



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрофизики и гидропрогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(дипломный проект)

На тему **Оценка изменений сроков
основных фаз ледового режима
рек Северного края**

Исполнитель Мазяков Василий Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель к.т.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

д.т.н., профессор
(ученая степень, ученое звание)

Коваленко Виктор Васильевич
(фамилия, имя, отчество)

«07» июня 2016г.

Санкт-Петербург
2016

Оглавление

Введение.....	3
1 Физико-географическое описание Северного края	9
1.1 Исходные данные	20
1.1 Выбор климатических моделей	24
1.2 Выбор климатических сценариев.....	26
2 Обработка и анализ данных	29
2.1 Начало ледовых явлений.....	30
2.2 Начало ледостава	32
2.3 Вскрытие ледостава	34
2.4 Окончание ледовых явлений	36
Вывод.....	39
ПРИЛОЖЕНИЕ А	43
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	53
ПРИЛОЖЕНИЕ В	62
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	72
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	79

Введение

В ряду гидрологических явлений, оказывающих влияние на деятельность различных отраслей народного хозяйства, важное место занимает замерзание и вскрытие рек. Без знания ледового режима рек не могут быть успешно решены вопросы планирования и организации работ в строительстве, особенно гидротехническом и транспортном, лесной промышленности, энергетике.

Основная цель географического обобщения сроков ледовых явлений - выявление закономерностей их пространственного распределения, что помимо познавательного значения, представляет большой практический интерес, так как позволяет определять эти сроки для участков рек, где нет достаточных наблюдений. Наиболее наглядным способом географического обобщения является построение карт изолиний (в данном случае изохрон).

Ранее были построены карты изолиний на основе интерпретации фактических данных. Однако в силу ряда причин климат нашей планеты в будущем претерпит значительные изменения, а, следовательно, изменятся и характеристики основных фаз ледового режима рек. Исходя из этого, возникла необходимость построить дополнительно карты изохрон с учетом климатических сценариев.

Основные этапы выполнения первого этапа работы

1. «Оцифровка» или построение электронных карт стока, осадков температуры и сроков ледовых явлений, т.е. представление данных в виде матрицы значений гидрометеорологических характеристик с заданным шагом по координатной сетке.

2. Построение связей сроков ледовых явлений и гидрометеорологических характеристик.

3. Создание электронной базы данных (включая климатические сценарии) и параметризация стохастической модели формирования стока Фоккера-Планка-Колмогорова ФПК

4. Расчет и построение карт вероятностных характеристик стока соответствующих климатических сценариям (с использованием ГИС-технологий).

5. Построение прогнозных карт сроков ледовых явлений на основе климатических сценариев.

Постановка задачи второго этапа работы

1. Начиная со второй половины 70-х годов XX в. на Европейской территории России происходят значимые изменения во внутригодовом распределении стока большинства рек.

2. Замерзание и вскрытие рек оказывает существенное влияние на деятельность различных отраслей народного хозяйства. Вопросы планирования работ в гидротехническом строительстве, судоходстве, гидроэнергетике не могут быть успешно решены без знания ледового режима рек.

3. Цель исследования - оценка значимости и причин изменений сроков основных фаз ледового режима на примере рек Северного края.

На основе ежегодных данных выявить связь сроков основных фаз ледового режима и среднемесячной температуре воздуха в прогностических целях. Подтвердить или опровергнуть гипотезы о возможности замены наблюдений во времени наблюдениями в пространстве.

Задачи работ второго этапа

1. Создать базу данных (для постов и для региона исследования в целом) дат основных фаз ледового режима.

2. Охарактеризовать изменчивость дат (наиболее ранняя, поздняя и длительность периода возможных наступлений фаз).
3. Охарактеризовать изменчивость длительности периода ледовых явлений и периода ледостава.
4. Оценить корреляционную связь указанных дат и среднемесячной температуры воздуха.
5. Оценить регрессионную связь указанных дат и среднемесячной температуры воздуха.
6. Оценить связь дат характеристик ледового режима с широтой местности.

Регион исследований

Регион включает в себя Европейскую территорию России, Кольский полуостров и Карелию, ограничен в Северном крае Северным полярным кругом, на востоке – долготой 58° ВД, на юге – широтой 52° СШ, а на западе – государственной границей.

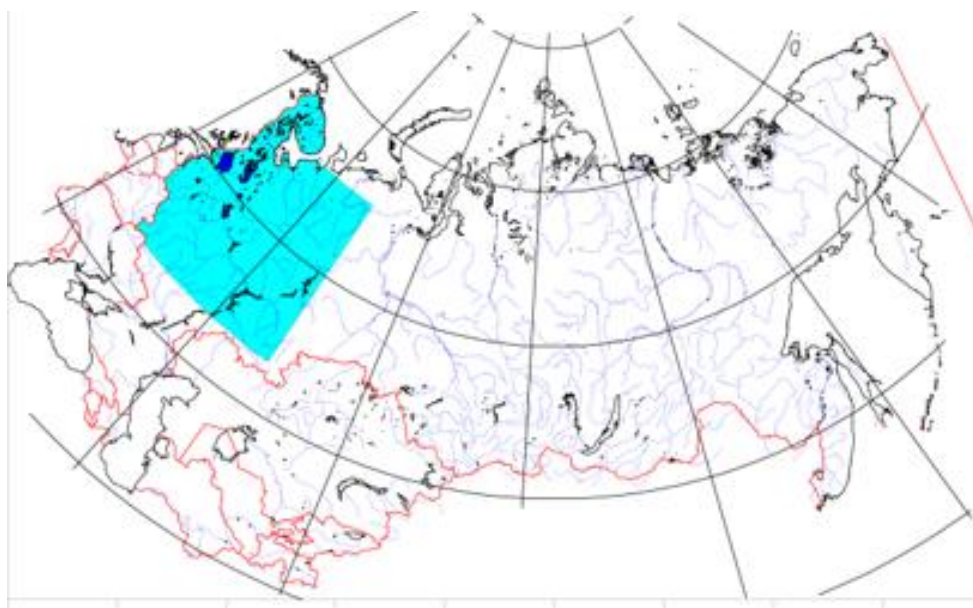


Рисунок 1 – Район исследования первого этапа

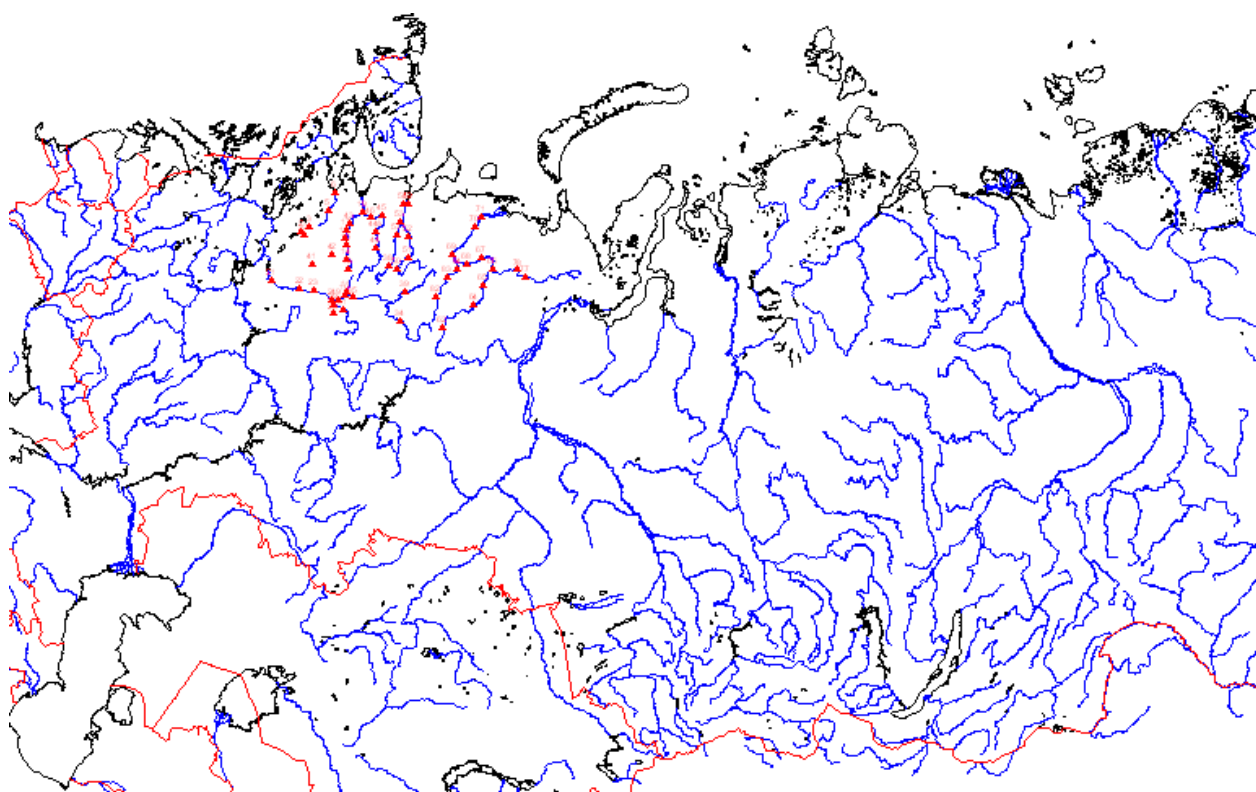


Рисунок 2 – Район исследования второго этапа

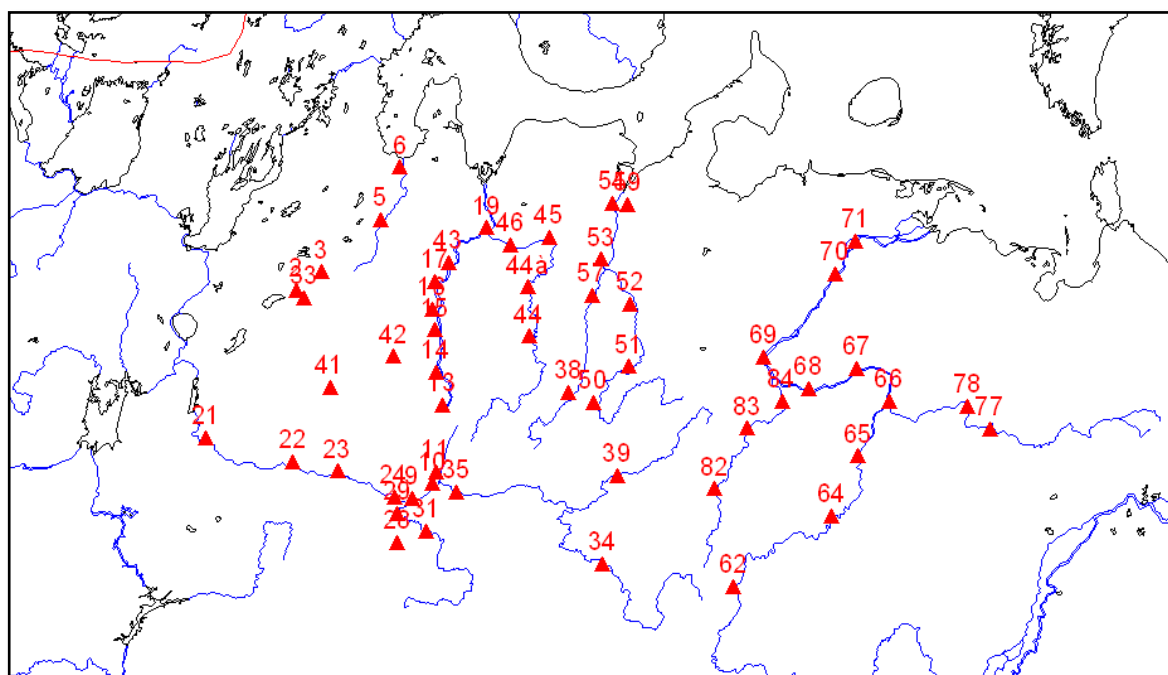


Рисунок 3 – Схема расположения гидрологических постов

Методика исследования

Начиная со второй половины 70-х годов XXв. на Европейской территории России происходят значимые изменения во внутригодовом распределении стока большинства рек. Поэтому в целях оценки долгосрочных изменений гидрометеорологического режима требуется информация о вероятностных характеристиках речного стока, осадков, температуры квазистационарного периода в прошлом. Он подразумевает отсутствие существенных антропогенных нагрузок на водосборы и значимых трендов в рядах наблюдений за гидрометеорологическими характеристиками. Опубликованные карты статистических параметров стока (Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм) и Мирового водного баланса (Атлас мирового водного баланса) предполагают указанный период. Так как изменения климатических параметров скажутся на сроках ледовых явлений и ледостава, следует тщательно изучить методы, позволяющие описать будущий ледовый режим водоемов и водотоков. Для этого проделана огромная работа.

На первом ее этапе был выполнен анализ процесса вскрытия рек и показано, что определяющими факторами являются тепловой и механический. Действие теплового фактора определяет процесс таяния и ослабление прочности льда, механические силы потока - взлом ледяного покрова и трансформирование его вниз по течению» Относительная роль факторов зависит от режима рек и может быть различной.

Основными факторами процесса ледообразования являются теплообмен и перемещение масс воды. Условием ледообразования на реках является переохлаждение воды. Определяющее влияние на этот процесс оказывает термический фактор. Однако, в известной степени (особенно для рек, текущих с юга на север) сроки замерзания зависят от водности. Так, влияние большой водности рек отчетливо проявляется в запаздывании

сроков появления плавучего льда на участках рек, площадь бассейна которых более 500 000 км².

В полной мере это справедливо и для других (осенних) характеристик ледового режима рек. Соотношение этих двух факторов в той или иной мере учитывают модели вскрытия и замерзания рек, и большинство методов прогнозов сроков поступления фаз ледового режима рек.

Были выдвинуты две гипотезы. Первой была принята гипотеза о возможности замены наблюдений во времени наблюдениями в пространстве. Из анализа массовой гидрометеорологической информации можно сделать вывод, что наблюдения за одним и тем же элементом в различных точках пространства с определенной степенью приближения подчиняются одному закону распределения.

В случае приведения ряда к одним и тем же статистическим параметрам кривые распределения, полученные по длинным рядам (временные) и по наблюдениям на территории (пространственные) будут одинаковы.

Однако относительно строгое доказательство гипотезы эргодичности имеется лишь для узкого класса разных задач, и на практике ее применения является фактически индуктивным.

В данном случае идея эргодичности используется в смысле выдвижения гипотезы о сохранении некоторого уровня связи между полями некоторых гидрологических элементов при условии их взаимообусловленности во времени. Решалась задача оценки (диагностики) возможности описания полей среднемноголетних сроков наступления основных фаз ледового режима (дат появления плавучего льда, начала ледостава и весеннего ледохода) посредством полей норм гидрометеорологических характеристик (сток, осадки и температура воздуха у поверхности земли).

Для описания степени согласования гидрометеорологических полей использовалась множественная линейная регрессия. Подтверждением

справедливости гипотезированной модели являются оценки уравнений, полученных по фактическим данным.

Второй выдвигалась гипотеза о постоянстве структуры выбранной модели сопряжения гидрометеорологических полей (а, следовательно, и о сохранении их взаимообусловленности) и осуществлялся прогноз полей дат фаз ледового режима рек по 4-м сценариям изменения климата (потепления).

Значения гидрологической и метеорологической информации, сосредоточенные в узлах регулярной сетки подвергались интерполяции с помощью пакета программного обеспечения Surfer и для наглядности были представлены в виде карт.

1 Физико-географическое описание Северного края

Природные условия и хозяйственное использование вод

Рассматриваемая территория, обычно называемая Северным краем, занимает северо-восточную окраину Европейской территории России. На севере она омывается Белым и Баренцевым морями. С запада на восток Северный край простирается от меридиана г. Каргополя до Уральских гор и включает в себя бассейны рек Онеги, Северной Двины, Мезени, Печоры и Кары, а также многих сотен малых рек, впадающих в Белое и Баренцево моря между устьями Онеги и Кары.

Охватывая около миллиона квадратных километров площади, Северный край простирается на 600-700 км в меридиональном и на 1000 км в широтном направлении. Крайние южная и северная точки расположены соответственно на 58 и 70° с. ш., а западная и восточная – на 38 и 65° в. д. В пределы рассматриваемой территории входит несколько крупных административных областей: Архангельская область с Ненецким автономным округом (без арктических островов, не изученных в гидрологическом отношении), Республика Коми, Вологодская область (без западной ее части) и значительная часть Кировской области.

Описываемая территория представляет собой огромную лесистую равнину, почти ничем не защищенную от западных и северо-западных ветров, с которыми связано поступление влажных воздушных масс. Для нее характерны избыточное увлажнение и относительно однообразные природные условия, коренным образом меняющиеся только вблизи полярного круга, где тайга уступает место лесотундре и тундре, да у восточных ее пределов, где равнина сменяется возвышенностями западного Урала.

Гидрометеорологическое обслуживание Северного края осуществляется ФГБУ «Северное УГМС» (г. Архангельск), а на южной окраине (верховья бассейна р. Юг) ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС» (г. Нижний Новгород). Научно-методическое руководство обеспечивается ФГБУ «Государственный гидрологический институт» (г. Санкт-Петербург).

Рельеф и геологическое строение

Рельеф, несмотря на существенные различия в геологическом строении и истории развития отдельных частей территории, весьма однообразен и преимущественно является равнинным. Равнинный характер местности мало нарушается наличием так называемых «хребтов» на северо-западной окраине Ветреного Пояса и возвышенностей Тимана в центральной части. Только в узкой полосе на восточной границе рельеф приобретает совершенно иной характер, свойственный горным странам, а с ним существенно меняются климат, гидрографический облик и гидрологический режим рек и озер.

На большей части территории низменные равнины чередуются с невысокими плато и возвышенными равнинами, слабоволнистыми или слегка всхолмленными. Ближе к морскому побережью низменности занимают обширные пространства; по мере удаления от него площадь их уменьшается, причем располагаются они полосами вдоль главных рек и наиболее крупных притоков.

Возвышенные равнины приурочены к приводораздельным участкам междуречий. Чем дальше от морского побережья. Тем эти участки обширнее. В целом поверхность Северного края понижается с юга на север, что и определяет общее направление речного стока – к Белому и Баренцеву морям.

Абсолютные отметки низменностей 30–80 м, а вблизи морского побережья еще меньше. На возвышенных равнинах и плато отметки в среднем 100–160 м, местами до 200–250 м. Переходы от низменностей к возвышенным равнинам и плато выражены отчетливо и имеют характер уступов относительной высотой 50–100 м. Такие уступы наветренной экспозиции являются причиной местных аномалий осадков и речного стока с малых водосборов.

Поверхность плато и возвышенных равнин пересечена густой сетью глубоковрезанных речных долин, хорошо дренирована и только лишь местами заболочена. В пределах низменностей долины неглубокие, слаборазработанные. Основная масса болот приурочена к низменностям. На морском побережье болот особенно много между Беломорско-Кулойским плато и Тиманом, что связано также и с особенностями климата этой части побережья, более теплого и влажного, чем к востоку от Тимана.

Упомянутые выше хребты Ветреный Пояс и Тиман занимают сравнительно небольшую часть описываемой территории и по высотам мало отличаются от ближайших возвышенных равнин. Ветреный Пояс заходит в пределы края лишь своей юго-восточной оконечностью. С ним связано изменение направления течения р. Онеги с меридионального на юго-восточное.

Более значительным по размерам, оказывающим заметное влияние на климатические и гидрологические условия края, является Тиман с его продолжением на северной оконечности п-ва Канин хребтом Паэ (Канин Камень). По занимаемой площади он сравним с крупным плато, а по абсолютным отметкам значительно их превосходит: средняя высота его около 190 м (на 30–60 м выше других возвышенностей), отдельные гряды и

вершины в средней части Тимана (Четласский Камень и др.) достигают 350–450 м. Вытянутый в северо-западном направлении от верхней Вычегды до п-ва Канин более чем на 700 км, Тиман делит территорию Северного края на две неравные части и является водоразделом между р. Печорой с одной стороны и реками Северной Двиной и Мезенью – с другой.

Тиманский хребет состоит из отдельных лесистых гряд и плосковершинных возвышенностей-парм. Водораздельное его значение местами весьма условно. Некоторые притоки р. Печоры по системе сквозных долин между грядami далеко проникают в сторону западного склона Тимана (р. Цильма и ее приток Косма); верховья Вычегды с системой притоков вообще размещены в основном восточнее Тимана, а истоки р. Вымь расположены между двумя его грядami, значительно восточнее наиболее высокой из них – Четласского Камня.

Положение Тимана на пути господствующего переноса влаги с запада и юго-запада придает ему характер значительного орографического барьера, существенно влияющего на распределение осадков и стока воды.

Полоса вдоль восточной границы территории шириной от 20–50 км на севере до 60–100 км на юге представляет собой горную страну – западный склон Урала. Орография ее сложна. Система горных хребтов в предгорьях Урала сменяется высокими увалами, вытянутыми в меридиональном или близком к нему направлениям и образующими систему кулис.

Высота хребтов близ главного водораздела достигает 1000–1500 м и более. Уральские горы образуют гигантскую стену на пути влагонесущих западных воздушных потоков, задерживающую большую часть их влаги и обеспечивающую очень высокую водность рек, стекающих с западного склона Урала. Речная сеть здесь приспособлена к куливному его строению. Основные горные реки – верхняя Печора, Унья, Илыч, Щугор, Косью, Кожим и другие – текут в широких межгорных долинах, днища которых представляют собой тропи, а мелкие их притоки спускаются со склонов хребтов по дну узких эрозионных долин.

Геологическое строение Северного края в пределах его равнинной части характеризуется преобладанием платформенных структур и глубоким залеганием кристаллического фундамента, сформированного в архее и протерозое и перекрытого мощными толщами осадочных отложений. Несмотря на глубокое погружение фундамента особенности его строения – глыбовая структура и разломы определяют характер чередования низменностей и плато, а также направления течения основных рек.

Осадочные отложения, перекрывающие фундамент в верхнем своем горизонте, к западу от Тимана, в основном относятся к перми, триасу и юре, а восточнее – к юрской, меловой и четвертичной системам. На северо-западной окраине, где фундамент близок к земной поверхности, преобладают отложения более ранних систем – доордовикские и каменноугольные. Значительное распространение последних имеется и на Тимане: в истоках Выми и Мезени, в верховьях Вычегды и Ижмы, а также в бассейне Северной Двины.

С известняками каменноугольной системы, залегающими вблизи дневной поверхности, сильно трещиноватыми, кавернозными и пещеристыми, связано карстопоявление, выражающееся в образовании специфических микроформ рельефа (в основном воронок) и заметно влияющее на режим подземных и поверхностных вод. Еще в более явной форме обнаруживает себя карст, связанный с гипсами и гипсоносными толщами перми (бассейны рек Мехреньги, Пукшеньги и Кулоя).

Геологическое строение западного склона Уральских гор характеризуется увеличением возраста коренных пород по мере приближения к главному водоразделу. Так, в предгорьях распространены в основном отложения триаса, перми и карбона, на передовых хребтах – девонской, силурийской и ордовикской геологических систем, а вблизи главного водораздела – пород доордовикского возраста. Среди последних на Приполярном и Северном Урале местами встречаются и изверженные породы.

