хозяйства на территории бассейнов водохранилищ Верхней Волги и Камы.

В качестве базового периода рассматривался период 1985-2014 гг. В качестве прогнозных – два 20-летних периода, условно характеризующих условия «середины» 21 века 2041-2060гг и «конца» 21 века – 2081-2100. Периоды такой длины были выбраны, поскольку климатические модели характеризуют изменения именно среднемноголетних характеристик.

Оценки изменений проведены для двух сценариев ScenarioMIP, SSP (общих социально-экономических путей): из четырех комбинации, которые охватывают, с учетом уровня радиационного воздействия, примерно тот же диапазон, что и тот, который использовался для CMIP5.

Это сценарий **SSP1 -2.6**: устойчивый и “зеленый” путь описывает все более устойчивый мир. Глобальное достояние сохраняется, границы природы соблюдаются. Основное внимание уделяется больше благосостоянию людей, чем экономическому росту. Неравенство в доходах между штатами и внутри штатов сокращается. Потребление ориентировано на минимизацию расхода материальных ресурсов и энергии.

И наиболее «пессимистичный» сценарий **SSP5 – 8.5**: разработка на ископаемом топливе. Глобальные рынки становятся все более интегрированными, что приводит к инновациям и технологическому прогрессу. Однако социальное и экономическое развитие основано на усиленной эксплуатации ресурсов ископаемого топлива с высоким процентом угля и энергоемким образом жизни во всем мире. Мировая экономика растет, и местные экологические проблемы, такие как загрязнение воздуха, успешно решаются [3].

Эти сценарии можно оценивать, как своего рода диапазон возможных изменений, оценку «сверху и снизу».

Еще одной особенностью климатического моделирования, показанной ранее в работах [4,5] является то, что выдачи моделей общей циркуляции на различные периоды высоко скоррелированы между собой (рисунок 1). Это говорит о том, что обнаруженные при оценке воспроизведения характеристик современного климата ошибки будут в значительной мере наследоваться в прогнозных периодах. Поэтому в прогнозе при оперировании относительными величинами можно частично или полностью устранить упомянутые систематические смещения и минимизировать индивидуальные погрешности. Далее мы анализируем только относительное изменение величин.

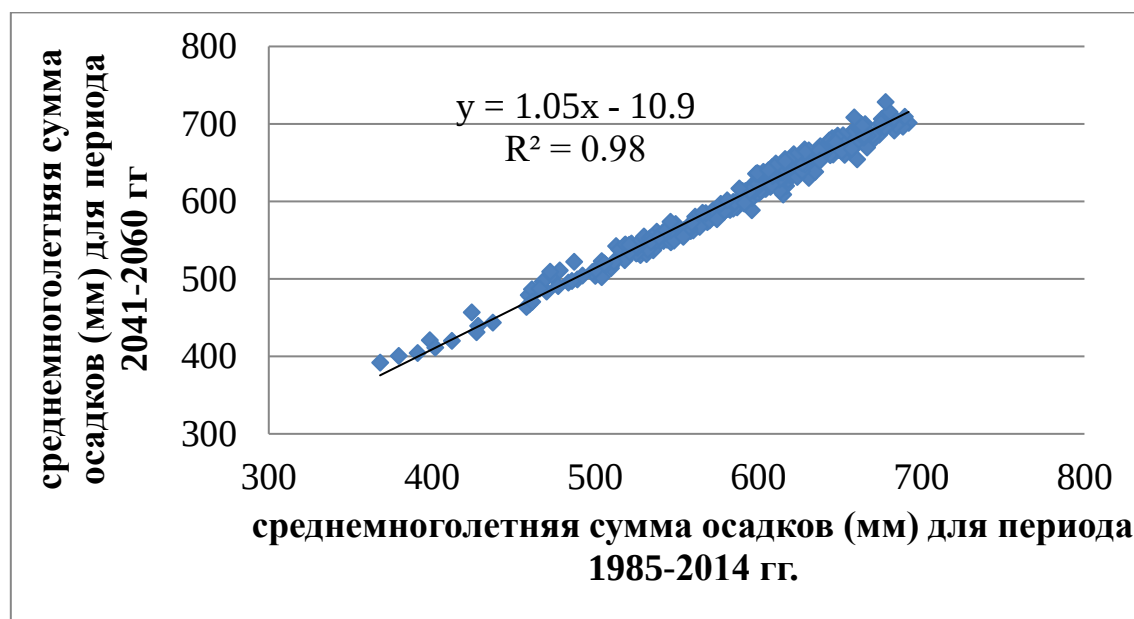


Рисунок 1 - Скоррелированность полей осадков для базисного и прогнозного периодов (расчет по ансамблю 5 моделей) для сетки точек на территории ЕТР.

Методика оценки изменения вероятности появления экстремально маловодных лет. В качестве характеристик экстремально низкого стока рассчитаны объём стока экстремально маловодных лет 95%-ной обеспеченности. Для оценки изменения указанных характеристик (обеспеченностью более 95%) были исследованы изменения параметров функции распределения вероятности, а именно полученной ранее нормы стока [6], и коэффициента вариации годового стока (C_{vy}). Наличие этих параметров позволяет рассчитать сток любого квантиля. Оценка изменчивости стока проводилась на основании тех же прогнозных данных о стоке по тем же 4 МОЦАО. Расчеты проводились по каждой модели отдельно, и затем результаты относительных изменений осреднялись по ансамблю моделей.

Возможная интерпретация полученных результатов с точки зрения изменений водных ресурсов такова: с увеличением C_{vy} значения квантилей в области малых годовых расходов снижаются, а в области высоких годовых расходов увеличиваются. Таким образом, общее снижение стока, вызванное

уменьшением нормы стока, усугубляется увеличением межгодовой изменчивости стока, т.е. повышением повторяемости маловодных лет. И даже небольшое увеличение изменчивости стока вызывает значительное повышение повторяемости лет с экстремально низкой водностью.