Коренные породы дочетвертичного возраста на равнинной части территории перекрыты плащом четвертичных отложений ледникового и послеледникового периода, главным образом валунными суглинками ледниковой морены, а в пределах низменностей, кроме того, песчано-глинистыми осадками морских трансгрессий или древнеозерными и флювиогляциальными отложениями. Мощность этого плаща достигает многих десятков и даже сотен метров, однако на Ветреном Поясе, Тимане и кое-где на платно она незначительна, и коренные отложения выходят на дневную поверхность. Именно к таким местам на междуречье Онеги и Северной Двины, Беломорско-Кулойском плато и Тимане приурочен карст.

Почва и растительность

Почвы на большей части территории подзолистые, супесчаные или суглинистые, местами песчаные или торфянистые, в тундрах к северу от полярного круга – глеево-болотные. В изменении почвенного покрова обнаруживается широтная зональность: севернее 64° широты почвы преимущественно глеево-подзолистые; южнее, до 60° широты – типичные подзолистые, на юго-западной периферии Северного края дерново-подзолистые. Горный рельеф на восточной окраине территории нарушает широтную зональность их распределения, и она уступает место высотной поясности. Широтная зональность значительно нарушается и на равнине за счет неоднородности геоло-геоморфологических условий, создающих большую пестроту распределения почв.

В лесной зоне преобладают подзолы на песках и глеево-подзолистые почвы на суглинках. На плоских водоразделах широко распространены обширные торфяники.

В тундре почвы формируются на рыхлых наносах в условиях застоя влаги, недостатка кислорода, низких температур и медленного накопления органического вещества, в результате чего процесс почвообразования идет по типу болотно-глеевого. Мощность их 40–60 см. На западном склоне Урала

подобные почвы распространены в виде горно-тундровой их разновидности, формирующейся в основном на обломках коренных пород; мощность их всего 5–15 см. Горно-тундровые почвы занимают верхние части склонов, выше границы леса, вплоть до начала гольцовой зоны.

Растительный покров в основном представлен хвойными лесами, а к северу от полярного круга – лесотундровым редколесьем, мхами и лишайниками в сочетании с кустарничковыми и кустарниковыми зарослями. В горах Урала выше границы леса (300–350 м над уровнем моря в южной части Полярного Урала и 400–500 м на Северном Урале) распространена горно-тундровая растительность с небольшими пятнами альпийских лугов по наиболее защищенным от ветра участкам горных склонов. На плоских вершинах, а местами и по склонам наиболее высоких хребтов простирается пояс горных гольцовых пустынь с пятнами лишайников, подушками мхов или кустиками травянистых растений (папоротников, некоторых цветковых) в расщелинах скал.

Леса преимущественно еловые с примесью березы, сосны, а местами и осины; значительное распространение имеют сосновые леса, в основном приуроченные к обширным речным террасам. Близ северной границы таежной зоны из-за более суровых климатических условий и большей заболоченности леса редкостойные. На более теплой и сухой юго-западной окраине Северного края они еловые или елово-пихтовые с примесью липы (подзона южной тайги).

Горные леса по своему составу сходны с равнинными; до широты горы Тельносиз они еловые, южнее – пихтово-еловые. Вблизи границы леса они переходят в березовое криволесье, пихтово-еловое или лиственничное редколесье.

Вырубки и гари в лесах широкое распространение имеют в наиболее обжитой юго-западной части Северного края и вдоль основных железнодорожных магистралей. Они быстро зарастают березово-сосновым молодым лесом, который на более поздних стадиях лесовозобновления

нередко снова заменяется еловым. Из-за этого заселенность водосборов малых рек заметно уменьшается в связи с вырубкой только в районах наиболее интенсивных лесоразработок.

Лесопокрытость водосборов в таежной зоне преимущественно более 80%, местами до 95–99%. Большая часть безлесных площадей приходится на болота – 5–10% и более.

Болота распространены повсеместно, но чаще встречаются на северо-западе территории, где климат влажный, а земная поверхность представляет обширные низменности.

В тундровой зоне болота в основном имеют реликтовый характер, многие из них подвергаются интенсивному разрушению; другие связаны с современным болотообразовательным процессом. Обычно они неглубокие, мозово-осоковые. В таежной зоне преобладают выпуклые верховые сфагновые торфяники. В травяно-кустарничковом ярусе для них характерны пушица, шейхцерия, очеретник, багульник, подбел, кассандра, голубика, клюква; из древесных пород – угнетенная сосна.

Луговая растительность встречается как в лесной, так и в тундровой зоне. Распространена она в поймах рек и по расчисткам от леса и кустарника на склонах речных долин. Общая площадь, занятая луговой растительностью, незначительна (менее 0,3%). Представлена она многолетними травянистыми растениями, образующими сложные сообщества, состоящие из верховых злаков (лисохвоста, канареечника и др.), мелкотравья (полевицы, овсяницы, красной нивянки) и низкотравья (белоуса, манжетки, клевера).

Гидрография

Речная сеть густая и развита сравнительно равномерно, что связано с избыточным увлажнением и относительно однородными природными условиями на большей части территории. Заметно разрежена она только в карстовых районах. Коэффициент густоты речной сети преимущественно

0,5–0,6 км/км², в бассейне р. Онеги в среднем около 0,3 км/км², в карстовых районах 0,1–0,2 км/км² и меньше.

Всего в пределах Северного края насчитывается 138,5 тыс. рек. Общая их протяженность 521,2 тыс. км. Преобладают малые реки и ручьи длиной менее 10 км (93,6% общего количества рек). На их долю приходится около половины (53,1%) общей протяженности водотоков. Рек длиной более 100 км всего 280, а свыше 500 км – 14.

Главные реки: Онега, Северная Двина, Мезень и Печора – берут начало близ южных границ Северного края, текут в северо-западном направлении и впадают в Белое и Баренцево моря. Северная Двина и Печора являются крупнейшими судоходными реками Европейской территории России и по величине стока воды занимают соответственно четвертое и второе места после р. Волги. Их основные притоки – Сухона, Юг, Вычегда, Вага, Пинега, Уса, Ижма – также являются крупными речными магистралями, но менее полноводными и с относительно менее благоприятными для судоходства качествами.

Реки Северная Двина и Печора, выносящие в море огромное количество наносов, в устьях имеют обширные многорукавные дельты, а реки Онега и Мезень – широкие мелководные эстуарии.

Водоразделы между бассейнами главных рек, также как и внутри этих бассейнов, орографически выражены слабо, что связано с равнинным характером территории. Слабо прослеживается общий водораздел рек Северного края и рек соседних районов – бассейнов Онежского озера на западе, Верхней Волги и Камы на юго-западе и юге. Только на востоке, где он проходит по горным хребтам Урала, водораздел выражен четко.

Осадки

Рассматриваемая территория находится в зоне избыточного увлажнения. Годовое количество осадков изменяется с северо-востока на юго-запад от 550–600 до 700–750 мм.

Особенности распределения осадков по территории в известной мере определяются рельефом. На наветренных склонах возвышенностей (Урала, Тиманского кряжа, Коношско-Няндомской, Северных Увалов и др.) происходит увеличение осадков, а на подветренных – их уменьшение. Так, на западных склонах Урала за год выпадает до 1000 мм и более, на наветренных склонах Коношско-Няндомской возвышенности до 750–780 мм.

В течение года осадки выпадают неравномерно. Основная их часть (65–70%) приходится на теплый период года. Осадки за теплый период составляют на северо-востоке территории 400 мм, на юго-западе около 500 мм.

Минимум осадков на большей части территории наблюдается в феврале (на северной ее окраине – в марте); максимум осадков – в июле–августе (в горах Урал – в сентябре–октябре). В отдельные годы месячные суммы осадков могут отклоняться от нормы на величину до 200%.

Число дней с осадками 0,1 мм и более составляет в среднем на побережьях морей 180–190, в остальных районах 200–210. Число дней с осадками 10 мм и более меняется незначительно: от 9–10 на большей части территории до 6–7 на побережьях морей. Число дней с осадками 20 мм и более составляет в среднем 1–2 за год.

Суточные максимумы осадков, наблюдающиеся обычно в теплый период года, достигают 60–80 мм.

В летнее время суточные максимумы формируются за счет ливневых дождей, связанных с прохождением фронтов. В осенне-зимний период чаще наблюдаются длительные осадки обложного характера и слабой интенсивности.

Жидких осадков за год выпадает 50–60%, твердых 25–30%, смешанных (мокрый снег, снег с дождем) 10–15%.

Снежный покров появляется в конце сентября – начале октября, на юге – в третьей декаде октября. Первый снег обычно стаивает при оттепелях. Устойчивый снежный покров образуется в третьей декаде октября – первой

декаде ноября, на юге – во второй декаде ноября, в горах Урала – в первой декаде октября.

Максимальной высоты снежный покров достигает во второй–третьей декадах марта. На защищенных лесом участках он составляет 75–85 см, на открытых участках – на 10–20 см меньше. Наибольшая высота снега отмечена в предгорьях и горах Урал – 100–150 см и более.

Хозяйственное использование поверхностных вод

Реки Северного края используются в основном для судоходства и сплава леса. Водозабор из рек и озер и использование их энергетического потенциала незначительны. Рыболовство развито слабо и имеет местное значение, исключая лов семги (благородного лосося).

С осуществлением проекта переброски стока рек Вычегды и Печоры в бассейн Волги характер использования поверхностных вод исследуемой территории значительно изменится, так как размеры безвозвратного изъятия воды превысят 40 км³.

Регулярное судоходство производится на реках Онеге, Северной Двине, Сухоне, Вологде, Вычегде, Сыsole, Ваге, Емце, Мезени и Печоре. На большом протяжении и почти вне зависимости от водности года оно обеспечивается только на реках Северной Двине, Сухоне, Вычегде и Печоре. На остальных реках судоходство возможно только на наиболее многоводных участках протяжением от нескольких десятков километров (Вологда, Сысола, Емца) до 100–200 км (Онега, Вага, Мезень). В очень маловодные годы эти участки в период межени значительно сокращаются или вовсе становятся несудоходными. Из числа малых судоходными являются только реки Порозовица и Итка. Постоянное судоходство на них поддерживаются за счет шлюзования (Северо-Двинская водная система). На порожиистой р. Онеге судоходство производится на двух изолированных участках: между селами Порог и Турчасово и от нижней группы порогов до г. Онега.

Общая протяженность водных путей около 4 тыс. км.

Судоходство производится в течение 5–6 месяцев, с мая по октябрь. Для поддержания гарантийных габаритов водных путей ежегодно выполняется большой объем землечерпательных работ на лимитирующих перекатах.

Нерегулярное судоходство – в период весеннего половодья – производится на многих других реках (Юг, Луза, Вымь, Устья, Пинега, Кулой, Вашка и др.), а также в верховьях рек с регулярным судоходством (Вычегда, Вага, Мезень и др.). Из озер для судоходства используются Кубенское, Лача и Кен-озеро.

Годовой объем грузоперевозок около 30 млн. т. Половина их приходится на лесные грузы (в буксируемых плотах). Пассажиров перевозится 6–7 млн. человек, в основном на местных линиях. Основной объем грузоперевозок приходится на реки бассейна Северной Двины.

На реках с нерегулярным судоходством общий грузооборот не превышает 1 млн. т в год; завоз грузов в 3–5 раз больше, чем вывоз (по рекам Юг и Пинега в 8–10 раз больше). Несмотря на относительно небольшой тоннаж этих грузоперевозок, они в экономике районов, лишенных дорожной сети, имеют исключительно большое значение, и для их обеспечения весной создаются специальные экспедиции, насчитывающие десятки самоходных и несамоходных судов. Особенно большие караваны судов весной забрасывают грузы в глубинные районы по рекам Юг и Пинеге.

Продолжительность навигации на реках с нерегулярным судоходством зависит от водности года и колеблется от полутора–двух недель до 1–2 месяцев и более.

1.2 Исходные данные

В качестве исходных данных были взяты:

1) Информация о полях среднемноголетних дат основных фаз ледового режима рек – появление ледовых явлений, начало ледостава, окончание ледостава, окончание ледовых явлений, продолжительность ледостава за

период наблюдений с 1930 по 1966 гг., для различных постов, приведенных в Таблице № 1.1.

2) Четыре климатических сценария на период с 2040 по 2069 гг. – приземная температура (град. С), осадки (мм), оценки слоя стока весеннего половодья и годового слоя стока (Приложение А).

3) Данные гидрометеорологических характеристик: среднегодовая температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), модуль годового стока (л/с км²), слой весеннего половодья (мм).

Исходная информация о полях среднемноголетних дат основных фаз ледового режима рек и норм годового стока были взяты с картографической основы путем линейной интерполяции с изолиний в узле регулярной сетки при помощи ГИС технологий. А также из уникального издания под названием «Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм». Эти данные представлены в Приложении А.

Данные гидрометеорологических характеристик получены при помощи программного обеспечения с карт соответствующих характеристик за период наблюдений с 1930 по 1966.

За дату появления плавучего льда принимался день, когда отмечались сало, шуга или ледоход. Датой начала ледостава считался первый день образования ледяного покрова (сплошного или с полыньями) или затора льда, после которого ледоход не возобновлялся.

За дату начала весеннего ледохода (вскрытия реки) принимался первый день ледохода.

Образование заторов льда при вскрытии реки принималось начало ледохода, если последний отмечался на смежных участках реки.

Таблица № 1.1 – Гидрологические посты

№ п/п	Река	Пост	F, км ²
1	Онега	д. Надпорожный Погост	12800
2	Онега	д.Черепановское	29500
3	Онега	с. Турчасова	42800
4	Онега	с.Порог (Павловское)	55700
5	Северная Двина	Синега (д.Медведки)	86900
6	Северная Двина	г.Котлас	88300
7	Северная Двина	д.Усть-Курье	209000
8	Северная Двина	д.Абрамково	220000
9	Северная Двина	с.Нижняя Тойма	227000
10	Северная Двина	д. Сидоровская	236000
11	Северная Двина	р.п. Березник	278000
12	Северная Двина	д.Звоз	285000
13	Северная Двина	с.Усть-Пинега	348000
14	Сухона	с.Наремы	23600
15	Сухона	г.Тотьма	34800
16	Сухона	д.Березовая Слободка	43300
17	Сухона	г.Великий Устюг	50300
18	Юг	р.п.Подосиновец	15200
19	Юг	д.Гаврино	34800
20	Луза	д.Красавино	16300
21	Вычегда	с.Старожевск	38200
22	Вычегда	г.Сыктывкар	66900
23	Вычегда	г.Сольвычегодск	120000
24	Вымь	с.Весляна	19100
25	Вымь	д.Половники	25100
26	Вага	д.Филяевская	13200

№ п/п	Река	Пост	F, км ²
27	Вага	г.Шенкурск	38400
28	Емца	с.Емецк	13400
29	Пинега	д.Засурье	17100
30	Пинега	с.Усть-Покшеньга	31300
31	Пинега	с.Кулогоры	36700
32	Пинега	с.Кузомень	39300
33	Мезень	д.Разгорт	12700
34	Мезень	с.Большая Пыса	16100
35	Мезень	с.Койнас	26400
36	Мезень	д.Малонисогорская	56400
37	Мезень	с.Дорогорское	74100
38	Вашка	д.Решельская	19000
39	Пеза	д.Игумново	12000
40	Печора	с.Троицско-Печорск	35600
41	Печора	с.Усть-Щугор	67500
42	Печора	с.Усть-Кожва	74600
43	Печора	с.Усть-Уса	188000
44	Печора	д.Мутный Материк	205000
45	Печора	р.п.Щельяюр	212000
46	Печора	с.Усть-Цильма	248000
47	Печора	с.Ермицы	295000
48	Печора	с.Оксино	312000
49	Уса	с.Петрунь	27500
50	Уса	с.Адзьва	54700
51	Ижма	с.Усть-Ухта	15000
52	Ижма	д.Картайоль	22700
53	Ижма	с.Ижма	28700

1.1 Выбор климатических моделей

Климатическая модель – численное описание климатической системы на основе физических, химических и биологических свойств ее компонентов, их взаимодействий и процессов с обратными связями, которые полностью или частично описывают ее известные свойства.

Климатические модели применяются в качестве инструмента исследования и моделирования климата, а также для оперативных целей, в том числе для месячного, сезонного и межгодового предсказания климата. В многообразии климатических моделей, используемых сегодня в исследованиях изменений климата, можно выделить следующие четыре класса (в порядке возрастания сложности):

- простые климатические модели (двумерные, одномерные или даже нульмерные);
- модели промежуточной сложности (МПС);
- модели общей циркуляции атмосферы (МОЦА) с упрощенными описаниями верхнего перемешанного слоя океана и морского льда (ВПСО/МЛ);
- сложные трехмерные модели совместной циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), занимающие высшую ступень в иерархии климатических моделей (левая часть рис. 1.1.1) (Катцов, Мелешко, 2004).

В течение последних лет отмечено значительным прогрессом развитие МОЦАО, обусловленным как достижениями в исследованиях собственно климатической системы, так и увеличением вычислительных ресурсов, обеспечивающим все большую детализацию и полноту модельных описаний климатически значимых процессов. Современные МОЦАО включают в качестве основных компонентов интерактивные (взаимодействующие друг с другом) модели атмосферы, океана, деятельного слоя суши, криосферы и

биосферы. Поскольку, несмотря на непрерывное увеличение пространственного разрешения МОЦАО, для многих климатически значимых процессов оно недостаточно, такие процессы представлены в моделях с помощью параметризаций, основанных на физических соотношениях между климатическими характеристиками разных пространственных масштабов. Современный уровень развития компьютерной техники позволяет проводить интегрирование МОЦАО на многие сотни лет. Оценка возможных изменений климата для пространственных масштабов меньше субконтинентальных требует привлечения различных способов пространственной детализации результатов расчетов с помощью МОЦАО.

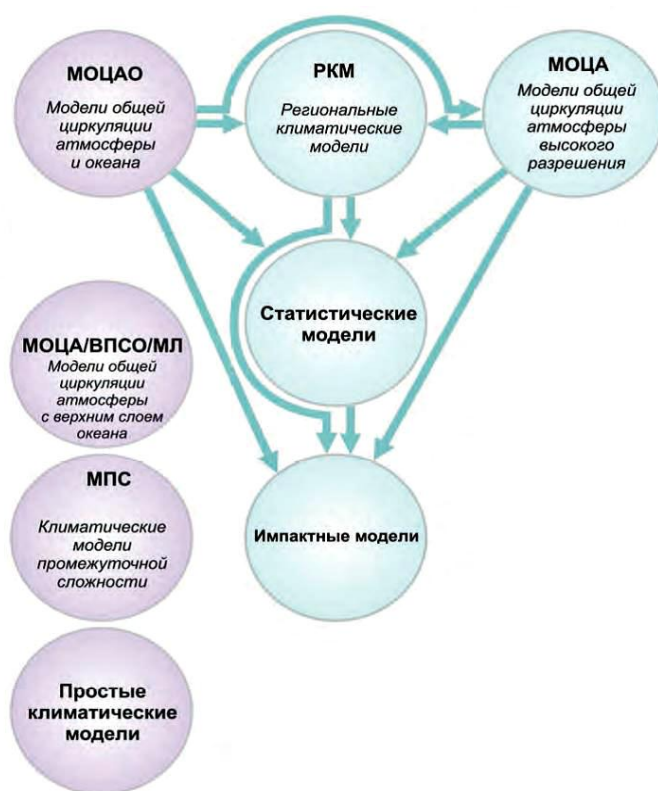


Рис. 1.1.1. Иерархия современных климатических моделей (Катцов, Мелешко, 2004).

Для прогноза норм климатических характеристик была использована модель HadCM3, разработанная в Hadley Centre (Gordon et al., 2000),

являющаяся МОЦАО. Ее главным преимуществом является то, что она не нуждается в корректировке потоков (дополнительные «искусственные» потоки тепла и пресной воды на поверхности океана) для хорошего моделирования. Причина этого – хорошее «океаническое» разрешение модели. Помимо этого, данная модель включает атмосферную модель, океаническую модель и простую термодинамическую модель морского льда.

1.2 Выбор климатических сценариев

Климатический сценарий – правдоподобное и зачастую упрощенное описание будущего климата на основе внутренне согласованного набора климатологических связей, которые были построены исключительно для анализа потенциальных последствий изменения климата под воздействием антропогенных факторов, зачастую служащих в качестве исходных данных для использования в климатических моделях. В качестве исходного материала для разработки климатических сценариев часто служат прогностические оценки климата. Однако климатические сценарии требуют, как правило, также дополнительную информацию, например, данные наблюдений за современным климатом.

В данной работе использовались сценарии, представленные в четвертом оценочном докладе МГЭИК. Чтобы лучше представить их структуру воспользуемся схематической иллюстрацией (рис 1.2.1).

Сценарии состоят из четырех качественных описательных сюжетных линий, представляющих различные демографические, социальные, экономические, технологические и экологические события, которые могут положительно рассматриваться одними лицами, и негативно — другими. Они дают четыре набора сценариев, именуемых «семьями»: A1, A2, B1 и B2. Все они имеют равную значимость без каких-либо установленных вероятностей события. Набор сценариев состоит из шести сценарных групп, полученных из четырех семей: каждая группа в A2, B1, B2, и трех групп в

рамках семьи A1, характеризующие альтернативные виды развития энергетических технологий: A1FI (значительная доля ископаемых видов топлива), A1B (сбалансированный вариант) и A1T (главным образом неископаемые виды топлива). В рамках каждой семьи и группы сценариев в некоторых из них разделяются «согласованные» предположения в отношении глобального населения, роста мировой продукции и окончательной энергии. Эти варианты помечены в качестве «HS» для обозначения согласованных сценариев. «OS» означает сценарии, в которых рассматриваются неопределенности в отношении определяющих факторов помимо тех, которые содержатся в согласованных сценариях.

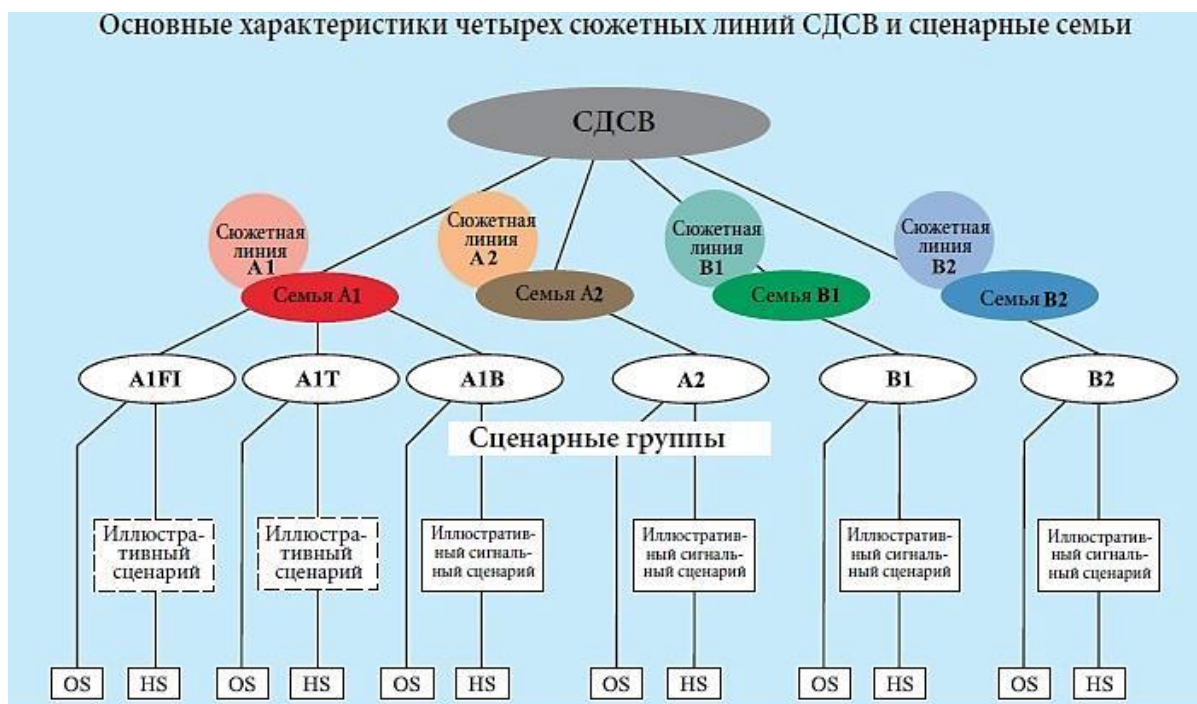


Рис. 1.2.1 Основные характеристики четырех сюжетных линий СДСВ и сценарные семьи

Остановимся подробнее на описании четырех сценариев, выбранных для прогноза характерных дат ледового режима.

Сценарий SRA2

В сюжетной линии и сценарной семье A2 дается описание очень неоднородного мира. Основополагающей темой является самообеспечение и сохранение местной самобытности. Показатели рождаемости в разных регионах очень медленно сближаются, результатом чего является постоянный рост общей численности населения. Экономическое развитие имеет главным образом региональную направленность, а экономический рост в расчете на душу населения и технологические изменения являются более фрагментарными и медленными по сравнению с другими сюжетными линиями.

Сценарий SRB1

Сюжетная линия и сценарная семья B1 содержат описание движущегося в одном направлении мира с тем же самым глобальным населением, которое достигает максимальной численности в середине века, а затем уменьшается, как и в сюжетной линии A1, однако при быстрых изменениях в экономических структурах в направлении сервисной и информационной экономики с уменьшением материальной интенсивности и внедрением чистых и ресурсосберегающих технологий. Главное внимание уделяется глобальным решениям экономической, социальной и экологической устойчивости, включая большую справедливость, но без дополнительных инициатив, связанных с климатом.

Сценарий Commit

«Идеальный» сценарий, по которому скорость изменения концентрации парниковых газов остается на уровне 2000 года.

Сценарий SRA1B

Сценарий очень быстрого экономического развития и роста численности населения; максимум достигается в середине столетия и после этого снижается, так как развиваются новые и более эффективные технологии с альтернативными источниками энергии.

2 Обработка и анализ данных

Ход работы:

1) Анализ различных регрессионных связей различных гидрометеорологических данных и выявление лучшего уравнения, по которому можно было бы осуществить прогноз дат ледовых явлений.

2) «Оцифровка» или построение электронных карт стока, осадков, температуры и сроков ледовых явлений, т.е. представление данных в виде матрицы значений гидрометеорологических характеристик с заданным шагом по координатной сетке.

3) Обработка данных с использованием моделей и сценариев и их анализ.

4) Построение прогностических карт и их анализ.

Степень согласованности гидрометеорологических данных может быть оценена величиной коэффициента множественной регрессии R , полученного при выведении уравнений регрессии, которые описывают связь полей стока, осадков и температуры воздуха с соответствующими характеристиками основных фаз ледового режима рек. Поэтому в ходе исследования был проведен анализ различных регрессионных связей и выявлено лучшее уравнение, по которому можно было бы дать прогноз дат ледовых явлений.

«Оцифровка» или построение электронных карт, обработка данных с использованием моделей и сценариев, построение прогностических карт выполнялась в программе Surfer.

Обработка и анализ данных для каждой характеристики производились отдельно.

2.1 Начало ледовых явлений

В таблице 2.1.1 представлены регрессионные уравнения для дат начала ледовых явлений и их оценка. В качестве расчетного уравнения линейной регрессии было выбрано уравнение № 12, ввиду его наибольшей эффективности.

Таблица 2.1.1 – Регрессионные уравнения для дат начала ледовых явлений и их оценка

№	Предикторы	Уравнения	S/σ	R
1	T	$D = 3.78T + 26.38$	0.29	0.96
2	T, X	$D = 0.01T + 3.81X + 18.23$	0.27	0.96
3	T, X, q	$D = 0.002X + 4.30T + 0.47q + 20.38$	0.26	0.97
4	T, X, Y	$D = 0.01X + 4.16T + 0.02Y + 18.64$	0.27	0.96
5	T, Y	$D = 4.34T + 0.03Y + 21.27$	0.27	0.96
6	X	$D = 0.004X + 31.64$	1.00	0.04
7	q	$D = -1.43q + 45.81$	0.83	0.57
8	Y	$D = -0.1Y + 48.84$	0.74	0.67
9	X, T, q, Y	$D = 0.002X + 4.27T + 0.50q - 0.003Y + 20.45$	0.26	0.97
10	X, q	$D = 0.05X - 2.16q + 14.04$	0.71	0.71
11	X, Y	$D = 0.05X - 0.14Y + 19.27$	0.62	0.79
12	T, q	$D = 4.34T + 0.51q + 21.17$	0.25	0.97
13	q, Y	$D = 0.68q - 0.14Y + 48.72$	0.74	0.68
14	T, q, Y	$D = 4.33T + 0.54q - 0.002Y + 21.29$	0.25	0.97
15	q, Y, X	$D = 0.05X - 0.16q - 0.13Y + 18.68$	0.62	0.79

Даты появления плавучего льда, полученные из Атласа расчетных гидрологических карт и номограмм представлены на рисунке 1Б (Приложение Б). Прослеживается закономерность увеличения сроков появления плавучего льда с северо-востока на юго-запад. Сроки изменяются от 15 октября до 21 ноября.

На рисунках 2Б – 4Б (Приложение Б) показаны распределения дат начала ледостава, вычисленных по четырем климатическим сценариям: SRAB1, SRA2, SRB1 и Commit. В качестве прогнозной модели использовалась HadCM3. Нормы осадков и температуры воздуха брались на период с 2040 по 2069 гг., значения метеорологических характеристик относятся к узлам географической сетки с шагом 150 км.

Все прогнозные карты имеют четкую географическую зональность. Наблюдается увеличение дат с северо-востока на юго-запад для четырех прогнозных сценариев. Из таблицы 2 видно, что наибольшие изменения произойдут по сценарию Commit. По которому появление плавучего льда в среднем происходит на 20 дней раньше фактических дат, однако, разница между минимальными значениями в два раза больше. Сценарии A1B, A2 и B1 дают схожие результаты, с наибольшим изменением ранних дат появления плавучего льда. Это также подтверждают карты отклонений, представленные на рисунках 6Б-9Б (Приложение Б), имеющие однотипное распределение для всех сценариев. Нарастание разницы происходит от Куйбышевского водохранилища в сторону Кольского полуострова. Максимальные отклонения наблюдаются на 65-ой параллели северной широты и уменьшаются в южном направлении.

На рисунке 11Б (Приложение Б) черными изолиниями построена карта дат появления плавучего льда по атласу расчетных гидрологических карт и номограмм. В цветном варианте выполнено построение осредненных дат по 54 гидрологическим постам за период 1930-1970 гг. Из увеличенного

фрагмента карты (рисунок 10Б) видно, что общая зональность карт одинакова: с востока на запад замерзание происходит все позднее.

Таблица 2.1.2 – Сравнение прогнозных значений дат появления плавучего льда с фактическими

Дата наступления ледостава	Фактические даты	COMMIT	A1B	A2	B1
Средняя	4 ноя.	17 окт.	31 окт.	31 окт.	27 окт.

2.2 Начало ледостава

В таблице 2.2.1 представлены регрессионные уравнения для дат начала ледостава и их оценка.

Таблица 2.2.1 – Прогностические уравнения дат начала ледостава и их оценка

№ п/п	Уравнение	S/σ	R
1	$D = 0.002 X + 46.64$	1.004	0.02
2	$D = 3.02 T + 41.14$	0.53	0.85
3	$D = -0.96 q + 55.25$	0.91	0.42
4	$D = -0.08 Y + 58.48$	0.83	0.57
5	$D = -0.004 X + 3.81 T + 0.04 Y + 36.84$	0.51	0.86
6	$D = -0.02 X + 4.25 T + 1.18 q + 41.3$	0.45	0.89
7	$D = -0.02 X + 4.70 T + 1.35 q - 0.01 Y + 41.7$	0.45	0.90
8	$D = X + 3.69 T + 0.03 Y + 35.02$	0.50	0.86
9	$D = 3.85 T + 0.77 q + 33.37$	0.47	0.88

Анализируя показатели эффективности полученных зависимостей, в качестве расчетного принято уравнение №9. На рисунках 2В – 4В (Приложение В) показаны распределения дат начала ледостава, вычисленных по четырем климатическим сценариям: SRAB1, SRA2, SRB1 и Commit. В качестве прогнозной модели использовалась HadCM3. Нормы осадков и температуры воздуха брались на период с 2040 по 2069 гг., значения метеорологических характеристик относятся к узлам географической сетки с шагом 150 км.

Все прогнозные карты имеют четкую географическую зональность. Наблюдается увеличение дат с северо-востока на юго-запад для четырех прогнозных сценариев. Из таблицы 2.2.2 видно, что наибольшие изменения произойдут по сценарию Commit. По которому формирование ледостава в среднем происходит на 15 дней раньше фактических дат, однако, разница между минимальными значениями в два раза больше. Сценарии A1B, A2 и B1 дают схожие результаты, с наибольшим изменением ранних дат наступления ледовой фазы. Это также подтверждают карты отклонений, представленные на рисунках 6В – 9В (Приложение В), имеющие однотипное распределение для всех сценариев. Нарастание разницы происходит от Куйбышевского водохранилища в сторону Кольского полуострова. Максимальные отклонения наблюдаются на 65-ой параллели северной широты и уменьшаются в южном направлении.

Таблица 2.2.2 – Сравнение прогнозных значений дат ледостава с фактическими

Дата наступления ледостава	Фактические даты	COMMIT	A1B	A2	B1
Средняя	17.ноя	02.ноя	14.ноя	13.ноя	10.ноя

На рисунке 10В (Приложение В) черными изолиниями построена карта дат установления ледостава по атласу расчетных гидрологических карт и номограмм. В цветном варианте выполнено построение осредненных дат по 54 гидрологическим постам за период 1930-1970 гг. Из увеличенного фрагмента карты (рисунок 11В) видно, что общая зональность карт одинакова: с востока на запад замерзание происходит все позднее. Неоднородность карты осредненных фактических значений связана с высокой плотностью исходной информации.

2.3 Вскрытие ледостава

В таблице 2.3.1 представлены регрессионные уравнения для дат вскрытия ледостава и их оценка.

Исходя из эффективности полученных регрессионных зависимостей, в качестве расчетной принята зависимость, описанная уравнением №5 с коэффициентом множественной регрессии равным 0,95 и двумя предикторами (температура и весенний сток). На рисунках 2Г – 5Г (Приложение Г) показаны распределения дат начала весеннего ледохода, вычисленных по четырем климатическим сценариям: SRAB1, SRA2, SRB1 и Commit. В качестве прогнозной модели использовалась HadCM3, разработанная в центре по исследованию и прогнозированию климата им. Хадли, версия №3. Нормы осадков и температуры воздуха брались на период с 2040 по 2069 гг., значения метеорологических характеристик относятся к узлам географической сетки с шагом 150 км.

Все прогнозные карты имеют четкую географическую зональность. Наблюдается увеличение дат с юго-запада на северо-восток для четырех прогнозных сценариев. При сравнении фактических значений дат вскрытия рек и спрогнозированных дат выяснилось, что сроки вскрытия сдвигаются по времени в сторону увеличения так как все сценарии изменения климата показывают, что температура и осадки, дающие сток в реки, понизятся. Из

таблицы 2.3.2 видно, что наибольшие изменения произойдут по сценарию Commit, который в отличие от остальных рассматриваемых сценариев дает заниженные значения климатических характеристик, (вскрытие рек в среднем происходит на 20 дней позже фактических дат), а самые наименьшие изменения произойдут по сценарию A1B и A2.

Таблица 2.3.1 – Прогностические уравнения дат начала весеннего ледохода

№ п/п		Уравнение	S	G	S/G	R _{мн}
1	T	$D = -5,31T + 63,32$	3,39	11,00	0,31	0,95
2	TX	$D = -0,01X - 5,34T + 71,60$	3,29	11,00	0,30	0,95
3	TXq	$D = -0,04X - 3,98T + 1,31q + 77,54$	2,59	11,00	0,24	0,97
4	TXY	$D = -4,33T - 0,05Y + 0,03X + 72,76$	3,06	11,00	0,28	0,96
5	TY	$D = -5,11T + 0,01Y + 61,52$	3,39	11,00	0,31	0,95
6	X	$D = -0,002X + 52,8$	11,00	11,00	1,00	0,01
7	q	$D = 2,57q + 31,71$	7,62	11,00	0,69	0,72
8	Y	$D = 0,17y + 29,09$	7,14	11,00	0,65	0,76
9	xTqY	$D = -0,04X - 4,04T + 1,37q - 0,006Y + 77,69$	2,60	11,00	0,24	0,97
10	Xq	$D = -0,09X + 3,74q + 83,41$	5,40	11,00	0,49	0,87
11	XY	$D = -0,07X + 0,22Y + 72,10$	5,42	11,00	0,49	0,87
12	Tq	$D = 0,37q - 4,9T + 59,53$	3,30	11,00	0,30	0,95
13	Yq	$D = 0,59q + 0,13Y + 28,98$	7,13	11,00	0,65	0,76
14	tqY	$D = 0,77q - 5,13T - 0,03Y + 61,55$	3,26	11,00	0,30	0,96
15	Xyq	$D = -0,08X + 2,01q + 0,11Y + 79,37$	4,88	11,00	0,44	0,90

Это также подтверждают карты отклонений, представленные на рисунках 6Г – 9Г (Приложение Г), имеющие однотипное распределение по принципу их роста по северо-восточному направлению. Значения отклонений

имеют как положительный, так и отрицательный знак. Карты отклонений также указывают на неоднородность распределения по территории дат вскрытия рек.

Таблица 2.3.2 – Сравнение прогнозных значений дат начала весеннего ледохода с фактическими

Дата начала весеннего ледохода	Фактические даты	COMMIT	A1B	A2	B1
Средняя	21 апр	11 мая	25 апр	25 апр	30 апр

На рисунке 10Г (Приложение Г) черными изолиниями построена карта дат начала весеннего ледохода по атласу расчетных гидрологических карт и номограмм. В цветном варианте выполнено построение осредненных дат по 54 гидрологическим постам за период 1930-1970 гг. При сравнении двух, стало ясно, что сохраняется тенденция на увеличение сроков вскрытия по направлению с юго-запада на северо-восток и неоднородность их распределения.

2.4 Окончание ледовых явлений

Исходя из эффективности полученных регрессионных зависимостей, в качестве расчетной принята зависимость, описанная уравнением №11 с коэффициентом множественной регрессии равным 0,97 и двумя предикторами (температура и весенний сток). На рисунках 2Г – 4Г (Приложение Г) показаны распределения дат окончания ледовых явлений, вычисленных на основе четырех климатических сценариев: SRAB1, SRA2, SRB1 и Commit. В качестве модели прогнозирования использовалась модель HadCM3, разработанная в центре по исследованию и прогнозированию климата им. Хадли, версия №3.

Таблица 2.4.1 – Прогностические уравнения дат начала половодья и их оценка

№ п/п		Уравнение	S	G	S/G	R _{мн}
1	X	$D = 0,002X + 54,50$	11,14	11,10	0,09	0,02
2	T	$D = -5,50T + 68,40$	2,75	11,10	0,25	0,97
3	q	$D = 2,60q + 36,19$	7,82	11,10	0,70	0,71
4	Y	$D = 0,17Y + 33,005$	7,11	11,10	0,64	0,77
5	XT	$D = -0,01X - 5,52T + 73,94$	2,70	11,10	0,24	0,97
6	XTq	$D = -0,02X - 4,62T + 0,87q + 77,89$	2,35	11,10	0,21	0,98
7	XTqY	$D = -0,03X - 4,59T + 0,84q + 0,003Y + 77,82$	2,36	11,10	0,21	0,98
8	Xq	$D = -0,08X + 3,69q + 84,69$	5,99	11,10	0,54	0,85
9	XY	$D = -0,07X + 0,22Y + 74,08$	5,56	11,10	0,50	0,87
10	Tq	$D = -5,23T + 0,25q + 65,90$	2,71	11,10	0,24	0,97
11	TY	$D = -5,32T + 0,01Y + 66,80$	2,75	11,10	0,25	0,97
12	qY	$D = 0,25q + 0,16Y + 32,96$	7,14	11,10	0,64	0,77
13	TqY	$D = -5,34T + 0,4252q - 0,0152Y + 66,82$	2,71	11,10	0,24	0,97
14	qYX	$D = 1,56q + 0,14Y - 0,08X + 79,73$	5,26	11,10	0,47	0,88
15	XTY	$D = -0,02X - 4,77T + 0,04Y + 74,80$	2,55	11,10	0,23	0,97

Нормы осадков и температуры воздуха были взяты за период с 2040 по 2069 гг., значения метеорологических характеристик относятся к узлам географической сетки с шагом 150 км.

Все карты, построенные на основе сценарных оценок климата, имеют общую черту: наблюдается увеличение дат полного очищения рек ото льда с юго-запада на северо-восток. При сравнении фактических значений дат полного очищения рек ото льда и спрогнозированных дат стало ясно, что сроки очищения сдвигаются по времени в сторону увеличения по рассматриваемому направлению, так как все сценарии изменения климата показывают, что температура и осадки, дающие сток в реки, понизятся. Из таблицы 2.4.2 видно, что наибольшие изменения произойдут по сценарию Commit, который в отличие от остальных (A1B, A2 и B1) дает заниженные значения климатических характеристик, а самые наименьшие изменения произойдут по сценарию A1B. Это также подтверждают карты отклонений, представленные на рисунках 6Д – 9Д (Приложение Д), имеющие однотипное распределение по принципу их роста по северо-восточному направлению. Стоит отметить, что значения отклонений имеют как положительный, так и отрицательный знак, кроме отклонений сценария Commit, это говорит о том, что даты полного очищения рек ото льда мобильны и в некоторых районах могут наступать раньше или позже. Карты отклонений также указывают на неоднородность распределения по территории дат полного очищения ото льда. В целом же можно сказать, что на Севере и Северо-Западе России даты вскрытия по данным четырех сценариев в среднем будут наступать позже на 20 дней, а на Юге и Юго-Западе раньше на 6 дней.

На рисунке 10Д (Приложение Д) черными изолиниями построена карта дат установления ледостава по атласу расчетных гидрологических карт и номограмм. В цветном варианте выполнено построение осредненных дат по 54 гидрологическим постам за период 1930-1970 гг. При сравнении двух, стало ясно, что сохраняется тенденция на увеличение сроков очищения по

направлению с юго-запада на северо-восток и неоднородность их распределения.

Таблица 2.4.2 – Сравнение прогнозных значений дат полного очищения ото льда с фактическими

Дата полного очищения ото льда	Фактические даты	COMMIT	A1B	A2	B1
Средняя	25.апр	16.май	29.апр	30.апр	04.май

Выводы

Все выбранные наиболее оптимальные для прогнозов уравнения представлены в таблице 1.

Таблица № 1 – Выбранные регрессионные модели для основных фаз ледового режима рек

Фаза ледового режима	Предикторы	Уравнение	S/σ	R
Начало ледовых явлений	T, q	$D=4.34T+0.51q+21.17$	0.25	0.97
Начало ледостава	T, q	$D = 3.85 T + 0.77 q + 33.37$	0.47	0.88
Вскрытие	T, Y	$D=-5,11T+0,01Y+61,52$	0.31	0.95
Окончание ледовых явлений	T, Y	$D=-5,32T+0,01Y+66,80$	0.25	0.97

Норма температуры воздуха по данным наблюдения за период с 1930-1966 гг. в среднем на территории исследуемого региона составляет 2.2 °С. Исходя из сценария Commit, на период 2040-2069 гг. ожидается уменьшение

нормы на 3.8°C , для сценариев SRAB1 и SRA2 изменения не столь существенны – уменьшение на 0.8 и 0.9°C соответственно, а сценарий SRB1 показывает снижение нормы на 1.1°C . Это непосредственно влияет на характеристики ледовых явлений.

Благодаря многолетним исследованиям на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов была получена стохастическая модель для прогнозирования стока, с помощью которой удалось рассчитать значения модуля годового стока, используя различные климатические сценарии на период 2040-2069. Результаты сценарной оценки годового стока показали его уменьшение в среднем на 10-14 % по сравнению с периодом 1930-1966 гг.. Максимальное изменение годового модуля стока наблюдается для сценария Commit и составляет 1.1 л/с км^2 , минимальное для сценария SRAB1 – 0.8 л/с км^2 . Средняя многолетняя норма модуля годового стока 7.7 л/с км^2 .

Сумма годовых осадков по прогнозным сценариям уменьшается по сравнению с фактическим значением на 76 – 100 мм и в период 2040-2069 гг. достигает 605 – 625 мм. Прогноз слоя стока весеннего половодья за тот же период, как и модуль годового стока, получен на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов. Он также ниже фактической нормы за период с 1930-1966 гг., составляющей 135 мм, на величину от 14 до 19 мм.

После проведенного анализа были выявлены значительные отличия прогнозных значений ледовых явлений от фактических (см. табл. 2).

Наибольшее отклонение дат ледовых явлений наблюдается при использовании сценария Commit, что касается SRAB1, SRA2, SRB1, то они отличаются друг от друга не значительно.

Несоответствие между смоделированными и наблюдаемыми трендами климатических характеристик может частично объясняться тенденцией некоторых моделей CMIP5 и более ранних моделей имитировать более сильное потепление, чем наблюдаемое, в качестве отклика на повышение концентрации парниковых газов.

Таблица 2 – Сравнение прогнозных значений с фактическими

Начало ледовых явлений					
Дата наступления ледовых явлений	Фактические даты	COMMIT	A1B	A2	B1
Средняя	4 ноя.	17 окт.	31 окт.	31 окт.	27 окт.
Ледостав					
Дата наступления ледостава	Фактические даты	COMMIT	A1B	A2	B1
Средняя	17.ноя	02.ноя	14.ноя	13.ноя	10.ноя
Вскрытие					
Дата начала весеннего ледохода	Фактические даты	COMMIT	A1B	A2	B1
Средняя	21.апр	11 мая	25.апр	25.апр	30.апр
Очищение ото льда					
Дата полного очищения ото льда	Фактические даты	COMMIT	A1B	A2	B1
Средняя	25.апр	16.май	29.апр	30.апр	04.май

Другим возможным источником модельной ошибки является недостаточное представление водяного пара в верхних слоях атмосферы. Было сделано предположение относительно того, что уменьшение содержания стратосферного водяного пара после 2000 г. вызвало уменьшение нисходящей длинноволновой радиации и таким образом способствовало охлаждению поверхности, что, возможно, не учитывалось моделями. Однако, этот эффект оценивается как небольшой, поскольку после 2005 г. наблюдалось восстановление содержания водяного пара в стратосфере. Явление существования неточности метеорологических данных, полученных из климатических моделей и сценариев, порождает

некоторую неточность при определении дат ледового режима водных объектов, что отражено в полученных результатах.

Выводы второго этапа работ

1. Дана характеристика каждого поста на предмет изменчивости дат основных ледовых явлений. Ранние и поздние даты имеют диапазон изменений от 1.5 до 2.5 месяцев.
2. Дана характеристика изменчивости длительности периода ледовых явлений и периода ледостава. Для региона в среднем он длится от 4.1 до 4.8 месяцев.
3. Корреляционная связь (прямая) выявлена у дат появления ледовых явлений и среднемесячной температурой октября, ледостава и ноября.