В качестве экстремально маловодных лет, по меркам современного периода, примем годы с обеспеченностью годового стока Q менее 95% (обычно используемые значения при составлении водохозяйственных балансов территорий), то есть $Q_{кр.} = Q_{95\%}$. При неизменности нормы стока, но увеличении коэффициента его вариации в 1,2 раза обеспеченность расхода $Q_{кр.}$ во всем диапазоне реальных значений C_v годового стока на ЕТР снижается с 95% примерно до 90%. Таким образом, повторяемость маловодных лет $Q \leq Q_{кр.}$ возрастает в 2 раза (1 раз в 20 лет в современных условиях и 1 раз в 10 лет – в изменённых).

Методика оценки изменений стока половодья. На большей части территории России годовой сток на 70% определяется стоком половодья, поэтому именно весеннее половодье определяет условия использования водных и гидроэнергетических ресурсов. Для ГЭС Волжско-Камского каскада статистическая зависимость годовой выработки электроэнергии от объёма годового стока описывается линейными регрессионными уравнениями с коэффициентами корреляции от 0,69 до 0,97 [7].

Для исследуемой территории максимальный сток в году также наблюдается в период весеннего половодья. Именно этот период формирует запасы воды в водохранилищах и обеспечивает бесперебойную работу ГЭС и водозаборов в течение года. Сток за период половодья в свою очередь связан с процессами снегонакопления, а его величина во многом определяется запасами воды в снежном покрове. Во многих работах [8,9] приводятся расчеты максимального снегозапаса как функции от такой характеристики, как осадки за холодный период. Под осадками за холодный период подразумевается сумма осадков за те месяцы, средняя температура которых оказалась ниже 0°C.

В данной работе проведены расчеты суммы осадков за холодный период (за те месяцы, средняя температура которых оказалась ниже 0°C), для базового и прогнозных периодов для каждой из 4 моделей, относительные изменения представлены по ансамблю моделей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты оценки нормы стока бассейнов водохранилищ Верхней Волги и Камы по эксперименту с ансамблем 4 моделей приведены в [6] и, в целом, согласуются с работами большинства авторов, проводивших исследования возможных изменений стока по реализациям МОЦАО для данных проектов СМIP [10-12]. Приведенные исследования показывают, что норма стока практически не изменяется в 21 веке на исследуемой территории. Оба сценария демонстрируют незначительные изменения, поскольку ожидаемое увеличение температуры и испарения, компенсируется увеличением осадков.

Коэффициент вариации речного стока в 21 веке по сценарию 2.6 (рисунок 2,3) и сценарию 8.5 имеет тенденцию к росту, то есть вероятность экстремально маловодных и многоводных лет увеличится. Для сценария 2.6 этот рост невелик и практически не превышает 10%, только для бассейна Иваньковского и Угличского вдхр. C_{vy} увеличивается на 12-16%. При этом для конца века значения C_{vy} снова снижаются, а зона значительного (до 20%) увеличения C_{vy} захватывает бассейн Горьковского водохранилища.

По сценарию 8.5. для середины века характерны небольшие разнонаправленные тенденции изменения вариабельности стока, однако к концу века C_{vy} увеличивается на 10-30% по всей исследуемой территории (рисунок 4,5). Наибольшие изменения характерны для бассейна Камы. Средневзвешенные изменения C_{vy} по бассейнам водохранилищ приведены в таблице 1.

Изменения коэффициента вариации и нормы стока были использованы для построения функций распределения вероятности речного стока в новых

климатических условиях и для расчета изменений критического расхода (95% обеспеченности) $Q_{95\%}$. Поскольку значительных снижений нормы стока по бассейнам водохранилищ для исследуемой территории не ожидается, то и $Q_{95\%}$ меняется незначительно, даже для пессимистичного сценария мы видим увеличение $Q_{95\%}$ на 10-20% для водохранилищ Верхней Волги (таблица 2). Однако, можно констатировать локальное снижение $Q_{95\%}$ для южных частей (Нижегородская обл., Татарстан, а также бассейн Камы) (рисунок 6-9). Многие авторы [14-18] отмечают, что сток рек южной части Русской равнины в последние десятилетия несколько уменьшился. Однако для исследуемой территории эта тенденция смягчается увеличением суммы осадков и (как будет показано далее) увеличением меженного питания за счет снижения стока половодья.

Таблица 1. Средневзвешенные относительные изменения коэффициента вариации Cv_y речного стока в долях от современного для бассейнов водохранилищ.

Территория бассейна	Сценарий 2.6 2041-2060	Сценарий 2.6 2081-2100	Сценарий 8.5 2041-2060	Сценарий 8.5 2081-2100
Чебоксарское водохранилище	1.02	1.07	1.00	1.09
Иваньковское водохранилище	1.12	1.10	0.99	1.13
Камское водохранилище	1.02	1.10	1.05	1.23
Нижекамское водохранилище	1.02	0.99	1.09	1.20
Рыбинское водохранилище	1.10	1.07	0.93	1.11
Угличское водохранилище	1.16	1.10	0.97	1.14
Воткинское водохранилище	1.00	1.07	1.06	1.21
Горьковское водохранилище	1.05	1.19	0.93	1.11