Корреляционная связь (обратная) выявлена у дат окончания ледостава и среднемесячной температурой апреля, окончания ледовых явлений и июня.

4. Выявлены наиболее значимые связи окончания дат ледового режима от широты местности.

Исходные данные

Таблица 1А – Обобщенные гидрометеорологические данные

№	Осадк и, мм	Средне годовая темпер атура, °С	Модуль годового стока, л/с км ²	Слой стока весенне го половод ья, мм	Порядковый № даты с 1 октября		Порядковый № даты с 1 марта	
					появл ение плаву чего льда	начал о ледост ава	начало весенне го ледоход а	оконч ание ледох ода
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	697	5,5	4,0	78	50	62	30	39
2	659	5,3	3,8	67	46	60	31	40
3	782	4,8	4,5	83	47	61	32	41
4	602	5,0	2,7	59	44	54	39	42
5	732	4,9	5,2	98	47	60	33	42
6	800	4,7	6,4	110	48	60	34	43
7	664	4,8	3,7	76	44	56	39	43
8	800	4,4	7,0	128	48	61	35	43
9	693	4,2	4,6	86	44	57	39	43
10	576	4,4	2,2	51	42	52	40	43
11	739	4,9	7,6	117	48	61	35	44
12	612	4,2	2,9	84	42	51	40	44
13	718	4,5	5,9	102	45	58	38	44
14	799	4,5	7,6	136	46	58	38	45

15	745	4,2	7,6	106	45	58	37	45
16	492	4,4	1,6	41	39	51	42	45
17	586	4,1	2,5	48	38	51	41	45
18	800	4,2	8,5	141	45	58	39	45
19	667	4,1	3,8	80	43	50	40	45
20	716	4,8	9,0	116	49	67	40	45
21	599	3,6	3,4	83	38	51	40	46
22	699	4,2	4,6	82	43	52	42	46
23	546	4,0	2,1	50	37	49	45	46
24	700	4,3	5,8	98	43	54	42	46
25	750	4,5	7,0	120	46	56	40	47
26	459	4,2	1,8	45	39	49	44	47
27	711	3,9	6,6	99	43	54	42	47
28	801	4,0	9,7	140	43	54	45	47
29	785	3,9	7,7	130	42	54	44	47
30	664	3,5	4,0	80	39	49	41	47
31	546	3,4	2,8	64	37	48	46	49
32	698	3,7	4,4	78	41	48	43	49
33	700	3,6	5,6	93	41	47	44	49
34	600	3,1	3,6	61	36	48	48	49

Продолжение таблицы 1А

35	651	1,6	4,1	126	36	45	45	50
36	701	3,4	6,6	120	39	48	45	50
37	713	3,5	7,0	121	38	50	47	50
38	609	3,4	4,0	91	35	49	45	50
39	774	4,4	10,0	136	47	65	45	50
40	791	3,5	7,8	144	39	52	48	51
41	646	2,7	6,0	115	35	47	47	51
42	671	3,4	4,4	87	35	47	45	51

43	800	3,9	9,2	143	43	55	45	51
44	600	2,9	3,8	71	35	48	48	52
45	701	3,4	5,0	89	36	45	46	52
46	603	2,3	3,7	69	35	47	49	52
47	712	3,1	6,1	117	36	45	48	52
48	814	1,8	14,1	209	34	44	48	53
49	716	2,9	7,1	148	35	45	49	53
50	634	3,0	4,6	104	35	48	49	53
51	743	2,7	7,9	143	36	46	50	54
52	734	3,3	11,6	148	43	61	52	54
53	596	2,8	4,4	76	34	47	50	54
54	683	2,6	5,4	108	34	46	50	54
55	795	2,9	8,6	141	37	50	51	55
56	743	2,0	10,5	149	34	45	51	55
57	791	3,2	11,1	162	41	53	51	55
58	704	2,4	6,5	117	33	45	51	55
59	663	2,6	5,1	104	33	47	51	56
60	729	2,5	7,1	139	33	46	52	56
61	603	1,7	6,2	112	33	46	52	56
62	755	2,2	8,2	160	33	46	52	56
63	701	1,9	5,8	121	33	45	52	56
64	709	2,4	10,1	136	40	55	57	57
65	797	2,0	9,3	188	33	46	52	57
66	696	1,6	6,3	109	32	45	53	57
67	714	1,6	7,0	143	32	45	52	57
68	780	2,0	10,9	179	34	46	54	57
69	700	1,4	7,8	137	32	41	53	57
70	746	1,4	7,8	161	32	45	53	58
71	722	1,4	7,9	183	31	43	53	58

72	699	1,4	6,2	149	31	41	54	58
73	746	1,6	8,5	160	32	46	53	58
74	797	1,2	7,8	164	30	42	54	59
75	789	1,6	8,8	160	32	46	53	59
76	759	1,4	9,2	155	32	45	55	59
77	737	1,1	6,9	115	30	40	54	59
78	700	1,8	9,8	186	33	45	59	59
79	676	1,8	9,8	159	36	48	60	59

Продолжение таблицы 1А

80	931	0,0	14,2	209	29	36	57	59
81	721	0,9	8,5	160	30	44	55	60
82	624	1,4	9,6	139	38	57	60	60
83	789	0,9	8,9	143	29	40	56	60
84	796	0,3	10,9	176	28	38	59	61
85	698	1,4	9,5	160	30	46	55	61
86	721	1,6	9,5	170	29	46	57	62
87	702	0,7	9,3	151	27	42	58	62
88	697	1,4	9,4	156	29	45	60	63
89	797	0,3	10,0	148	27	39	60	63
90	662	1,4	11,7	178	32	44	64	64
91	700	1,5	10,7	165	30	44	63	64
92	700	0,7	10,1	158	26	44	60	65
93	770	0,1	9,6	156	25	41	62	67
94	829	-0,6	12,7	248	25	36	64	67
95	700	0,7	10,2	181	26	45	62	68
96	700	0,5	9,9	192	26	44	64	69
97	710	-0,1	11,1	158	24	42	64	70
98	600	0,1	11,6	200	30	45	70	70
99	692	0,5	12,0	200	27	42	66	70

10 0	753	-0,7	10,0	159	23	41	65	71
10 1	699	-0,4	12,4	203	24	43	67	72
10 2	709	-0,6	10,7	195	24	41	68	74
10 3	692	-1,0	11,8	158	22	42	66	74
10 4	785	-1,7	14,7	353	20	36	69	75
10 5	653	-0,6	9,9	200	25	40	71	76
10 6	608	-0,6	10,9	186	27	42	79	76
10 7	697	-1,4	11,7	173	22	41	70	78
10 8	696	-2,0	11,1	209	19	38	71	79
10 9	682	-1,6	11,2	219	23	39	72	81
11 0	641	-2,3	11,0	189	20	38	73	84
11 1	625	-2,5	10,4	197	21	38	75	88
11 2	605	-3,3	11,0	223	15	34	78	92

Таблица 2А – Сценарии

№	Прогноз температуры (°C) на	Прогноз осадков (мм) на период
---	-----------------------------	--------------------------------

	период 2040-2069 гг. Модень HaDCM3, сценарий:				2040-2069 гг. Модень HaDCM3, сценарий:			
	COMMIT	A1B	A2	B1	COMMIT	A1B	A2	B1
1	3,5	6,7	6,6	5,7	614	601	583	603
2	3,4	6,6	6,5	5,5	543	540	521	548
3	2,6	5,8	5,7	4,7	609	601	581	612
4	3,1	6,4	6,3	5,3	500	502	487	507
5	2,3	5,4	5,3	4,3	635	629	611	638

Продолжение таблицы 2А

6	2,0	5,0	4,9	3,9	677	679	663	686
7	2,5	5,8	5,6	4,6	529	528	510	535
8	2,0	4,9	4,7	3,8	695	705	696	708
9	1,9	5,1	5,0	3,9	590	585	568	595
10	2,8	6,1	5,9	5,0	480	484	474	486
11	1,5	4,3	4,2	3,2	661	677	677	682
12	1,8	5,1	5,0	4,0	533	537	526	541
13	1,5	4,6	4,5	3,4	623	616	603	630
14	1,5	4,3	4,2	3,2	696	712	711	715
15	1,2	4,2	4,1	3,0	672	673	663	682
16	3,2	6,4	6,2	5,3	410	414	397	407
17	2,1	5,4	5,2	4,3	468	473	458	470
18	1,2	4,1	4,0	3,0	711	722	718	726
19	1,5	4,8	4,6	3,6	553	556	542	558
20	0,4	3,1	3,1	2,0	648	658	663	662
21	1,1	4,5	4,3	3,3	532	540	527	537
22	1,1	4,3	4,1	3,1	589	587	573	589
23	1,8	5,1	4,9	4,0	457	464	440	457
24	0,6	3,8	3,6	2,6	616	609	603	617
25	0,7	3,5	3,4	2,4	688	706	707	705

26	2,6	5,9	5,7	4,9	434	440	417	430
27	0,2	3,3	3,2	2,1	648	645	643	650
28	0,5	3,3	3,3	2,3	721	738	740	737
29	0,2	3,1	3,0	2,0	717	726	728	726
30	0,7	4,0	3,9	2,9	567	575	564	570
31	1,4	4,7	4,5	3,6	484	496	467	484
32	0,4	3,6	3,5	2,5	598	596	590	597
33	-0,1	3,1	3,0	2,0	622	612	612	618
34	0,7	4,1	3,9	3,0	502	514	484	507
35	1,2	4,3	4,1	3,3	472	489	463	471
36	-0,5	2,6	2,5	1,5	635	628	632	632
37	-0,6	2,4	2,3	1,3	677	685	688	685
38	0,3	3,7	3,5	2,5	523	537	519	532
39	-0,2	2,6	2,6	1,5	674	693	698	688
40	-0,3	2,6	2,6	1,6	697	714	714	711
41	0,4	3,6	3,5	2,6	510	528	495	517
42	-0,1	3,3	3,1	2,1	566	578	566	572
43	-0,1	2,8	2,8	1,8	694	716	714	709
44	0,1	3,5	3,4	2,4	523	537	508	535
45	-0,3	2,9	2,8	1,8	610	612	609	611
46	-0,1	3,2	3,1	2,2	526	542	507	538
47	-0,8	2,4	2,3	1,3	640	634	638	640
48	-0,6	2,5	2,4	1,6	528	554	517	544
49	-1,2	1,9	1,8	0,8	662	660	665	667
50	-0,5	2,9	2,8	1,8	539	558	535	555

Продолжение таблицы 2А

51	-1,5	1,6	1,5	0,5	669	682	682	684
52	-1,4	1,5	1,5	0,5	680	705	712	696
53	-0,7	2,7	2,6	1,6	555	573	539	574

54	-0,8	2,6	2,4	1,4	565	585	569	579
55	-1,4	1,5	1,5	0,5	672	696	692	692
56	-0,9	2,3	2,2	1,3	536	561	520	557
57	-1,3	1,6	1,6	0,6	685	712	709	702
58	-1,0	2,3	2,2	1,2	612	626	620	622
59	-1,3	2,1	2,0	1,0	566	591	564	592
60	-1,5	1,7	1,6	0,7	651	660	660	661
61	-1,5	1,8	1,7	0,8	567	594	555	595
62	-1,9	1,2	1,1	0,2	684	694	695	698
63	-1,6	1,8	1,6	0,6	573	603	582	599
64	-2,4	0,5	0,5	-0,5	677	707	711	692
65	-2,2	0,9	0,8	-0,2	687	707	704	708
66	-2,1	1,2	1,1	0,2	593	627	594	633
67	-1,9	1,3	1,2	0,3	610	641	625	633
68	-2,3	0,7	0,6	-0,4	675	705	698	698
69	-2,2	1,0	0,9	0,1	585	619	576	616
70	-2,3	0,9	0,8	-0,1	650	677	669	673
71	-2,4	0,9	0,8	-0,1	596	640	606	638
72	-2,7	0,5	0,4	-0,4	604	646	604	646
73	-2,7	0,4	0,3	-0,5	680	705	700	705
74	-2,7	0,4	0,3	-0,5	606	660	627	645
75	-2,9	0,1	0,0	-0,9	674	704	694	701
76	-3,1	-0,1	-0,2	-1,1	662	697	686	689
77	-3,0	0,2	0,1	-0,7	603	656	613	652
78	-3,3	-0,4	-0,4	-1,4	664	702	697	689
79	-3,2	-0,4	-0,3	-1,3	640	666	675	656
80	-3,7	-0,5	-0,7	-1,4	642	692	646	685
81	-3,1	0,0	-0,1	-0,9	626	680	653	665
82	-3,2	-0,4	-0,4	-1,4	639	658	676	653

83	-3,3	-0,1	-0,2	-1,0	603	672	628	657
84	-4,1	-0,9	-1,1	-1,8	620	675	631	675
85	-3,5	-0,4	-0,5	-1,3	644	691	670	684
86	-3,9	-0,9	-0,9	-1,8	643	686	664	682
87	-3,7	-0,7	-0,7	-1,5	615	683	648	669
88	-4,1	-1,2	-1,2	-2,1	636	677	663	669
89	-4,4	-1,3	-1,4	-2,1	618	694	652	682
90	-4,2	-1,4	-1,4	-2,2	579	599	618	600
91	-4,3	-1,4	-1,5	-2,3	629	666	665	658
92	-4,0	-1,1	-1,1	-1,9	621	684	654	673
93	-4,8	-1,7	-1,8	-2,5	614	696	662	684
94	-5,4	-2,3	-2,4	-3,0	629	711	671	696
95	-4,7	-1,7	-1,8	-2,5	624	677	653	671

Продолжение таблицы 2А

96	-5,2	-2,3	-2,3	-3,0	628	676	662	668
97	-5,1	-2,2	-2,2	-2,9	602	678	651	668
98	-5,8	-3,0	-3,0	-3,7	573	593	620	591
99	-5,4	-2,6	-2,6	-3,3	629	671	672	660
100	-5,9	-2,7	-2,9	-3,4	619	708	676	693
101	-5,7	-2,7	-2,8	-3,5	591	653	634	648
102	-6,3	-3,3	-3,4	-4,0	593	646	633	640
103	-6,2	-3,1	-3,3	-3,8	589	669	648	658
104	-7,1	-3,8	-4,1	-4,5	606	694	670	677
105	-6,6	-3,7	-3,7	-4,4	573	618	614	608

5								
10 6	-6,8	-4,1	-3,9	-4,7	501	518	544	516
10 7	-6,7	-3,6	-3,7	-4,3	551	614	601	610
10 8	-7,7	-4,4	-4,6	-5,1	590	674	663	661
10 9	-7,0	-4,0	-4,1	-4,7	545	599	591	594
11 0	-8,4	-5,1	-5,3	-5,8	535	601	597	592
11 1	-8,9	-5,6	-5,7	-6,3	511	567	564	557
11 2	-9,7	-6,4	-6,6	-7,0	530	598	596	586

Карты начала ледовых явлений

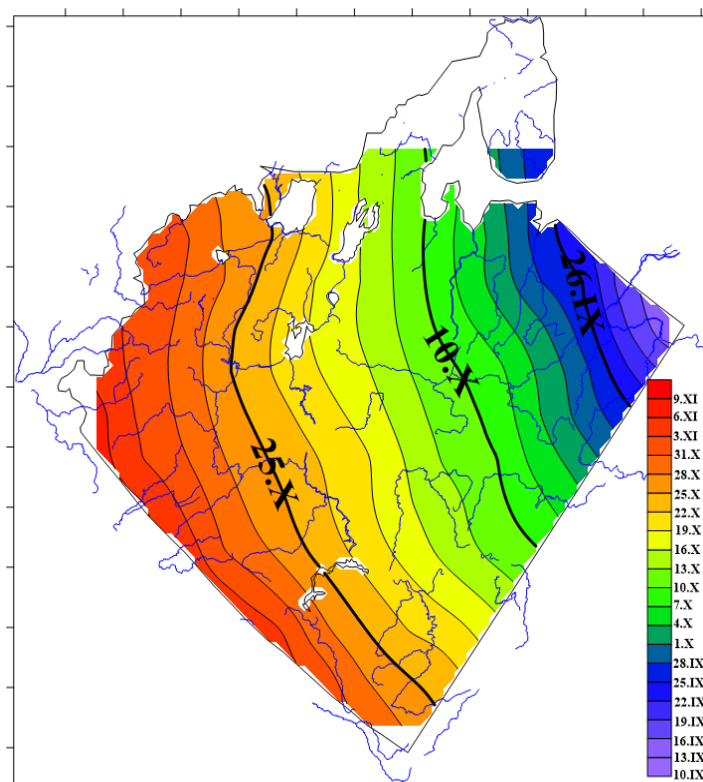


Рисунок 2Б. Даты появления плавучего льда. Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм (количество суток от 1 октября)

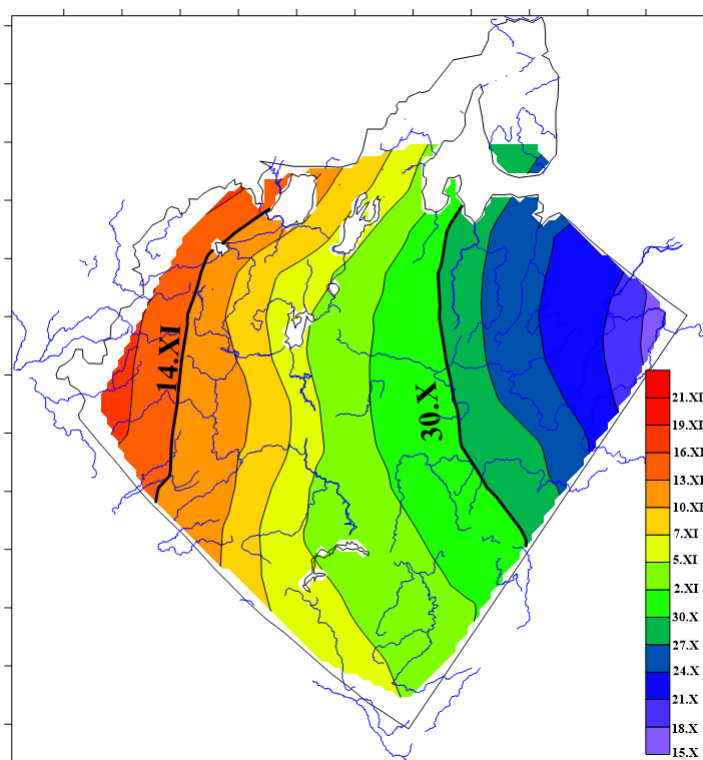
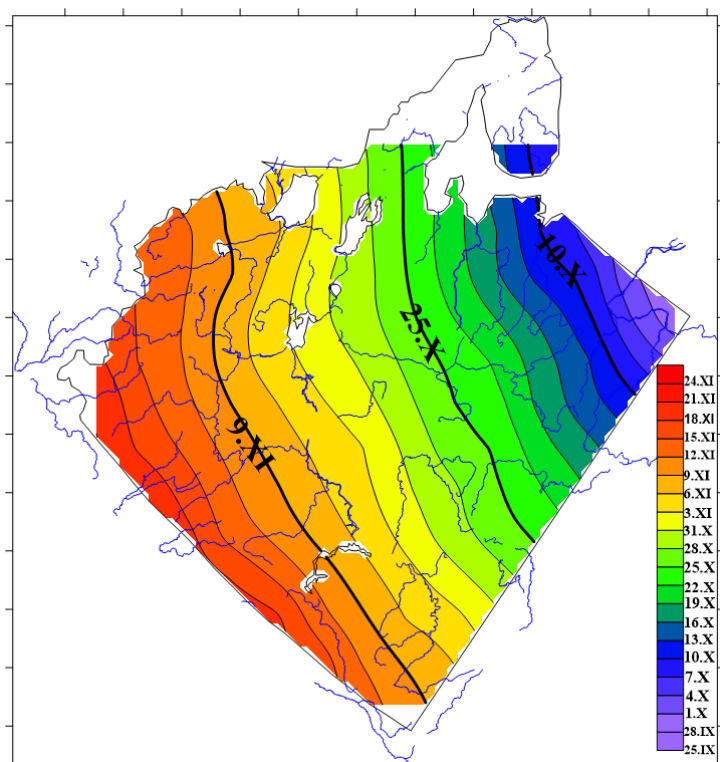


Рисунок 1Б. Прогнозные даты появления плавучего льда на период 2040-2069 гг. Модель NaDCM3, сценарий Commit (количество суток от 1 октября)

Рисунок 3Б. Прогнозные даты появления плавучего льда на период 2040-2069 гг. Модель NaDCM3, сценарий SRAB1 (количество суток от 1 октября)



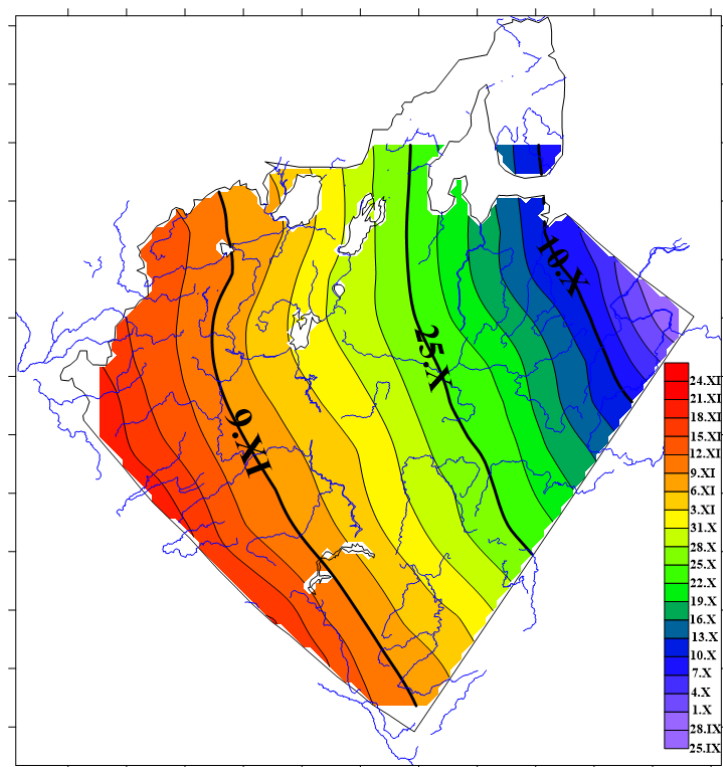


Рисунок 4Б. Прогнозные даты появления плавучего льда на период 2040-2069 гг. Модель NaDCM3, сценарий SRA2 (количество суток от 1 октября)

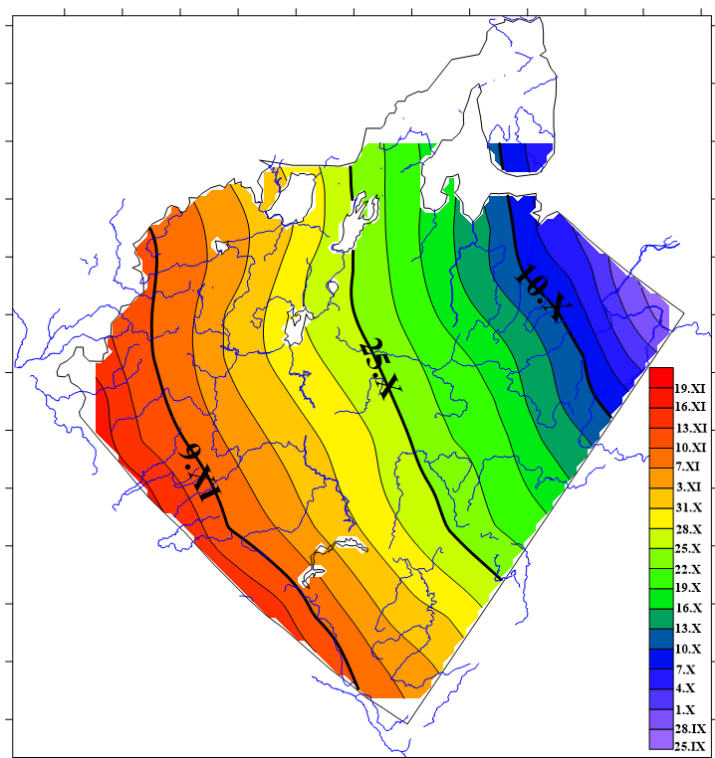


Рисунок 5Б. Прогнозные даты появления плавучего льда на период 2040-2069 гг. Модель NaDCM3, сценарий SRB1 (количество суток от 1 октября)

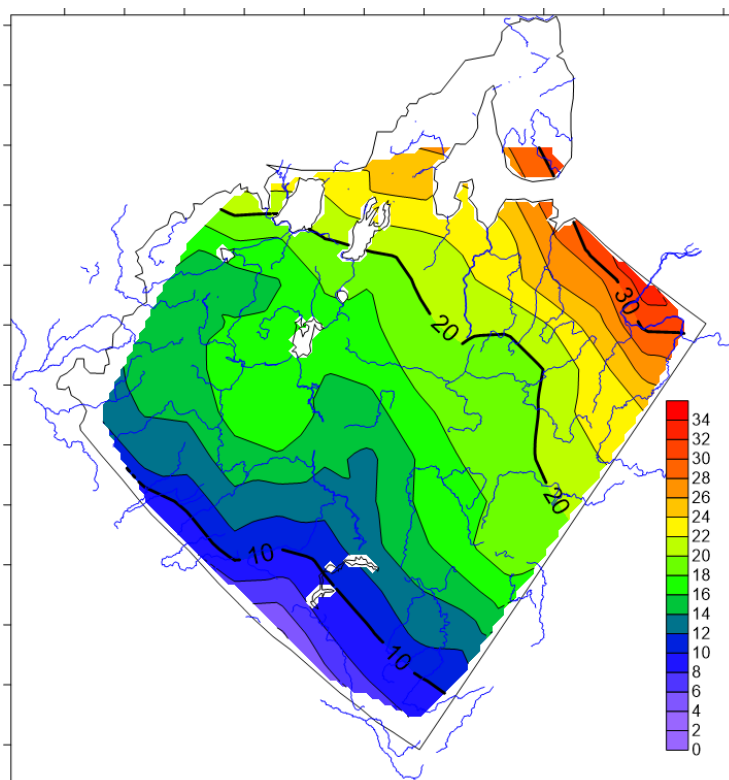


Рисунок 6Б. Модель HaDCM3, сценарий Commit SRB1 отклонения прогнозных дат появления льда от фактических (количество суток от 1 октября) на период 2040-2069 гг

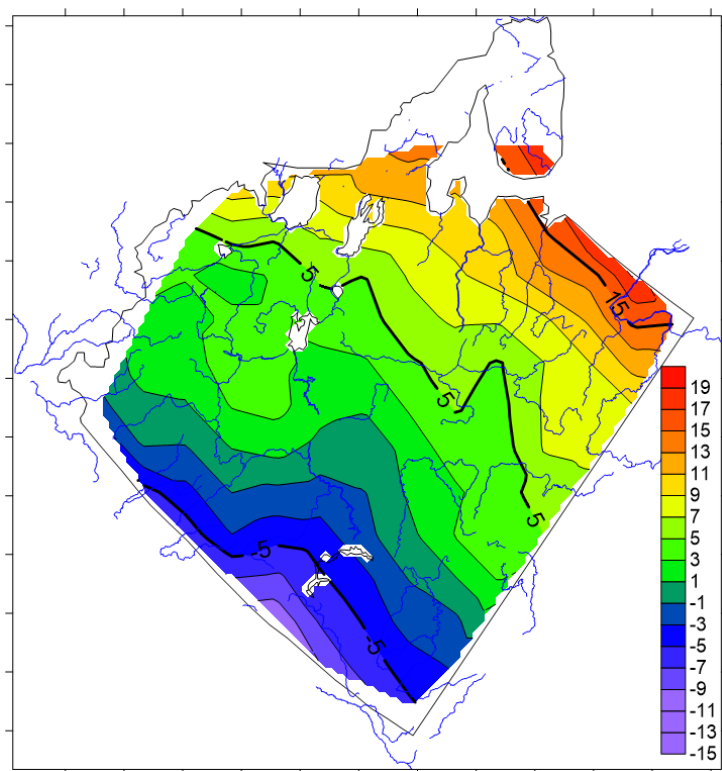


Рисунок 7Б. Модель NaDCM3, сценарий SRA1B SRB1 отклонения прогнозных дат появления льда от фактических (количество суток от 1 октября) на период 2040-2069 гг

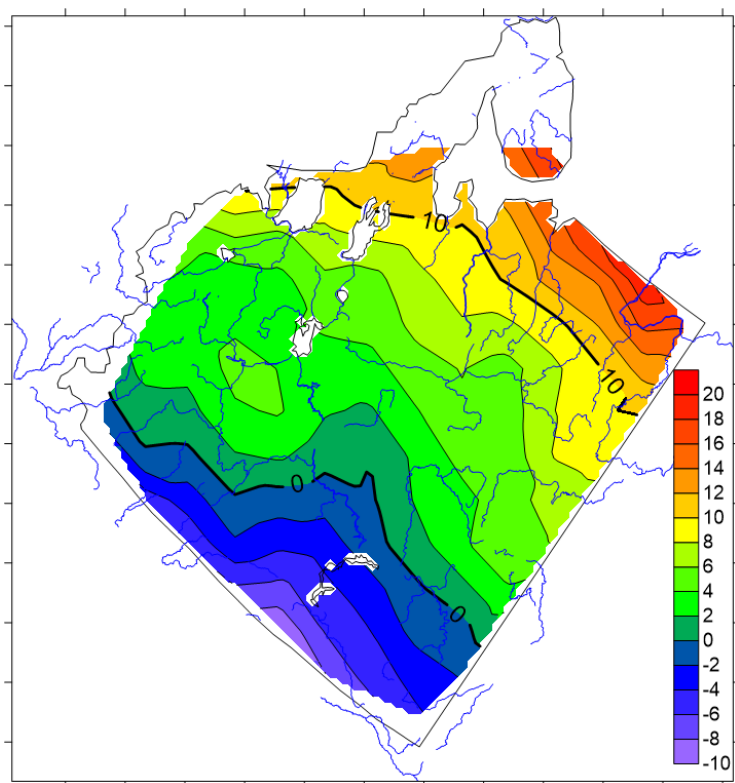


Рисунок 8Б. Модель HaDCM3, сценарий SRA2 SRB1 отклонения прогнозных дат появления льда от фактических (количество суток от 1 октября) на период 2040-2069 гг

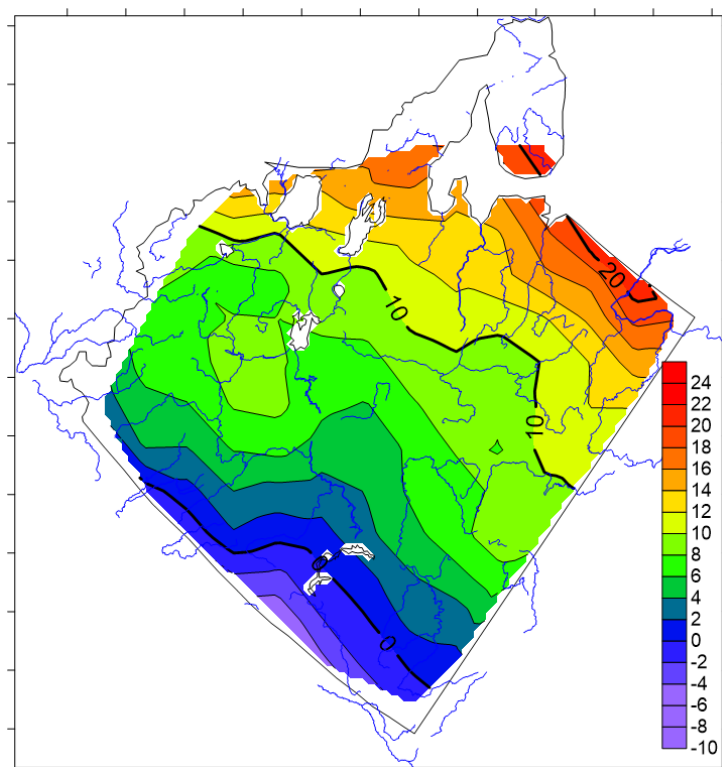


Рисунок 9Б. Модель NaDCM3, сценарий SRB1 отклонения прогнозных дат появления льда от фактических (количество суток от 1 октября) на период 2040-2069 гг

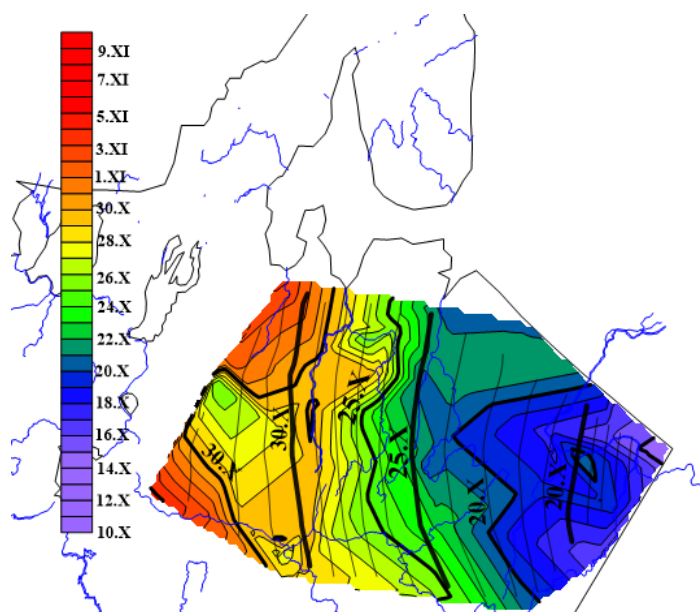


Рисунок 10Б. Осредненные даты появления плавучего льда за период 1930-1970 гг. + даты начала ледостава, взятые из атласа расчетных гидрологических карт и номограмм (количество суток от 1 октября) для выбранного участка

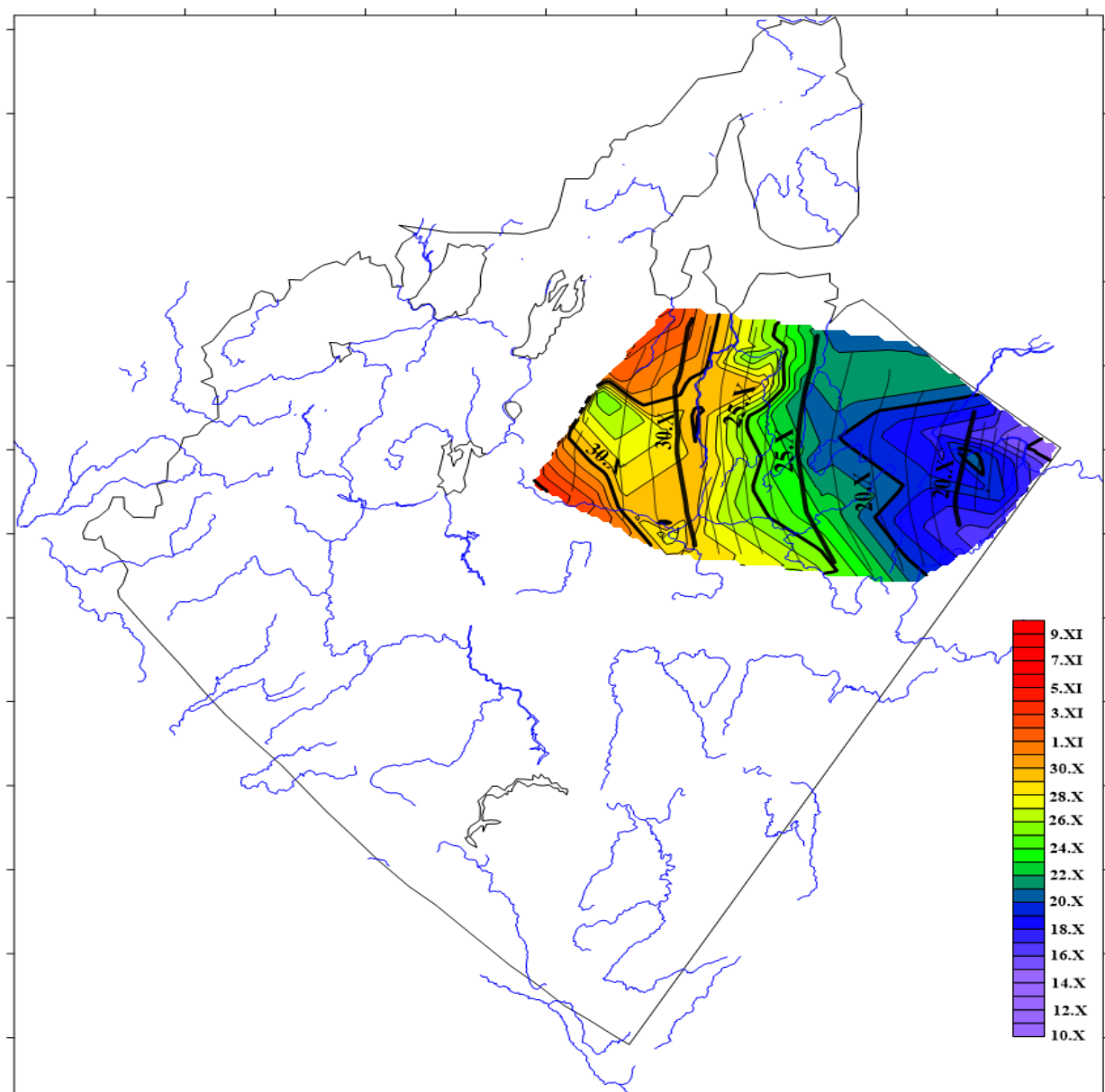


Рисунок 11Б. Осредненные даты появления плавучего льда за период 1930-1970 гг. + даты появления плавучего льда, взятые из атласа расчетных гидрологических карт и номограмм (количество суток от 1 октября)

Карты начала ледостава

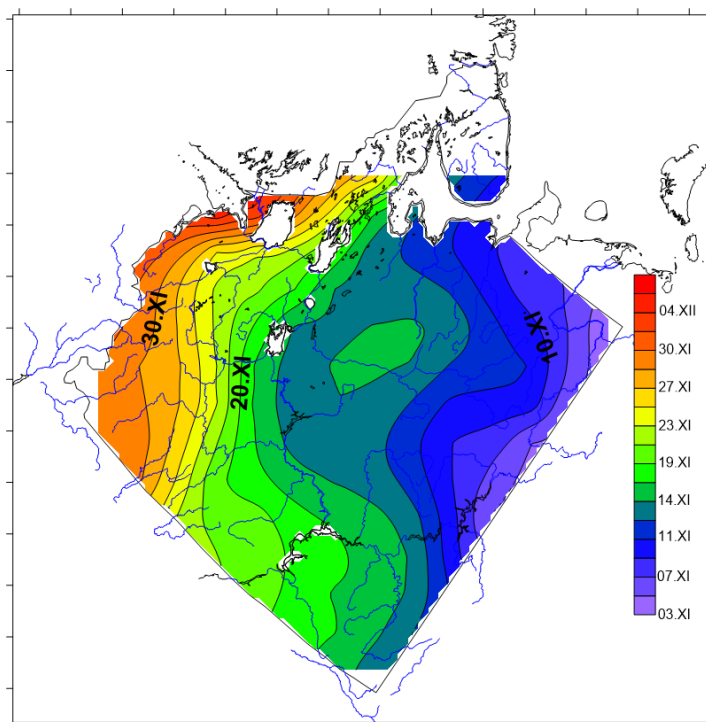


Рисунок 1 В. Даты начала ледостава. Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм (количество суток от 1 октября)

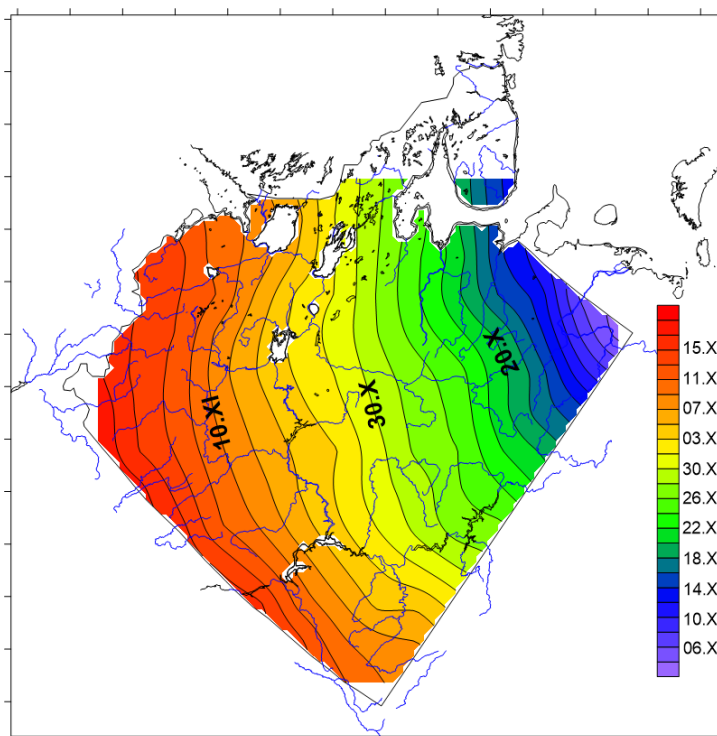


Рисунок 2 В. Прогнозные даты начала ледостава на период 2040-2069 гг. Модель NaDCM3, сценарий Commit (количество суток от 1 октября)

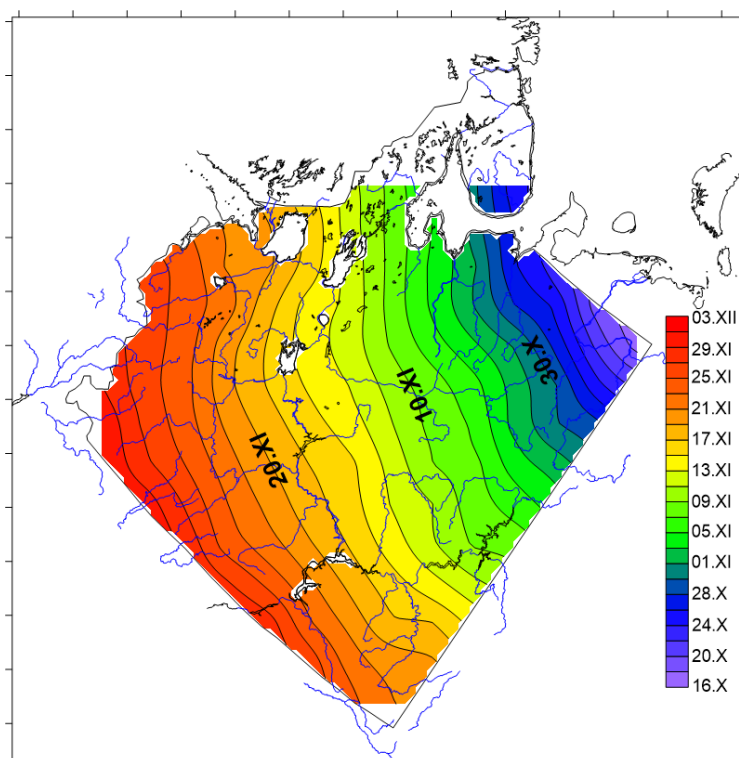


Рисунок 3В. Прогнозные даты начала ледостава на период 2040-2069 гг. Модель NaDCM3, сценарий SRA1B (количество суток от 1 октября)

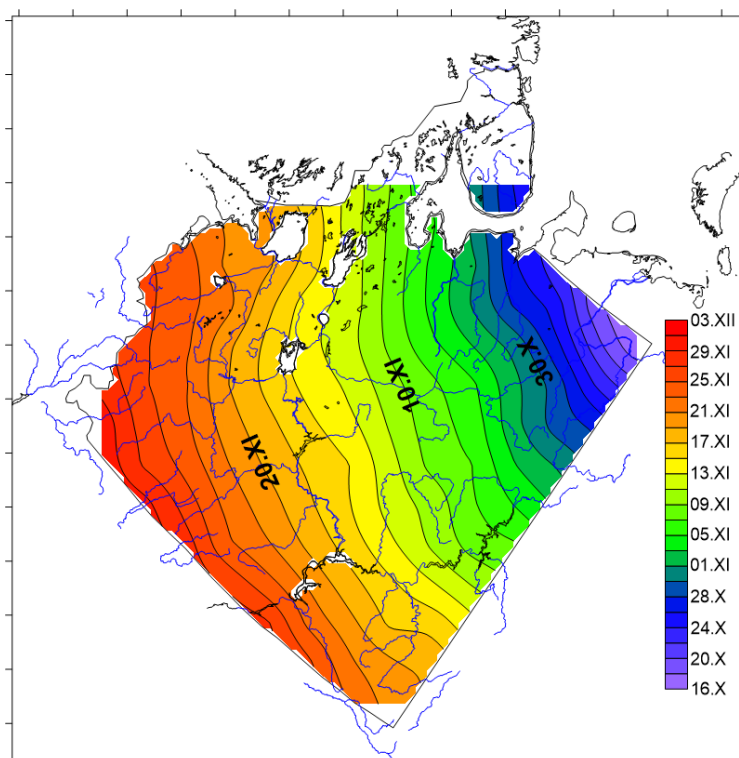
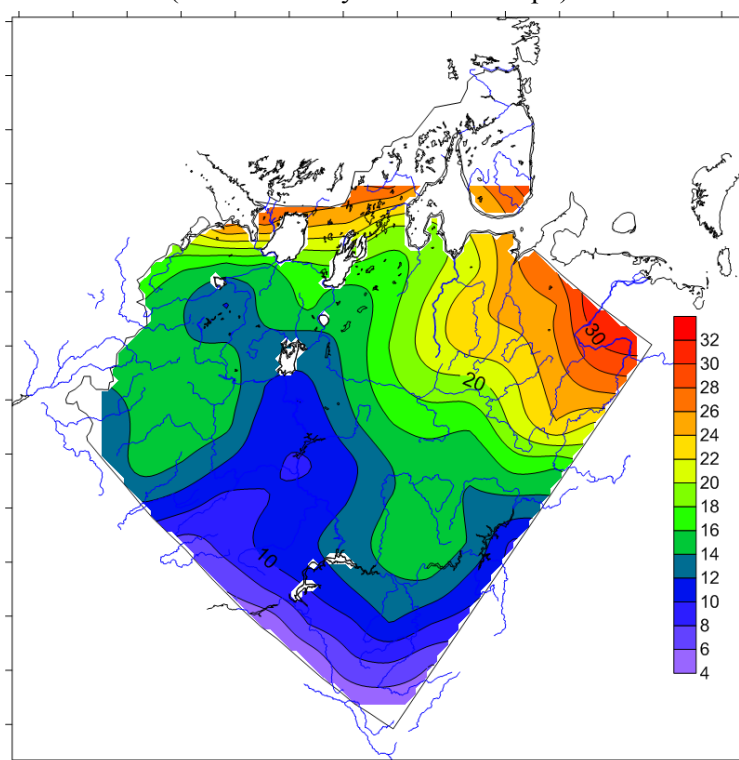