Цветом показаны изменения более, чем на 10%

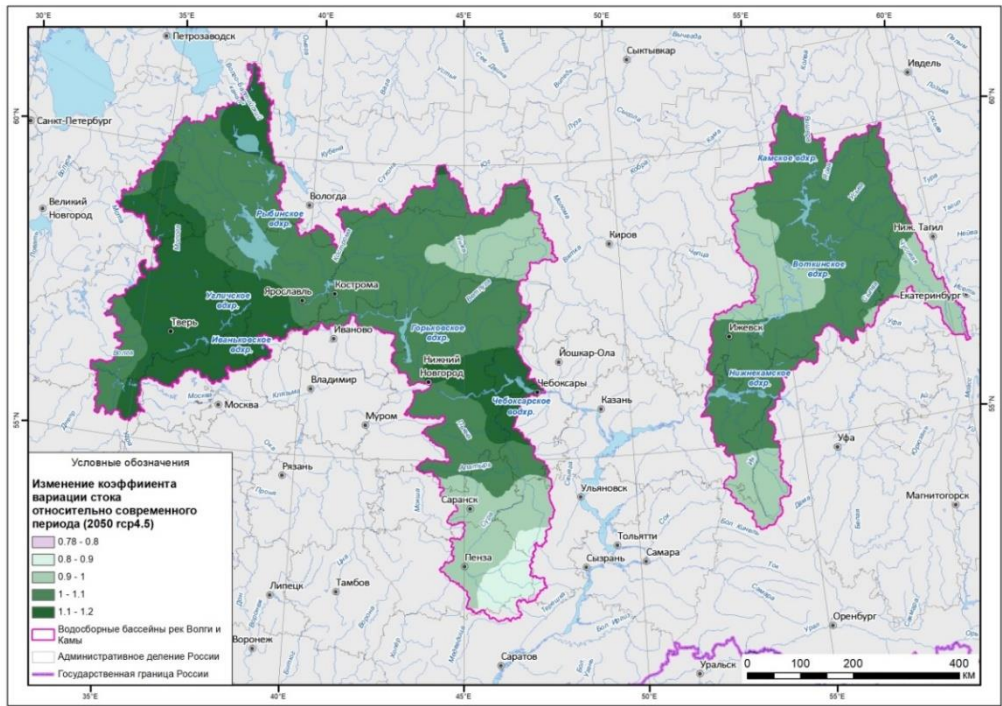


Рисунок 2 - Относительные изменения коэффициента вариации (C_v) речного стока в долях от современного (RCP 2.6), период 2041-2060гг.

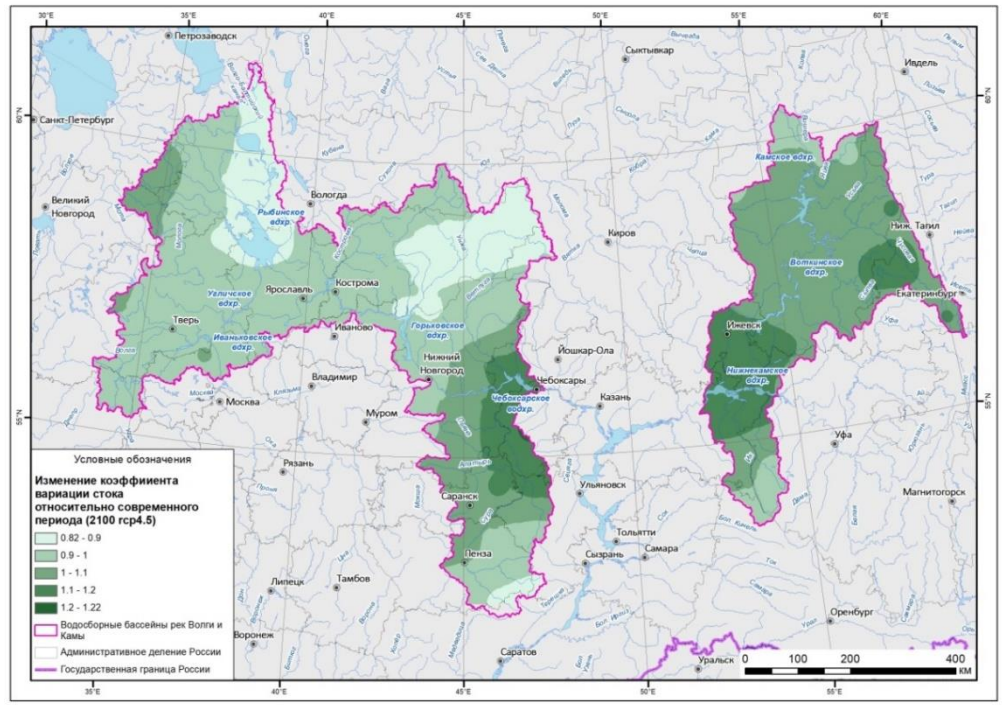


Рисунок 3 - Относительные изменения коэффициента вариации (C_v) речного стока в долях от современного (RCP 2.6), период 2081-2100гг.

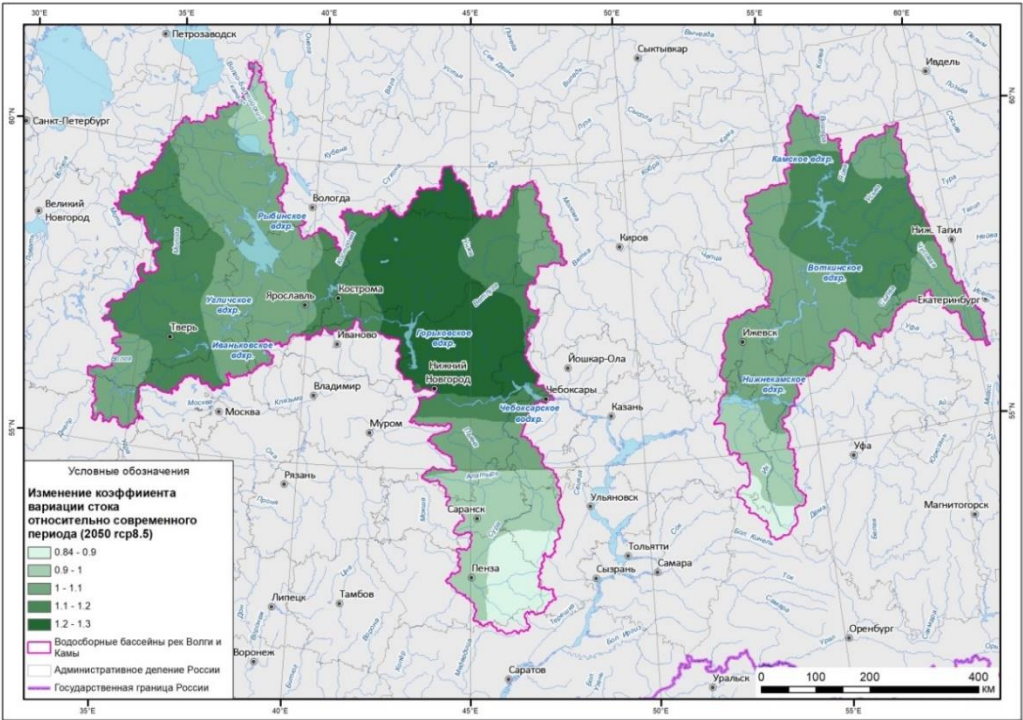


Рисунок 4 - Относительные изменения коэффициента вариации (C_v) речного стока в долях от современного (RCP 8.5), период 2041-2060гг.