Рисунок 4В. Прогнозные даты начала ледостава на период 2040-2069 гг. Модель NaDCM3, сценарий SRA2 (количество суток от 1 октября)

Рисунок 5В. Прогнозные даты начала ледостава на период 2040-2069 гг. Модель HaDCM3, сценарий SRB1
(количество суток от 1 октября)



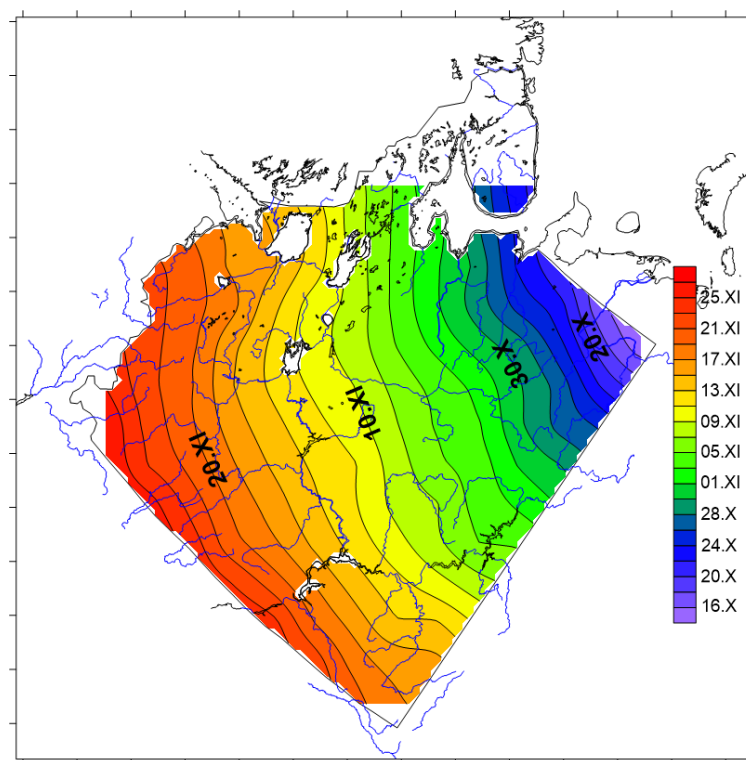


Рисунок 6В. Модель NaDCM3, сценарий Commit, отклонения прогнозных дат начала ледостава от фактических (количество суток от 1 октября) на период 2040-2069 гг

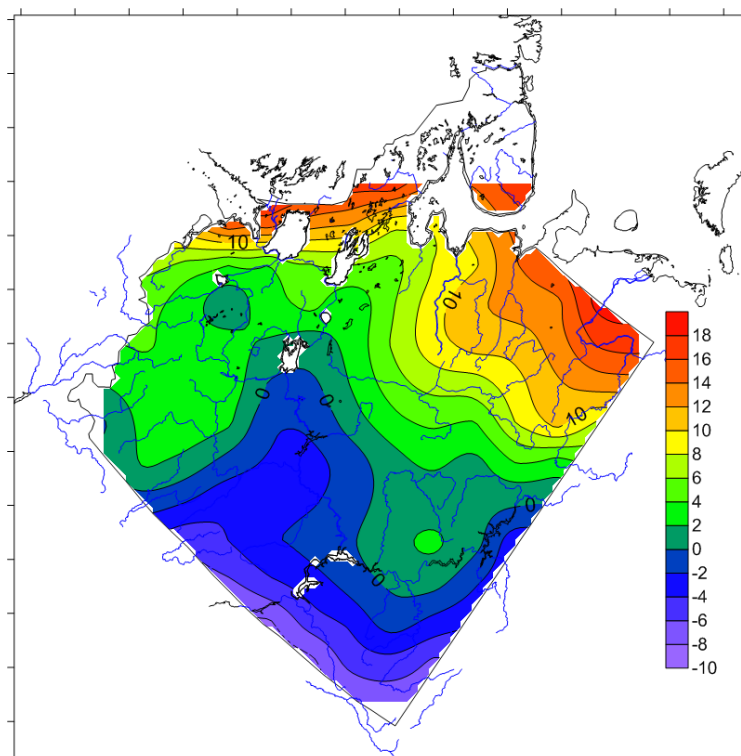


Рисунок 7В. Модель NaDCM3, сценарий SRA1B, отклонения прогнозных дат начала ледостава от фактических (количество суток от 1 октября) на период 2040-2069 гг.

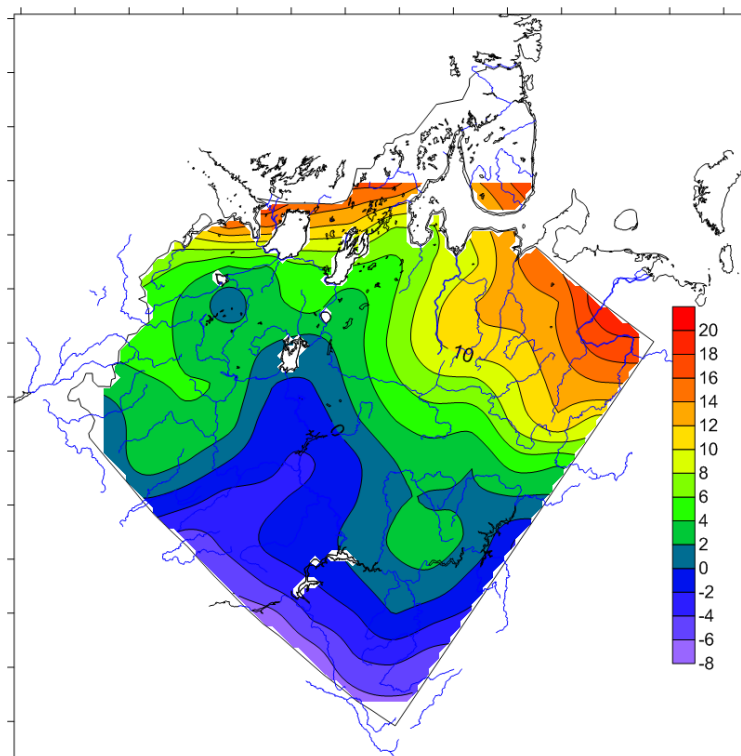


Рисунок 8В. Модель NaDCM3, сценарий SRA2, отклонения прогнозных дат начала ледостава от фактических (количество суток от 1 октября) на период 2040-2069 гг.

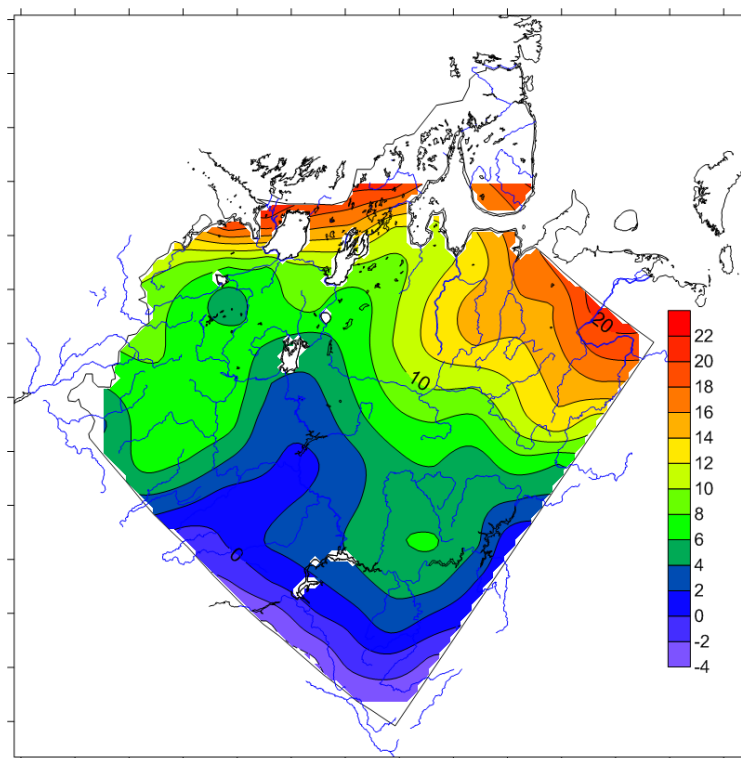


Рисунок 9В. Модель HaDCM3, сценарий SRB1, отклонения прогнозных дат начала ледостава от фактических (количество суток от 1 октября) на период 2040-2069 гг.

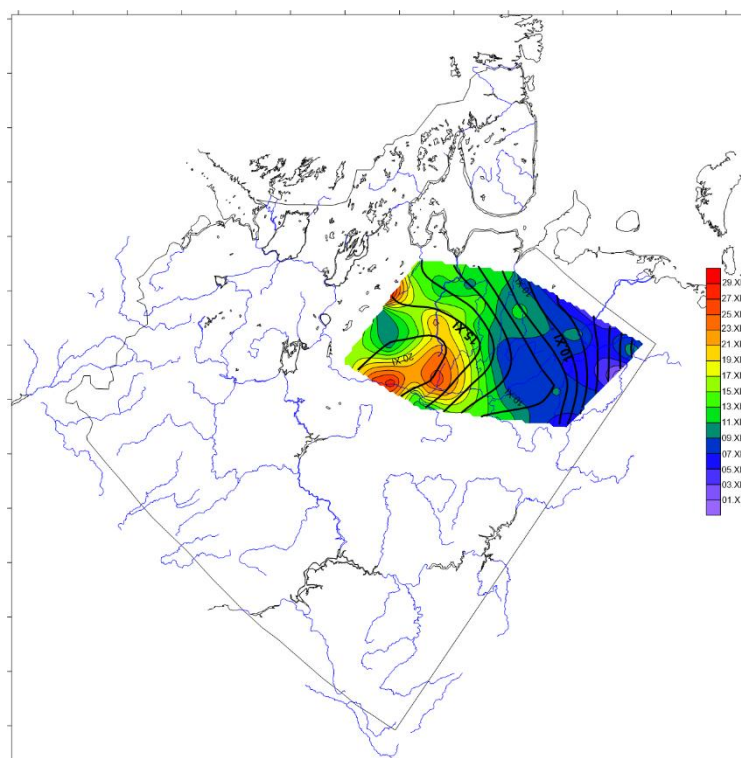


Рисунок 10В. Осредненные даты начала ледостава за период 1930-1970 гг. Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм (количество суток от 1 октября)

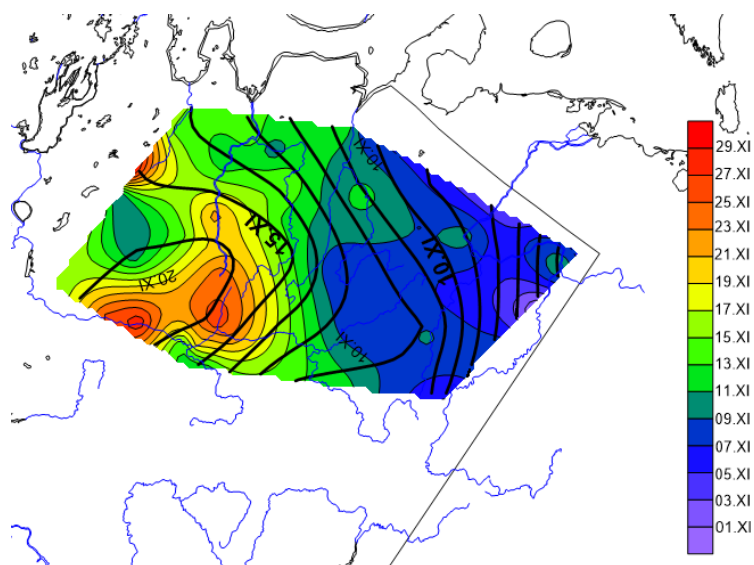


Рисунок 11В. Осредненные даты начала ледостава за период 1930-1970 гг.
(количество суток от 1 октября)

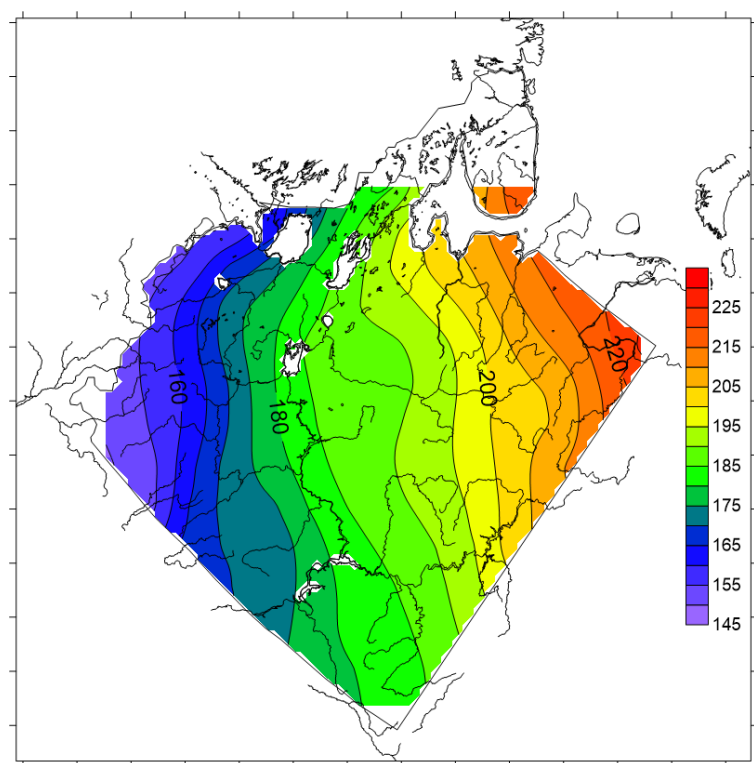


Рисунок 12В. Продолжительность ледостава. Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм
(количество суток от 1 октября)

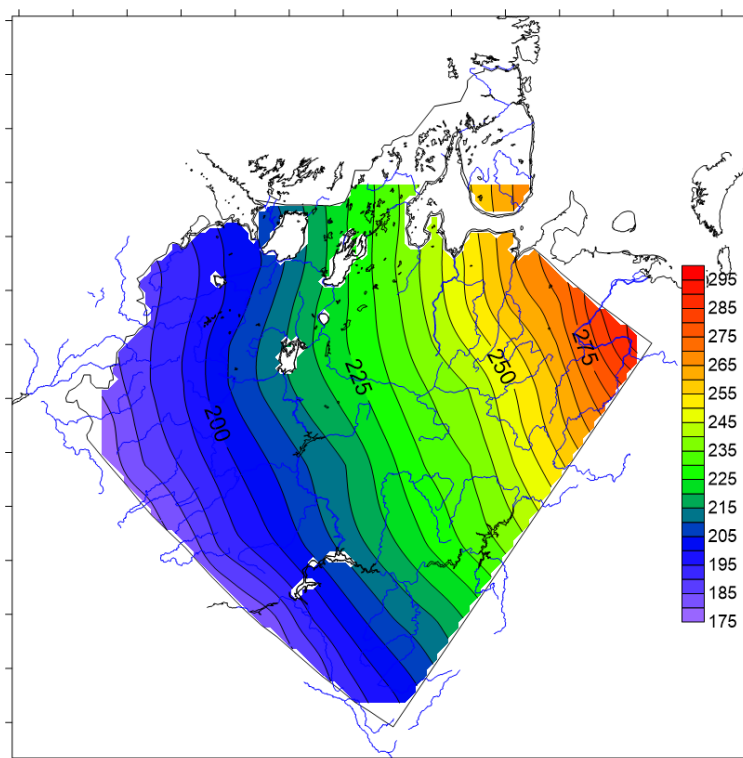


Рисунок 13В. Продолжительность ледостава. Commit

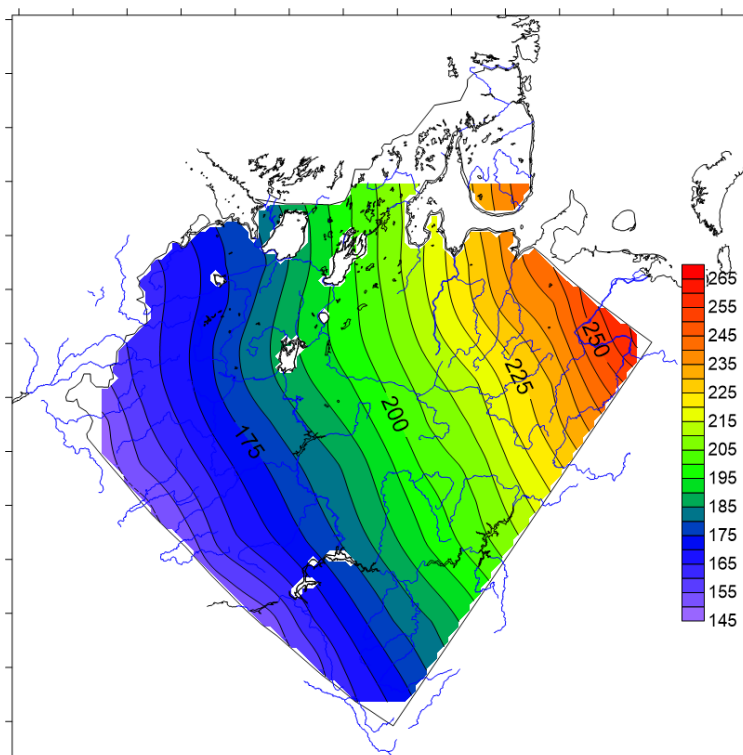


Рисунок 14В. Продолжительность ледостава. A1B

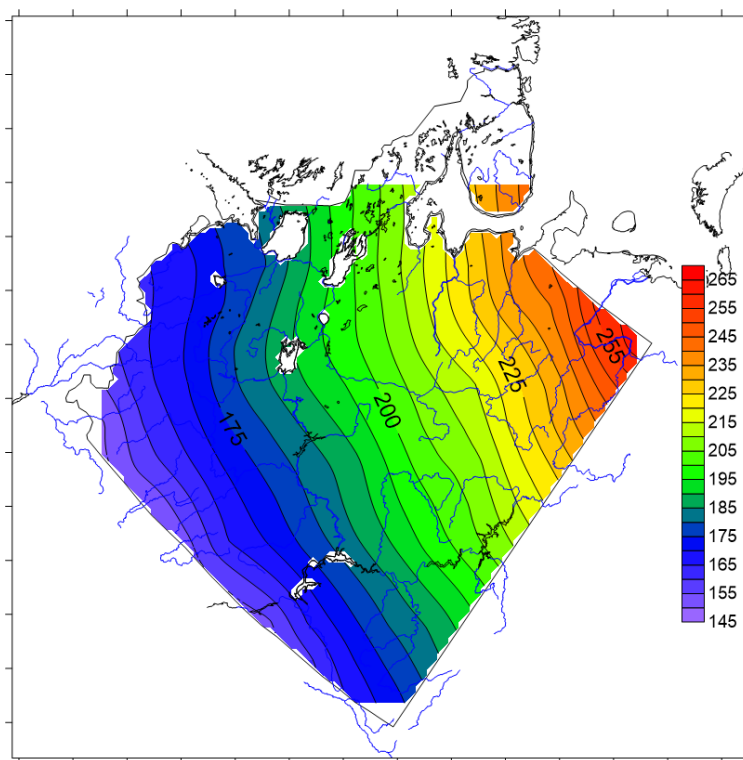


Рисунок 15В. Продолжительность ледостава. А2

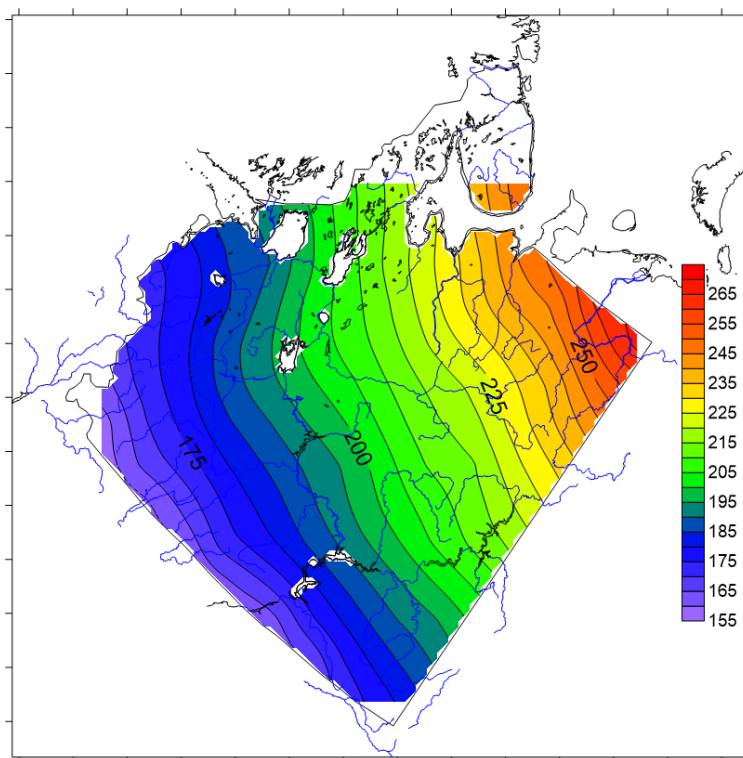


Рисунок 16В. Продолжительность ледостава.В1

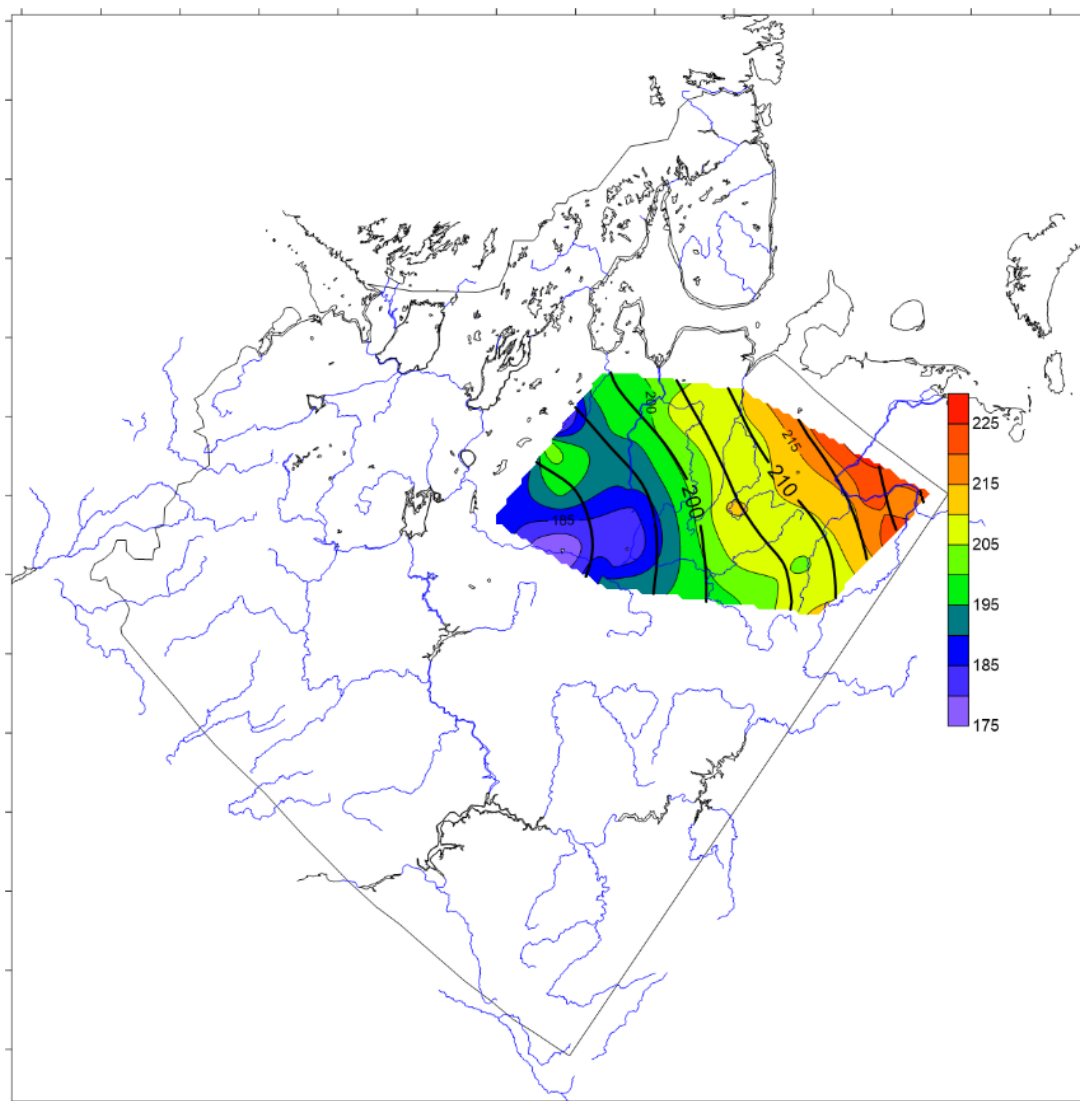


Рисунок 17В. Совмещенные графики дат установления ледостава по атласу расчетных гидрологических карт и номограмм