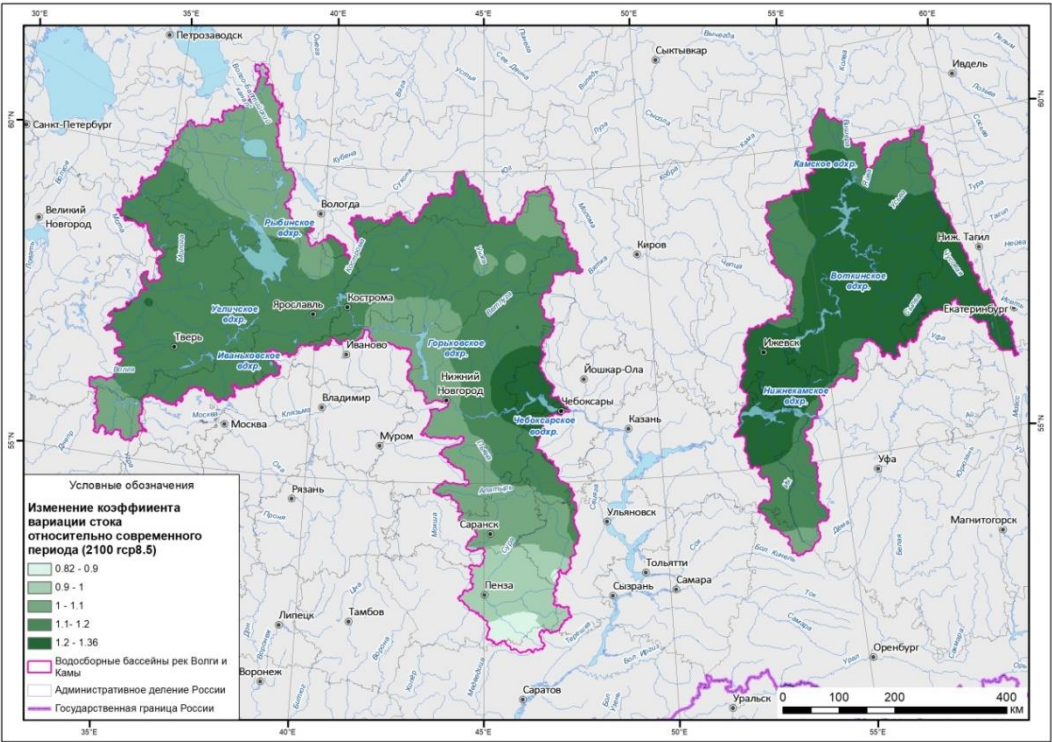


Рисунок 5 - Относительные изменения коэффициента вариации (C_v) речного стока в долях от современного (RCP 8.5), период 2081-2100 гг.

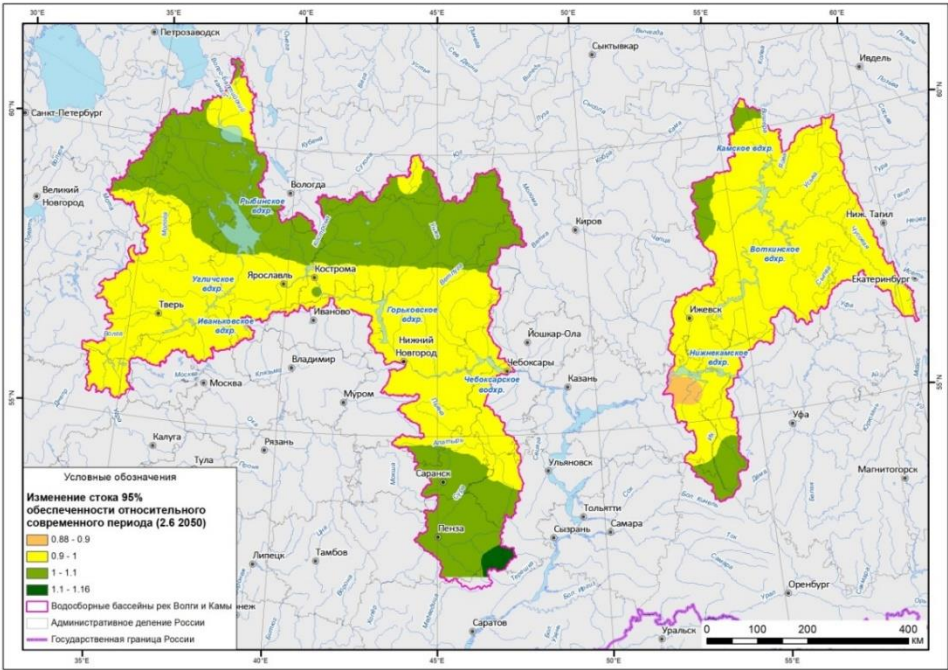


Рисунок 6 - Годовой сток 95% обеспеченности $Q_{95\%}$ в 21 веке относительно современного периода по сценариям RCP 4.5 для периода 2041-2060гг.

Таблица 2. Средневзвешенные относительные изменения стока 95% обеспеченности в 21 веке в долях от современного изменения для бассейнов водохранилищ.

Территория бассейна	Сценарий 2.6 2041-2060	Сценарий 2.6 2081-2100	Сценарий 8.5 2041-2060	Сценарий 8.5 2081-2100
Чебоксарское водохранилище	0.99	0.96	0.97	0.95
Иваньковское водохранилище	0.96	1.01	1.05	1.11
Камское водохранилище	0.98	0.95	0.97	0.94
Нижнекамское водохранилище	0.95	1.00	0.91	0.91
Рыбинское водохранилище	1.00	1.01	1.07	1.11
Угличское водохранилище	0.96	1.02	1.04	1.12
Воткинское водохранилище	0.98	0.95	0.95	0.94
Горьковское водохранилище	1.00	0.94	1.07	1.08

Цветом показаны изменения более, чем на 10%

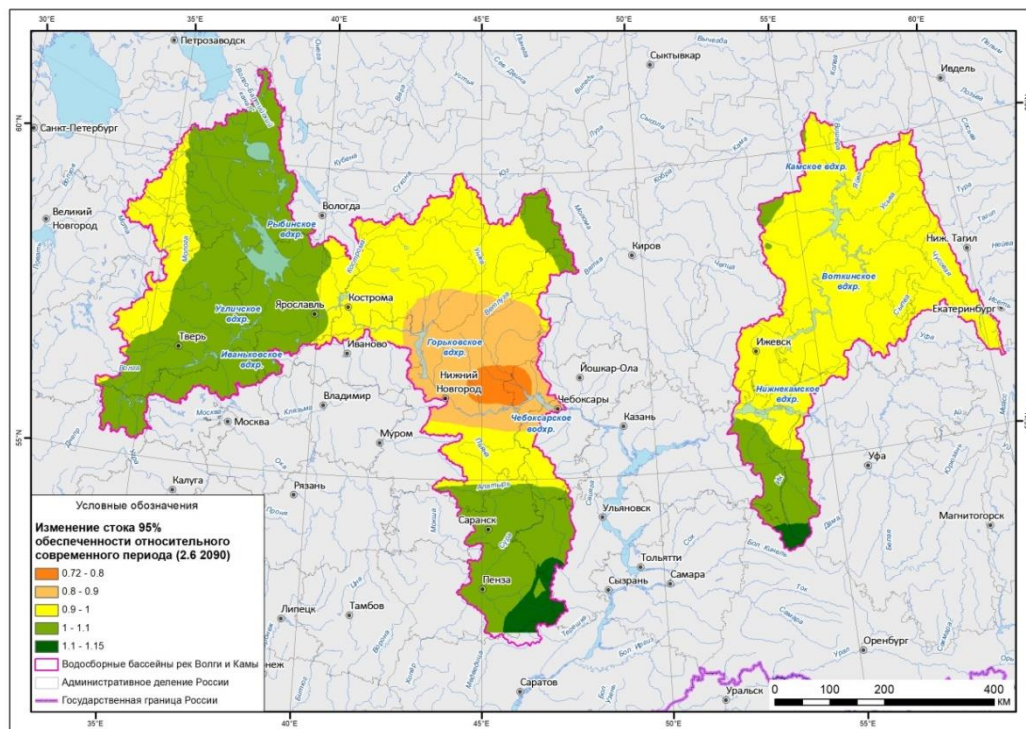


Рисунок 7 - Годовой сток 95% обеспеченности в XXI веке относительно современного периода по сценариям RCP 4.5 для периода 2081-2100гг.

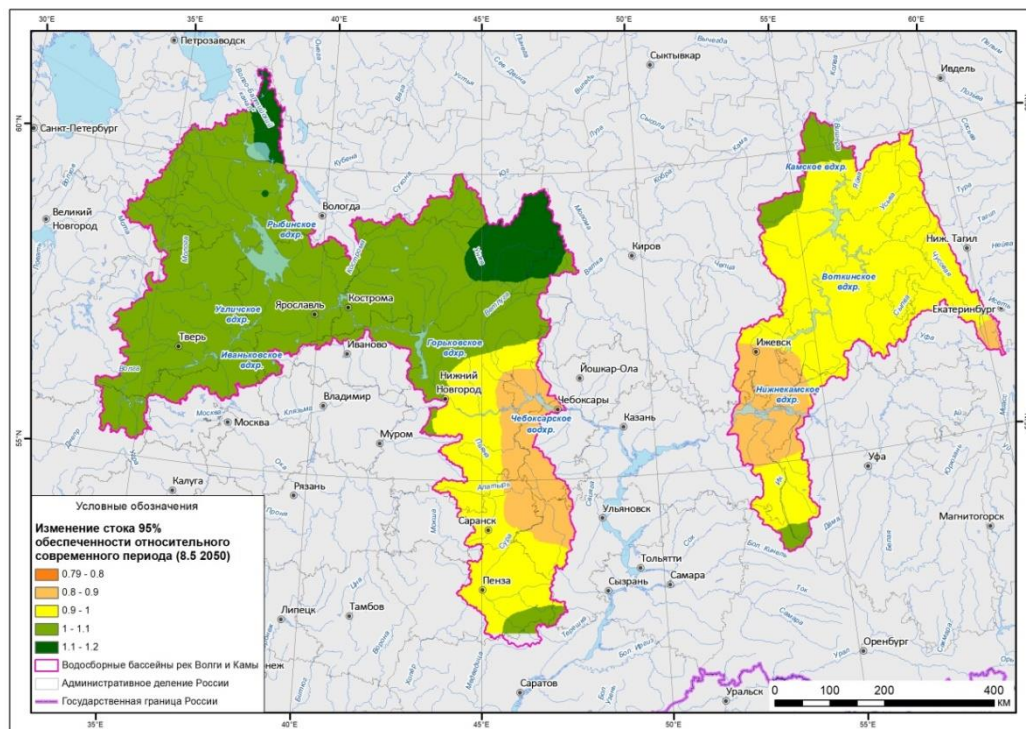


Рисунок 8 - Годовой сток 95% обеспеченности в XXI веке относительно современного периода по сценариям RCP 8.5 для периода 2041-2060гг.