Карты вскрытия ледостава

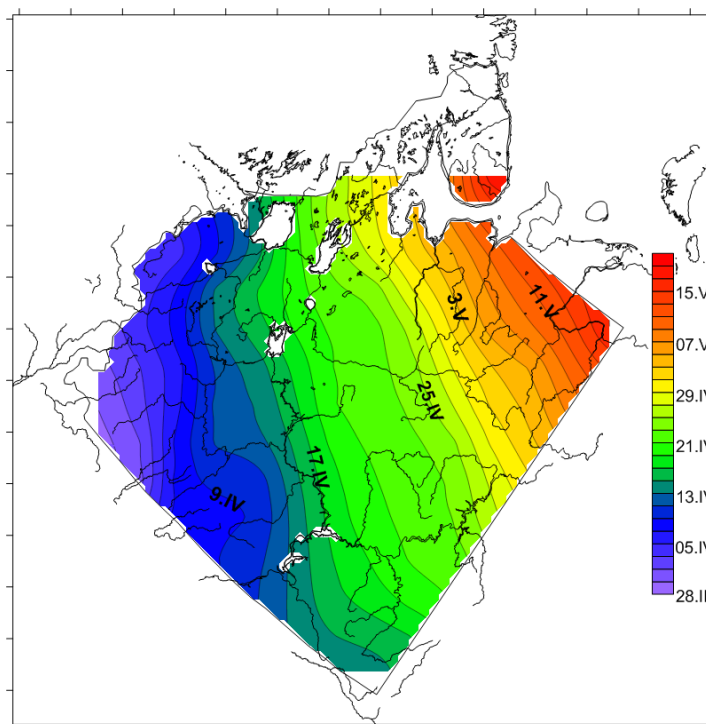


Рисунок 3Г. Даты начала весеннего ледохода. Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм

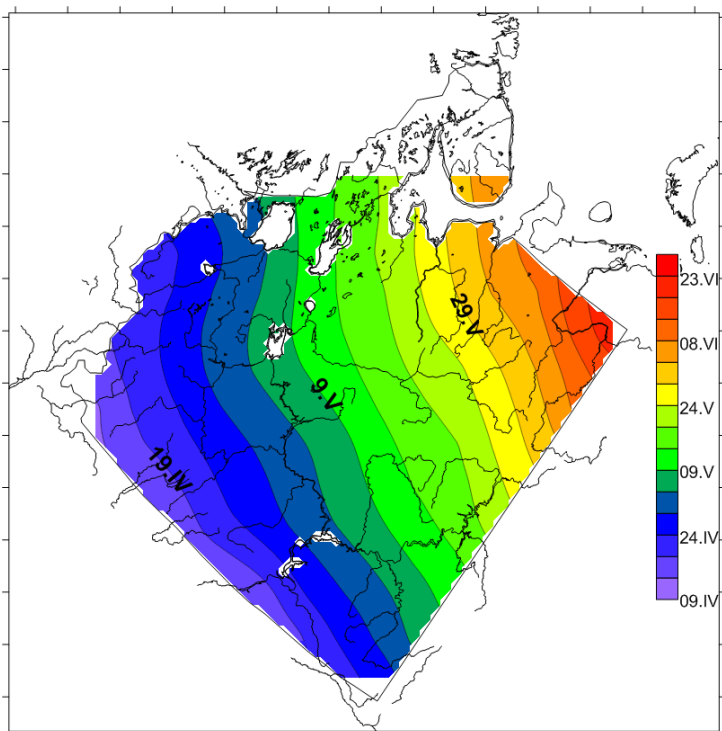


Рисунок 4Г. Прогнозные даты начала весеннего ледохода на период 2040-2069 гг. Модель NaDCM3, сценарий Commit

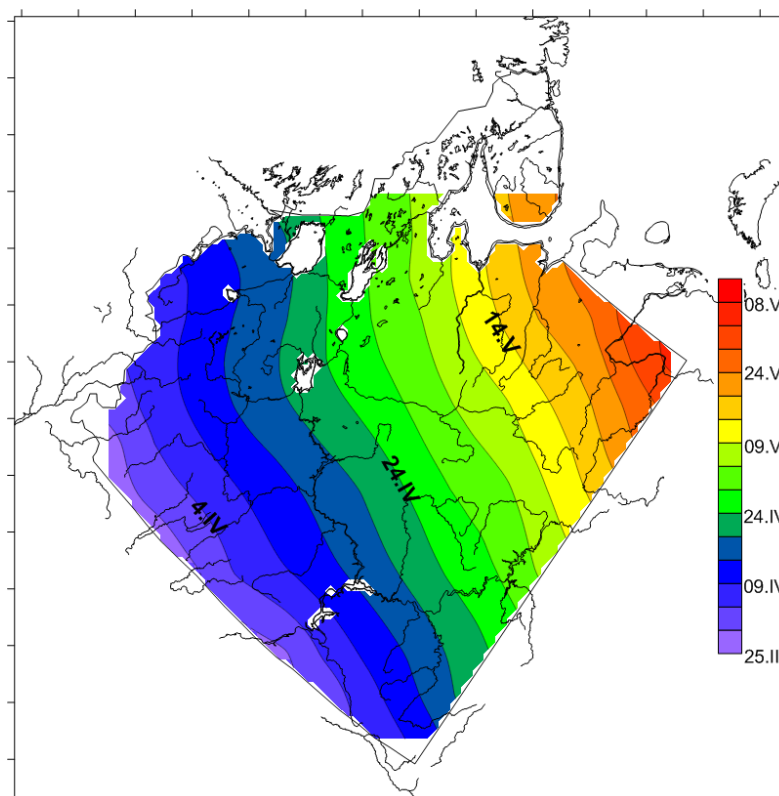


Рисунок 3Г. Прогнозные даты начала весеннего ледохода на период 2040-2069 гг. Модель NaDCM3, сценарий SRAB1

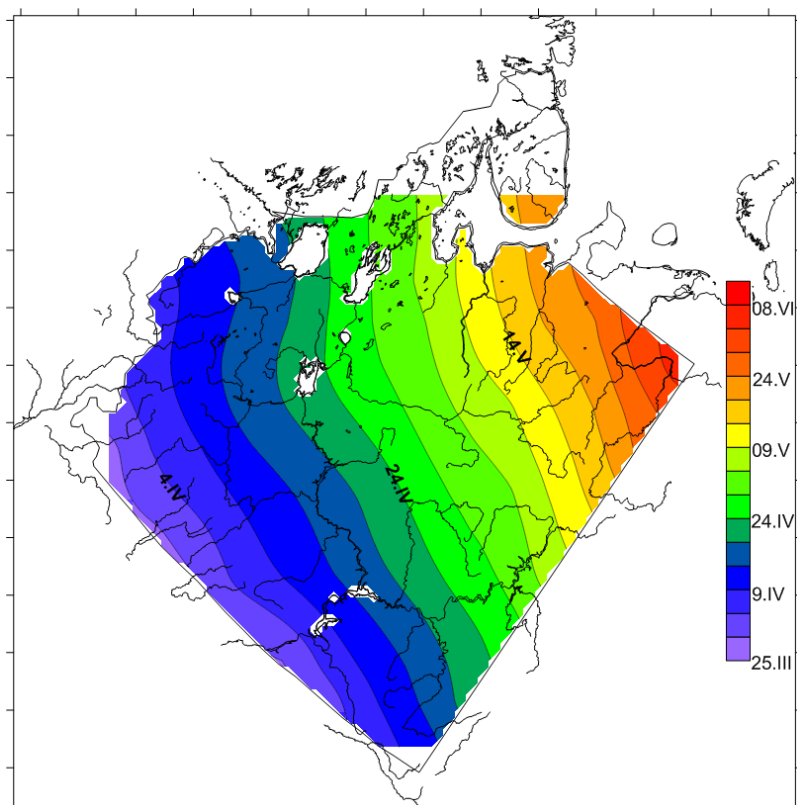


Рисунок 4Г. Прогнозные даты начала весеннего ледохода на период 2040-2069 гг. Модель NaDCM3, сценарий SRA2

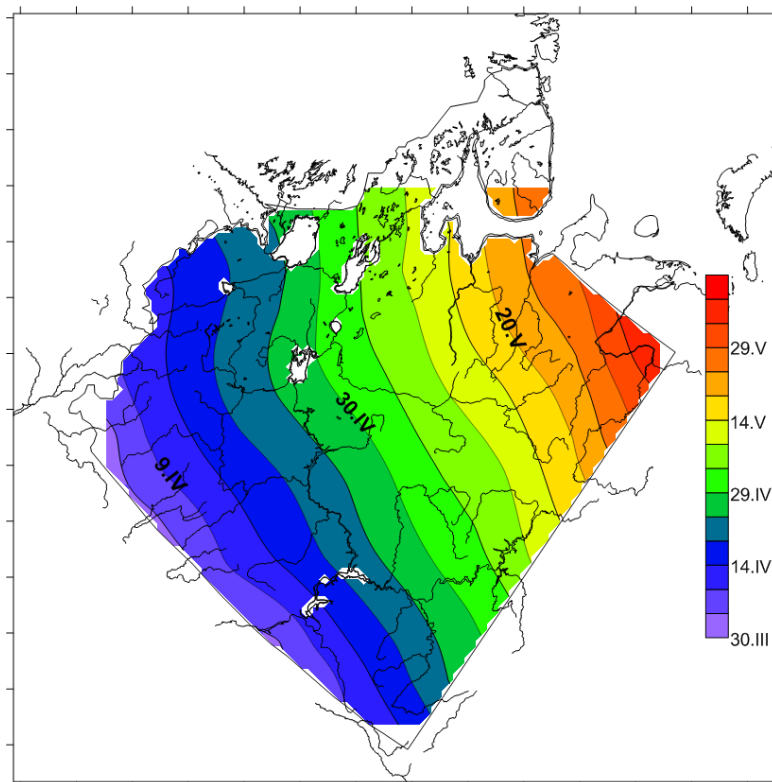


Рисунок 5Г. Прогнозные даты начала весеннего ледохода на период 2040-2069 гг. Модель HaDCM3, сценарий SRB1

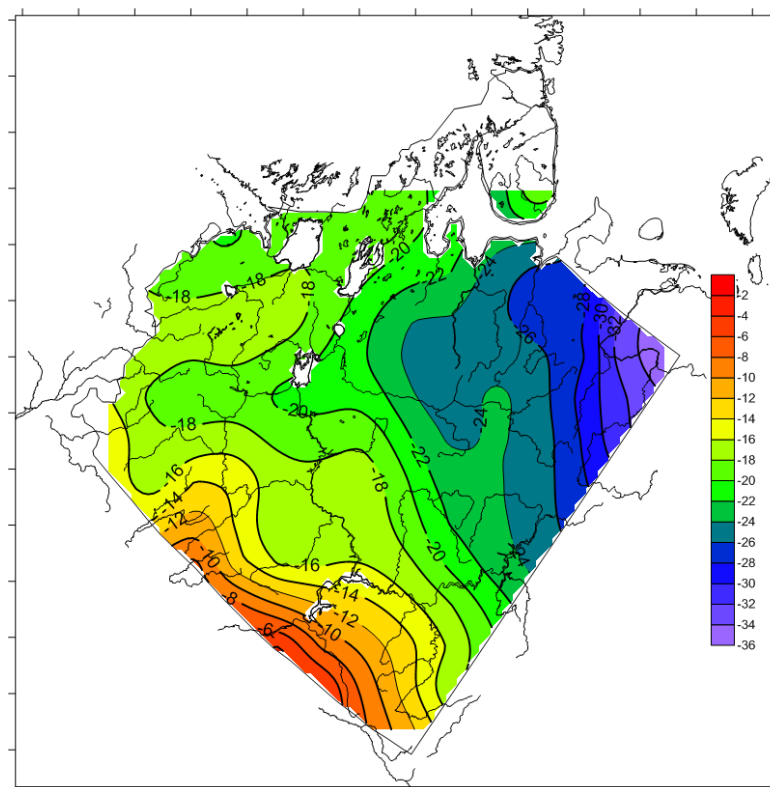


Рисунок 6Г. Модель HaDCM3, сценарий Commit

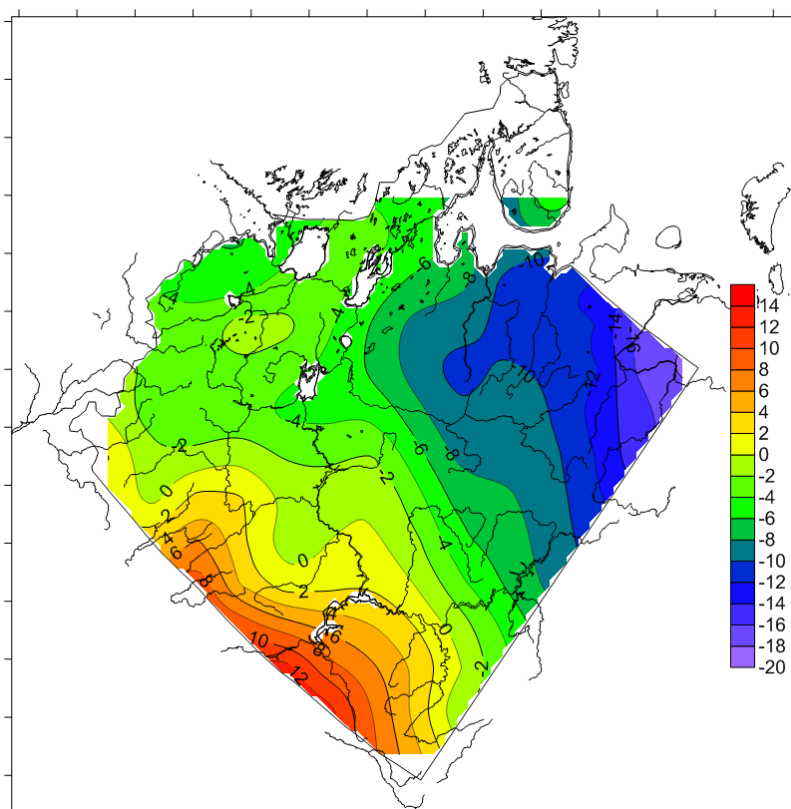


Рисунок 7Г. Модель NaDCM3, сценарий SRA1B

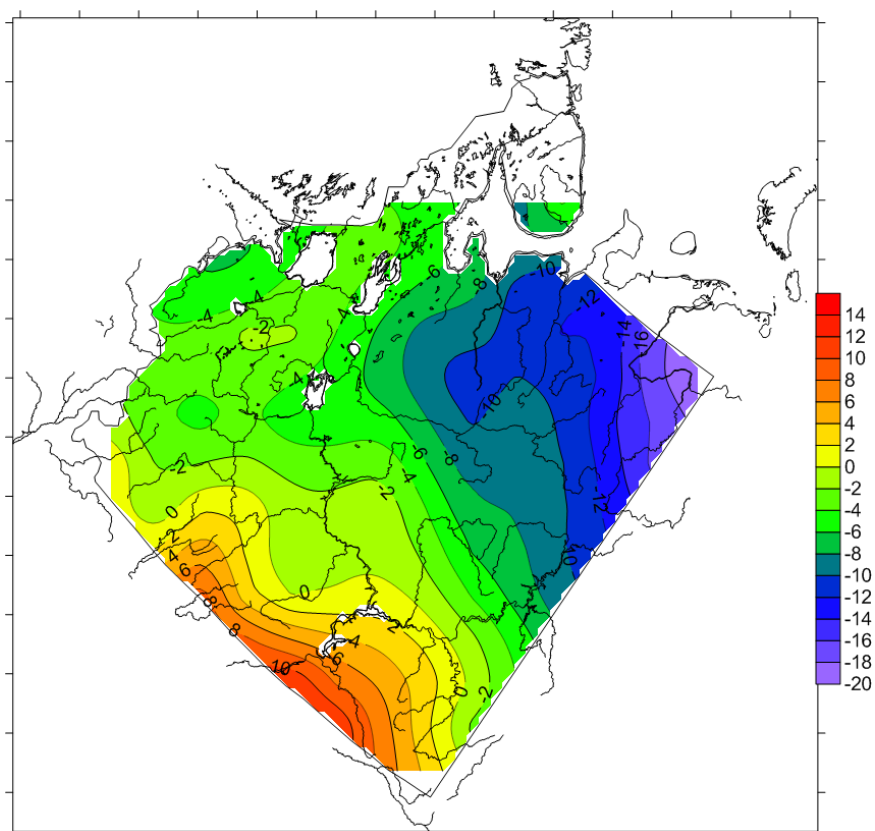


Рисунок 8Г. Модель NaDCM3, сценарий SRA2

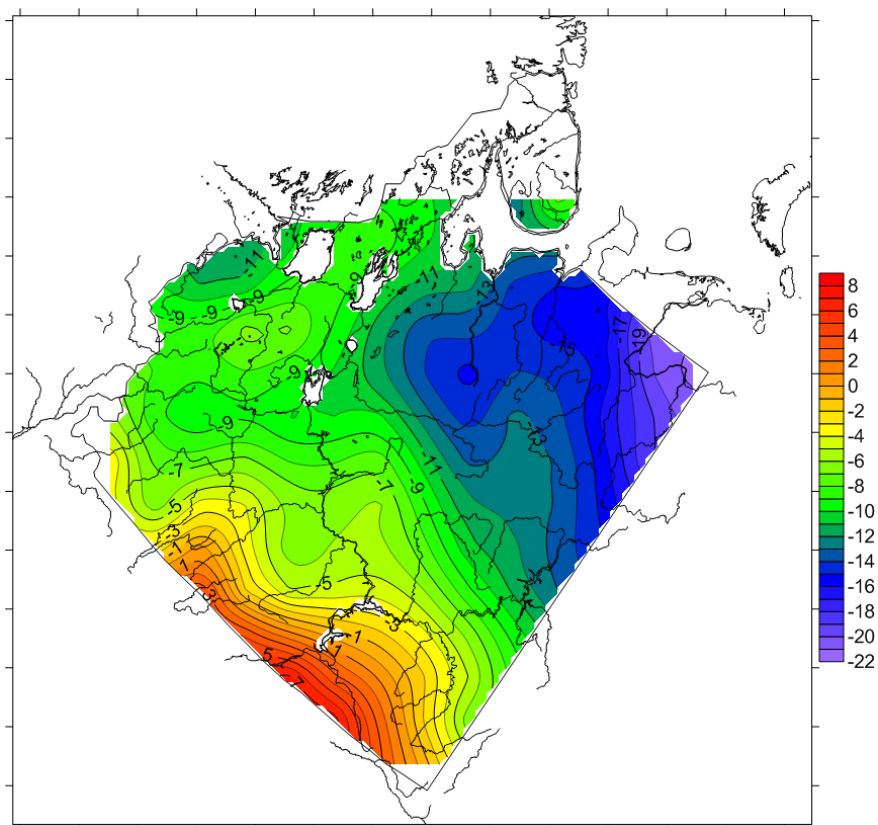


Рисунок 9Г. Модель НаDCM3 сценарий SRB1

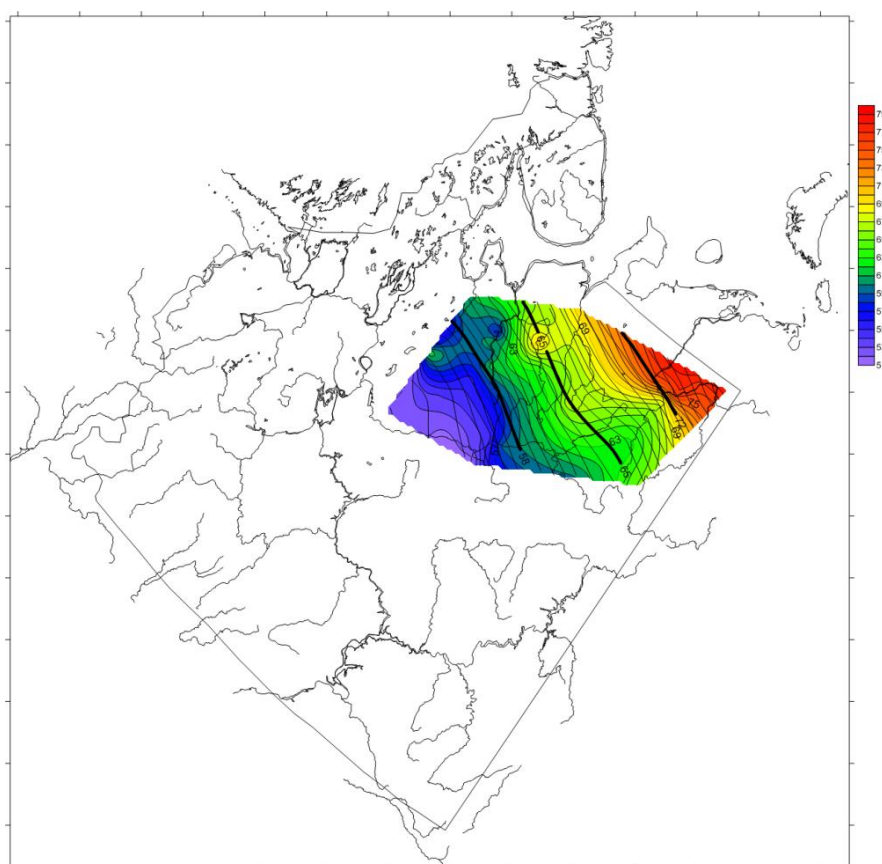


Рисунок 10Г. Осредненные даты начала весеннего ледохода за период 1930-1970 гг. + даты начала ледостава, взятые из атласа расчетных гидрологических карт и номограмм