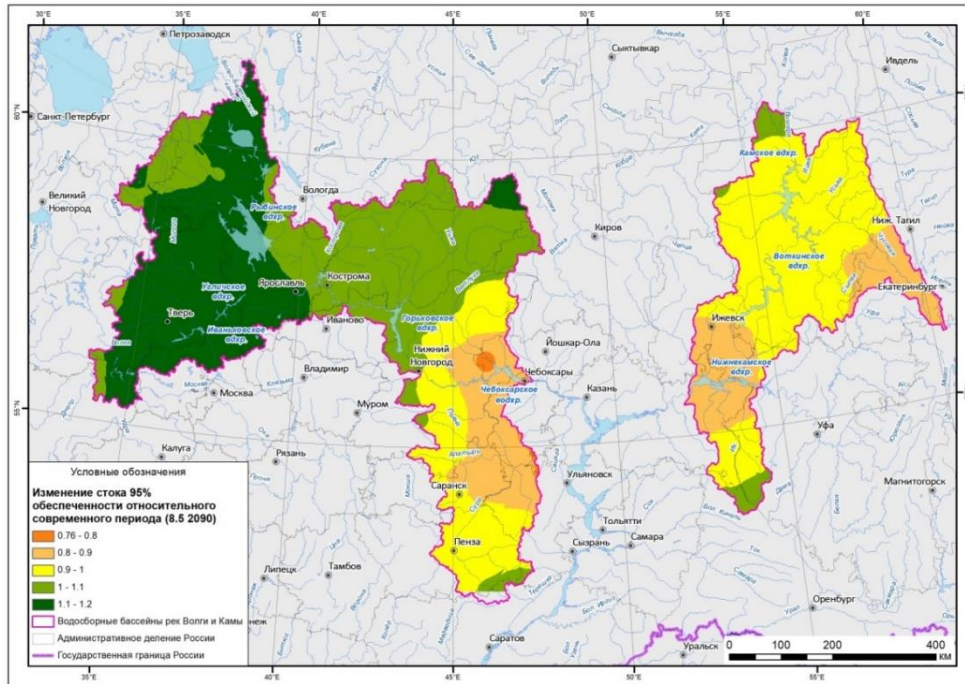


Рисунок 9 - Годовой сток 95% обеспеченности в XXI веке относительно современного периода по сценариям RCP 8.5 для периода 2081-2100гг.

Таблица 4. Средневзвешенные относительные изменения суммы осадков за холодный период года в 21 веке в долях от современного значения для бассейнов водохранилищ.

Территория бассейна	Сценарий 2.6 2041-2060	Сценарий 2.6 2081-2100	Сценарий 8.5 2041-2060	Сценарий 8.5 2081-2100
Чебоксарское водохранилище	1.32	0.96	0.90	0.65
Иваньковское водохранилище	1.22	0.92	0.83	0.49
Камское водохранилище	1.22	0.96	0.91	0.84
Нижекамское водохранилище	1.26	0.99	0.94	0.76
Рыбинское водохранилище	1.25	0.95	0.90	0.64
Угличское водохранилище	1.31	0.95	0.86	0.57
Воткинское водохранилище	1.22	0.95	0.91	0.81
Горьковское водохранилище	1.31	0.97	0.92	0.68

Цветом показаны изменения более, чем на 10%

Расчет изменения сумм осадков холодного периода ($P_{хол}$) по сценарию 2.6 показал заметное увеличение характеристики для периода «середина» 21 века (20-40%), очевидно, за счет общего увеличения суммы осадков, однако к концу века, с ростом температур, этот параметр возвращается к значениям базового периода (рисунок 10,11). А вот пессимистичный сценарий 8.5, характеризующийся гораздо более быстрым ростом температур демонстрирует снижение $P_{хол}$ уже к середине века на всей исследуемой территории (5-15%), и усиление тенденции к «концу века». В этот период для всех рассматриваемых водосборов характерно снижение $P_{хол}$ на 25-50% (рисунок 12,13). Эту информацию можно трактовать как возможное снижение стока половодья и, учитывая отсутствие снижения годового стока, переход водозапаса от фазы половодья к фазам летней и зимней межени. Наибольшее снижение стока половодья ожидается для Иваньковского и Угличского вдхр (таблица 4). В целом, этот факт является положительным, с точки зрения многолетнего регулирования и вероятности наводнений.

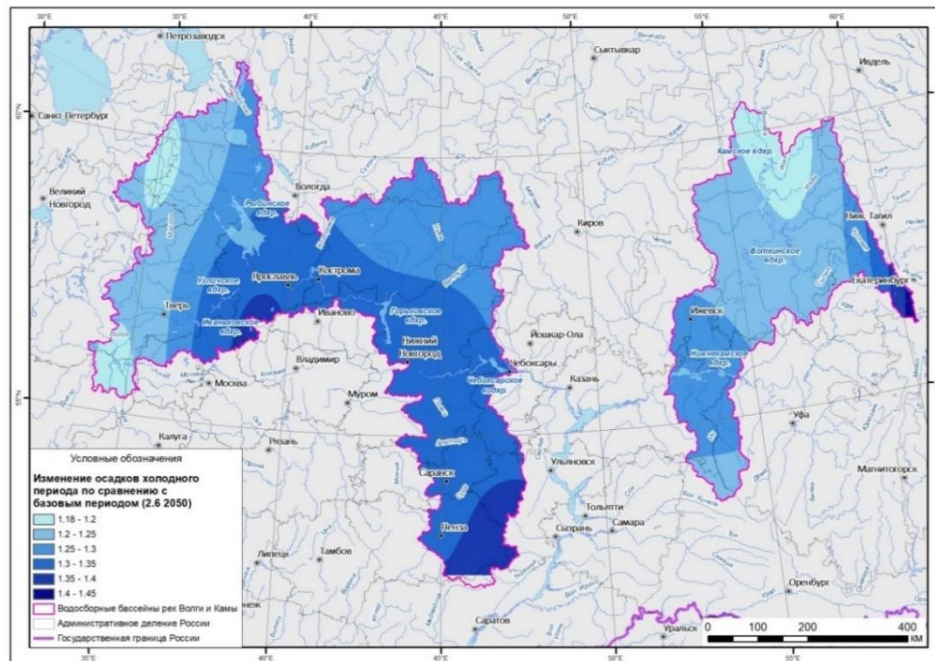


Рисунок 10 - Изменение $P_{хол}$ в долях относительно современного периода по сценариям RCP 2.6 для периода 2041-2060гг.

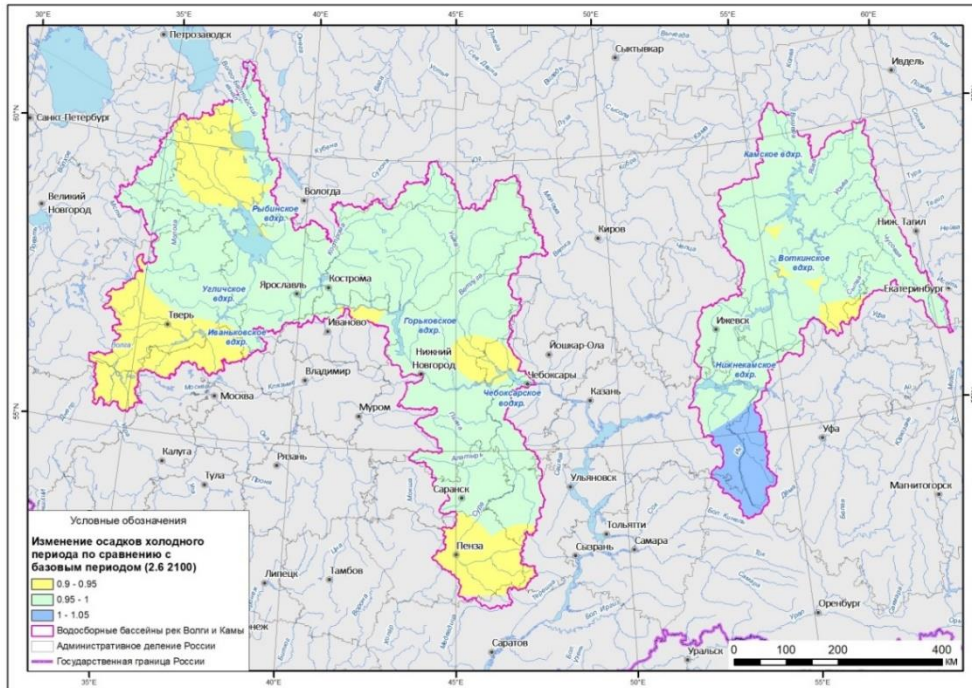


Рисунок 11 - Изменение $P_{хол}$ в долях относительно современного периода по сценариям RCP 2.6 для периода 2081-2100гг.

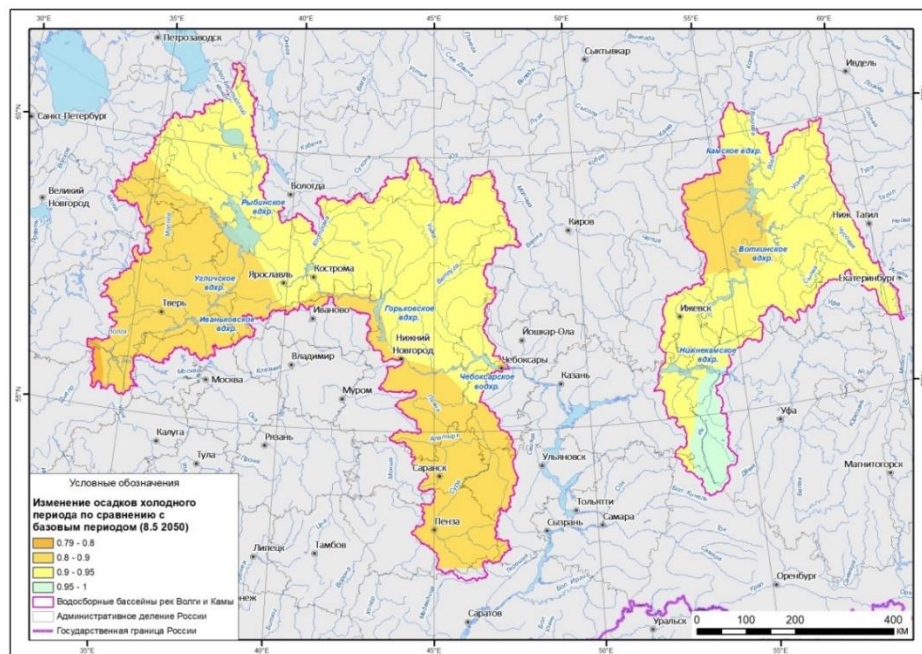


Рисунок 12 - Изменение осадков холодного периода в долях относительно современного периода по сценариям RCP 8.5 для периода 2041-2060гг.

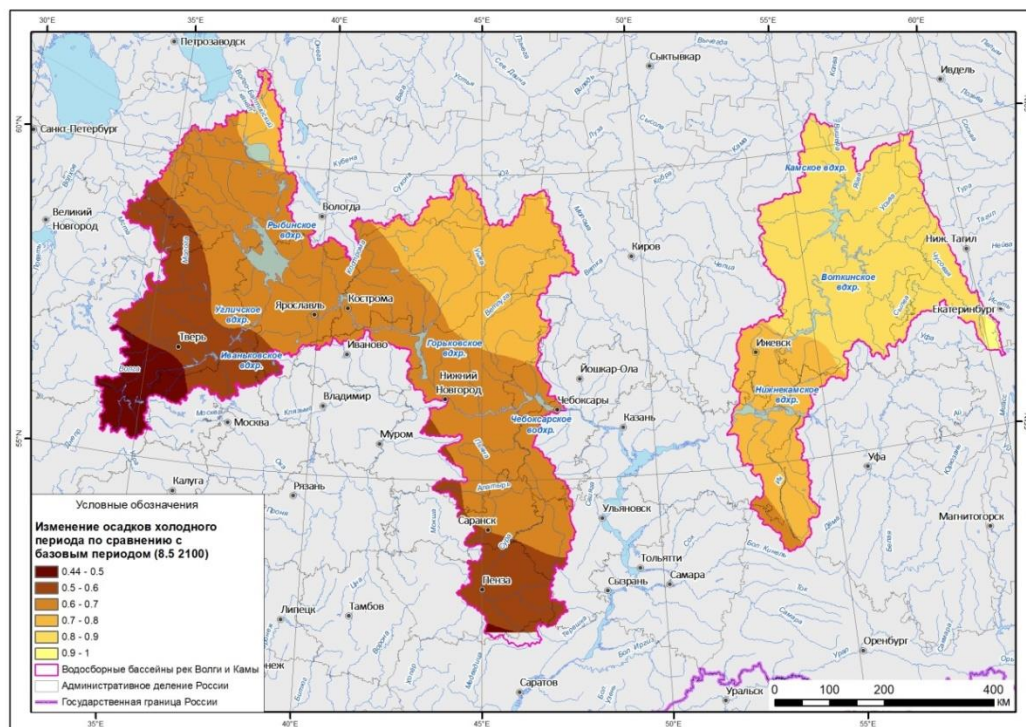


Рисунок 13 - Изменение осадков холодного периода в долях относительно современного периода по сценариям RCP 8.5 для периода 2081-2100 гг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведена оценка возможных изменений характеристик речного стока для бассейнов водохранилищ Верхней Волги и Камы в 21 веке. Анализ расчетов по ансамблю 4 МОЦАО показал, что коэффициент вариации стока имеет тенденцию к росту, что связано с ростом variability осадков, наиболее заметно тенденцию демонстрирует расчет по сценарию 8.5 для конца 21 века. Это может приводить к увеличению числа экстремально засушливых и экстремально многоводных лет, в частности сток 95% обеспеченности местами снижается на 20%, однако, в целом по водосборам водохранилищ изменения незначительны, что связано с компенсацией тенденций к снижению стока в одних частях бассейна, тенденциями к повышению стока в других частях.

Наиболее заметно изменения климата скажутся на стоке половодья. Осадки холодного периода, как основная приходная часть баланса половодья имеют тенденцию к повышению для середины века по сценарию 2.6 и ярко

выраженную тенденцию к снижению для периода «конец» века по сценарию 8.5. В целом, подобная тенденция уже ярко проявляется в южных частях ЕТР, например, бассейне Дона, и вполне вероятно расширение территории, где половодье теряет свою первостепенную роль в водном режиме.

Подобные изменения необходимо учитывать в стратегическом планировании водохозяйственных отраслей, проектах многолетнего и годового регулирования водохранилищ и других водопользовательских проектах.

Также стоит отметить, что показанные оценки дают расчет реакции на весьма широкий охват климатических изменений. То есть можно предполагать, что в течении 21 века на исследуемы территориях не ожидается принципиальных изменений водного режима и условий увлажнения, что позволяет использовать модели и методики прогнозирования построенные на данных современного периода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Taylor K. E., Stouffer R. J., Meehl G. A. An overview of CMIP5 and the experiment design //Bulletin of the American meteorological Society. – 2012. – Т. 93. – №. 4. – С. 485-498.
2. M. Sidorova, M. Alieva, E. Shtol, A. Oderkova., S. Yasinsky Selection of an ensemble of atmospheric and oceanic general circulation models of the cmip-6 project for estimating possible runoff changes in the volga and kama basins / // E3S Web of Conferences. — 2023. — Vol. 407. — P. 02011.
3. O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., and Sanderson, B. M.: The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6, *Geosci. Model Dev.*, 9, 3461–3482.
4. Sidorova M. V., Kashutina E. A., Cherenkova E. A. Impact of regional climate changes on the emergence of extremely dry years in european russia in the 21st century // *Water Resources Management: Methods, Applications and*

Challenges. — Water Resource Planning, Development and Management. — United States: Nova Science Publishers, Inc., 2020. — P. 1–34.

5. Евстигнеев В.М., Кислов А.В., Сидорова М.В. Влияние климатических изменений на годовой сток рек Восточно-Европейской равнины в XXI в // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2010. №. 2. С. 3-10.

6. Sidorova M., Yasinsky S. Assessment of river flow future changes in the upper volga and kama basins based on climate modeling data // *E3S Web of Conferences IV Vinogradov Conference*. — 2024. — Vol. 555, no. Relevant Issues of Ecology and Environmental Management (RIEEM-2024). — P. 01012.

7. Акентьева Е.М., Сидоренко Г.И., Тюсов Г.А. К оценке влияния наблюдаемых и ожидаемых в будущем климатических изменений на гидроэнергетический потенциал регионов РФ // Тр. Главной геофиз. обсерватории им. А.И. Воейкова. 2014. №. 570. С. 95–105.

8. Ясинский С.В., Гусев Е.М. Динамико-стохастическое моделирование процессов формирования весеннего склонового стока на малых водосборах // Почвоведение. 2003. № 7. С. 847–861.

9. Гусев Е.М. Формирование режима почвенных вод в зимне-весенний период. М.: Наука, 1993. 158 с.

10. Катцов В.М., Говоркова В.А. Ожидаемые изменения приземной температуры воздуха, осадков и годового стока на территории России в XXI веке: результаты расчетов с помощью ансамбля глобальных климатических моделей (CMIP5) // Тр. ГГО. Т. 569. 2013. С. 75–97.

11. Фролов А.В. Вклад гидрометеорологической науки в развитие водохозяйственного комплекса страны. VII Гидрол. съезд. Санкт-Петербург, 19–21 ноября 2013 г. Тезисы пленарных докладов. СПб, 2013. С. 1–5.

12. Школьник И.М., Мелешко В.П., Кароль И.Л., Киселев А.А., Надежина Е.Д., Говоркова В.А., Павлова Т.В. Ожидаемые изменения климата на территории Российской Федерации в XXI веке // Тр. ГГО им. АИ Воейкова. 2014. №. 575. С. 65–118.

13. Георгиевский М.В., Голованов О.Ф. Прогнозные оценки изменений водных ресурсов крупнейших рек Российской Федерации на основе данных по речному стоку проекта CMIP5 // Вестн. Санкт-Петербургского ун-та. Науки о Земле. 2019. Т. 64. №. 2. С. 206-218.
14. Shiklomanov, A. I., Lammers, R. B., Lettenmaier, D. P., Polischuk, Y. M., Savichev, O. G., Smith, L. C., & Chernokulsky, A. V. (2013). Hydrological changes: historical analysis, contemporary status, and future projections. In *Regional environmental changes in siberia and their global consequences* (pp. 111-154). Springer, Dordrecht.
15. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. – 124 с.
16. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Телегина А.А. Изменения поверхностного и подземного стока рек России и их режимов в условиях нестационарного климата // Вест. РФФИ. 2013. Т. 6. № 78. С. 34–42.
17. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Рец Е.П., Сафронова Т.И., Бугров А.А., Телегина А.А., Телегина Е.А. Современные ресурсы подземных и поверхностных вод Европейской части России: Формирование, распределение, использование. М.: ГЕОС, 2015а. 320 с.
18. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Телегина Е.А. Изменение зимнего стока рек Европейской части России // Водные ресурсы. 2015б. Т. 42. № 6. С. 581–588.