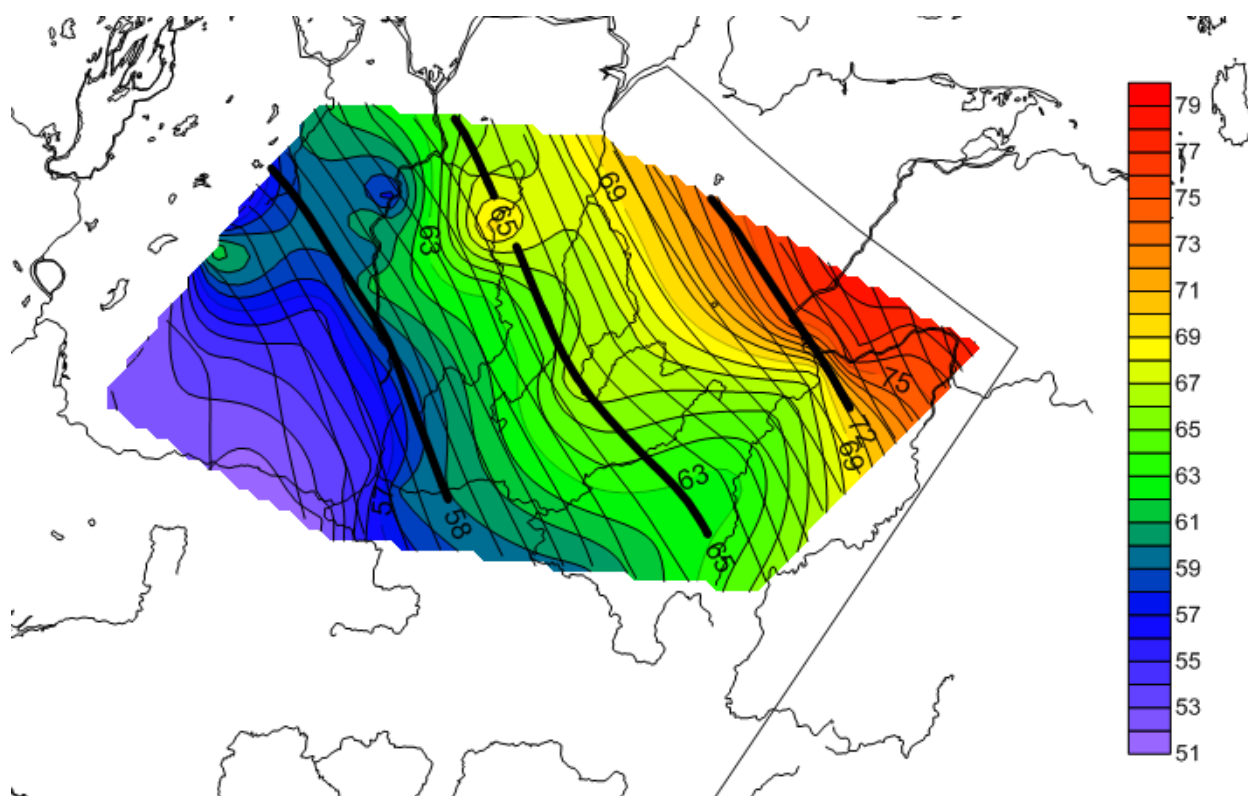


Рисунок 11Г. Осредненные даты начала весеннего ледохода за период 1930-1970 гг. + даты начала весеннего ледохода, взятые из атласа расчетных гидрологических карт и номограмм

Карты окончания ледовых явлений

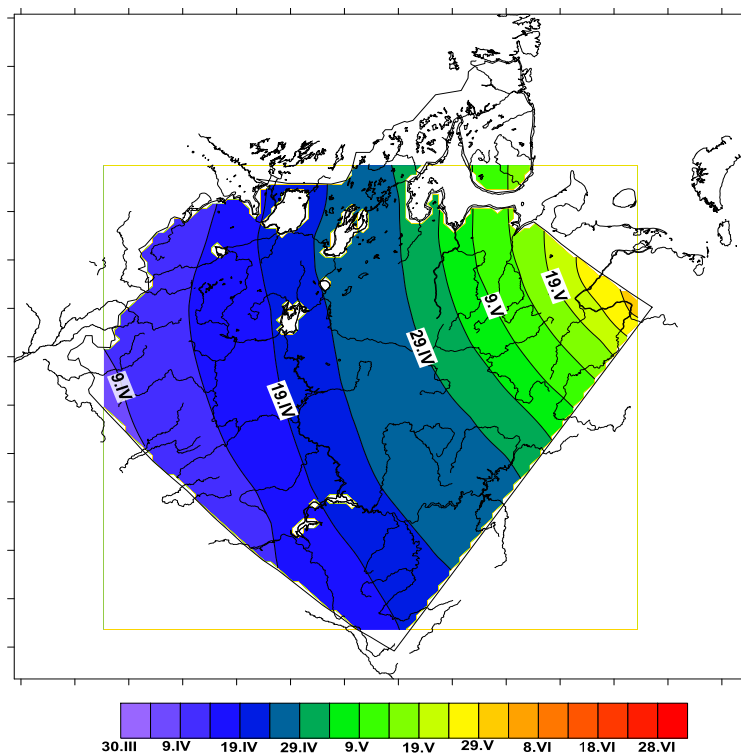


Рисунок 1Д. Даты окончания ледовых явлений. Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм

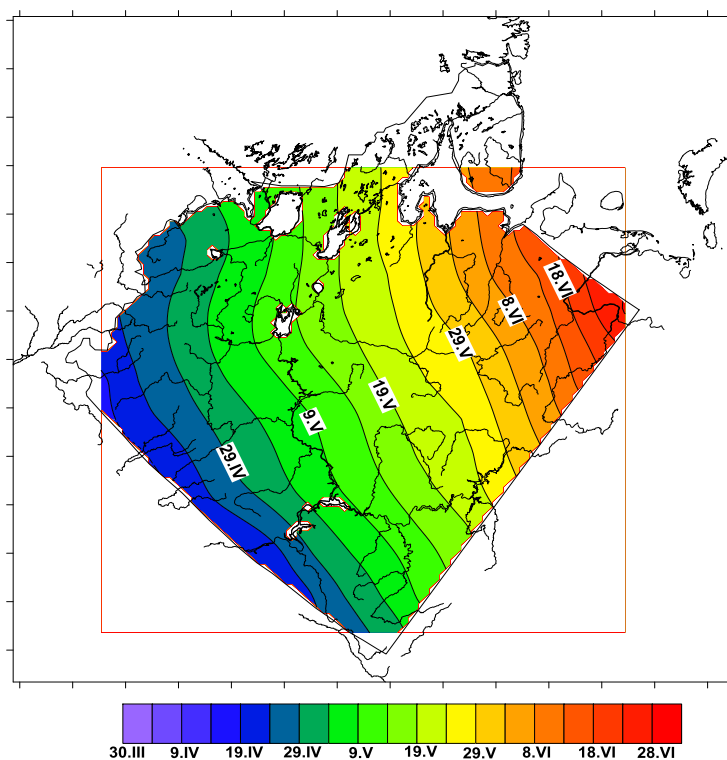


Рисунок 2Д. Прогнозные даты окончания ледовых явлений на период 2040-2069 гг. Модель NaDCM3, сценарий Commit

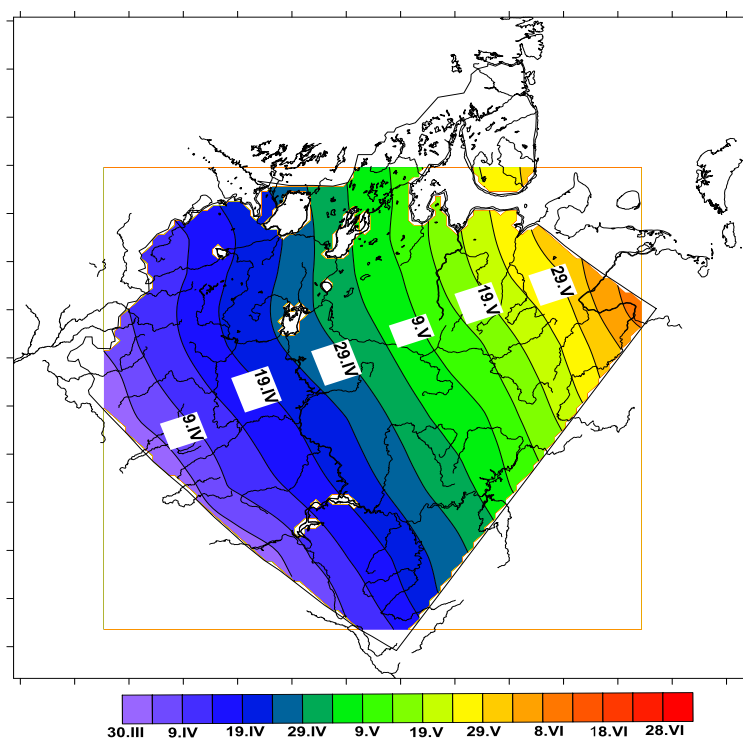


Рисунок 3Д. Прогнозные даты окончания ледовых явлений на период 2040-2069 гг. Модель NaDCM3, сценарий SRAB1

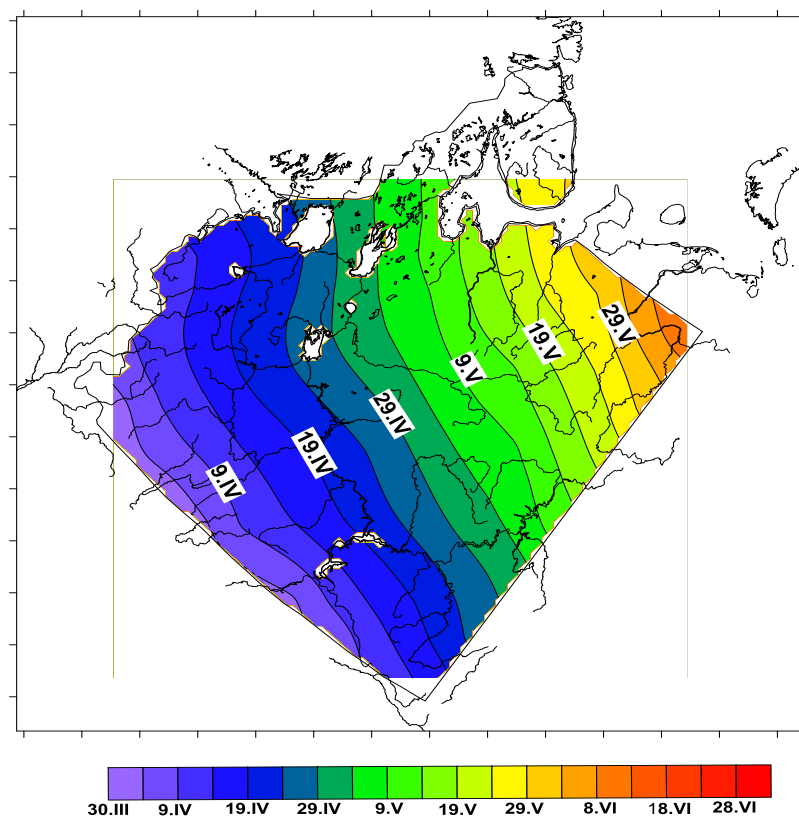


Рисунок 4Д. Прогнозные даты окончания ледовых явлений на период 2040-2069 гг. Модель HaDCM3, сценарий SRA2

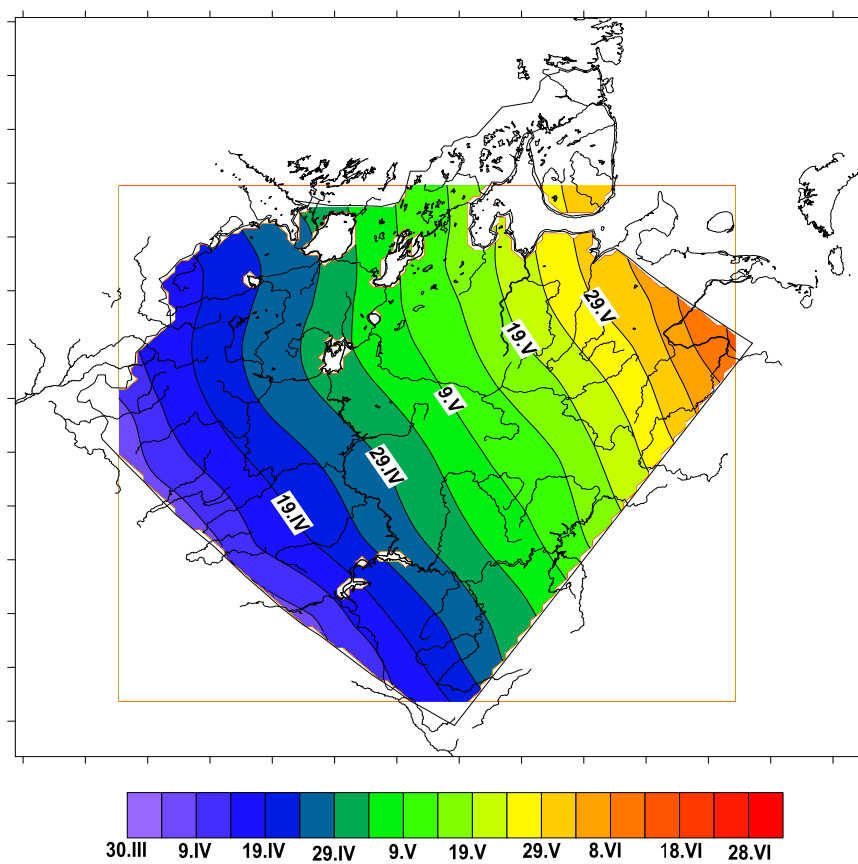


Рисунок 5Д. Прогнозные даты окончания ледовых явлений на период 2040-2069 гг. Модель NaDCM3, сценарий SRB1

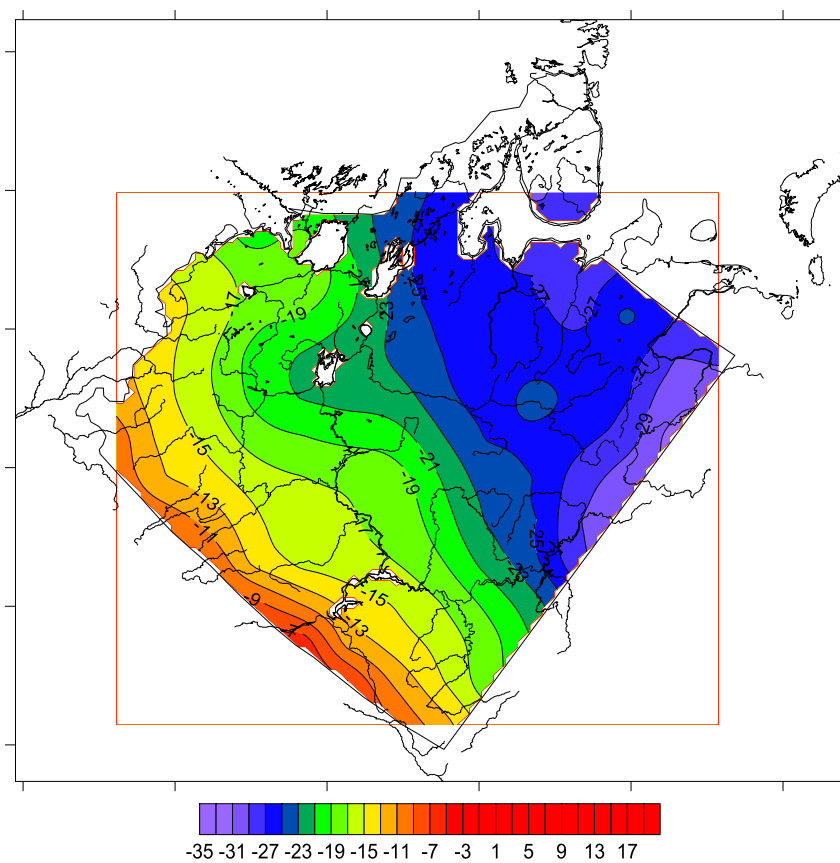


Рисунок 6Д. Модель NaDCM3, сценарий Commit

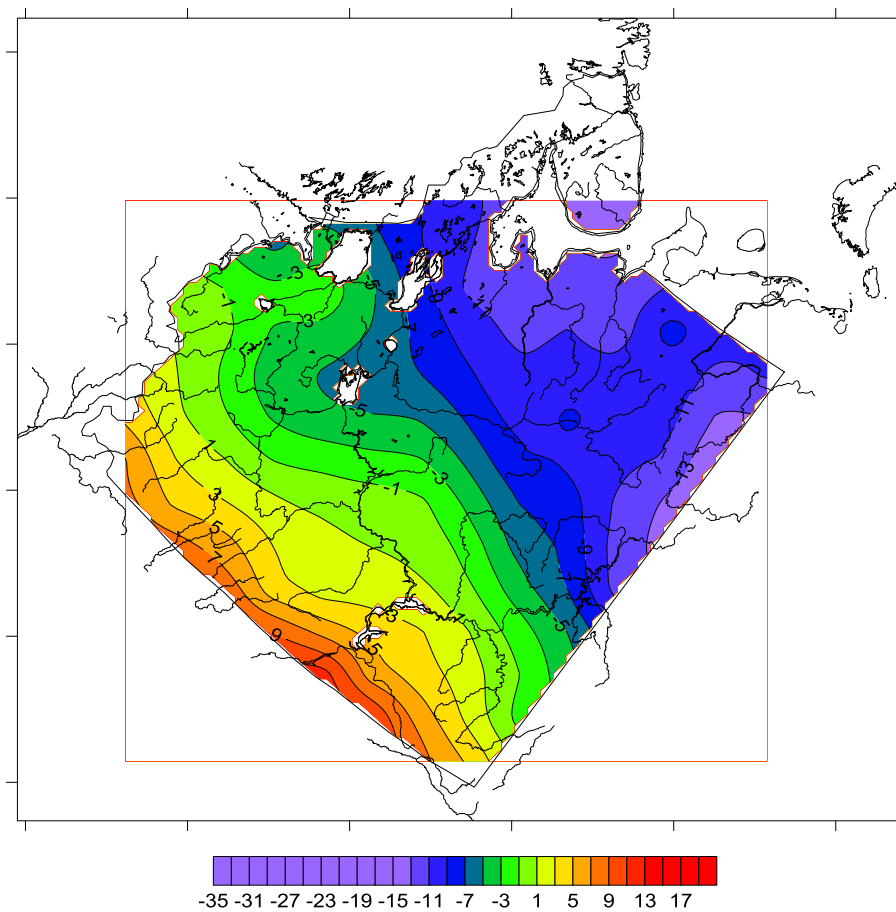


Рисунок 7Д. Модель NaDCM3, сценарий SRA1B

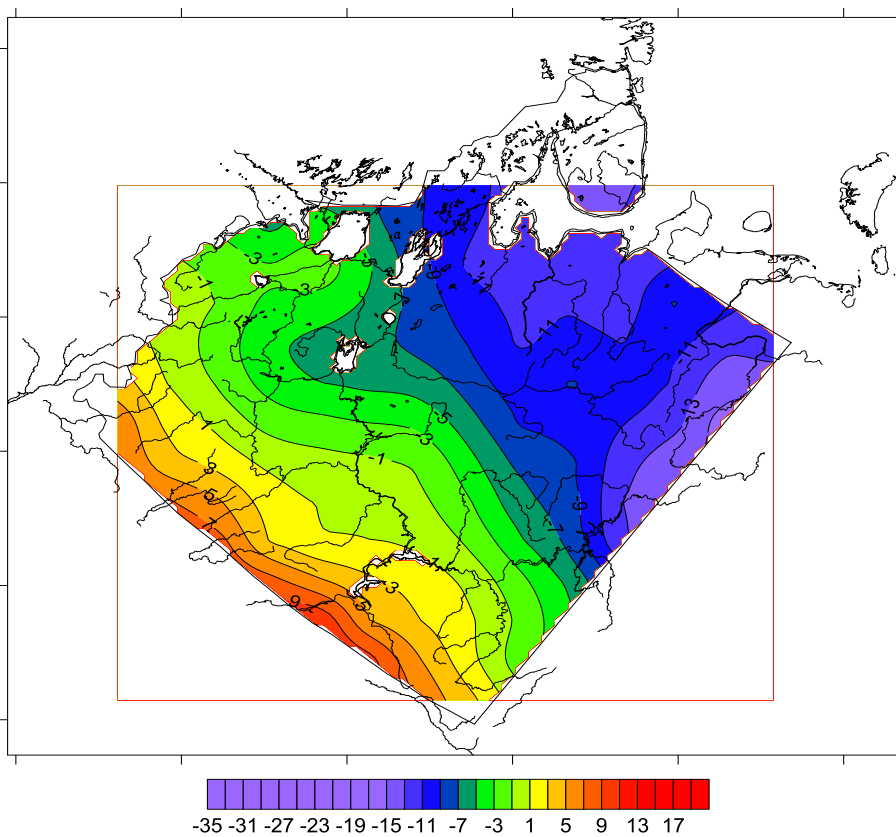


Рисунок 8Д. Модель HaDCM3, сценарий SRA2

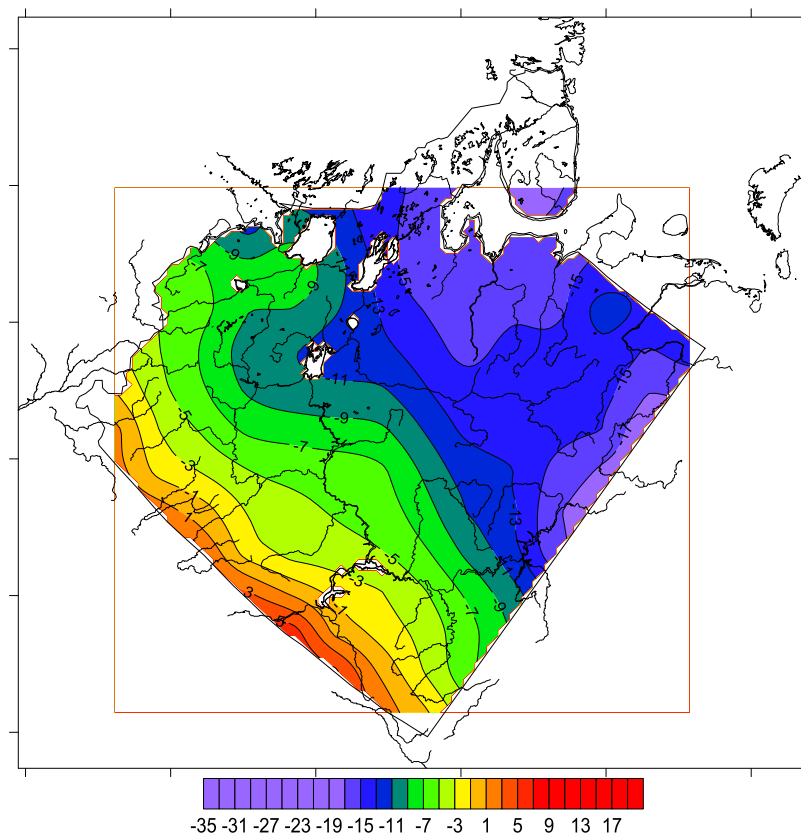


Рисунок 9Д. Модель HaDCM3, сценарий SRB1

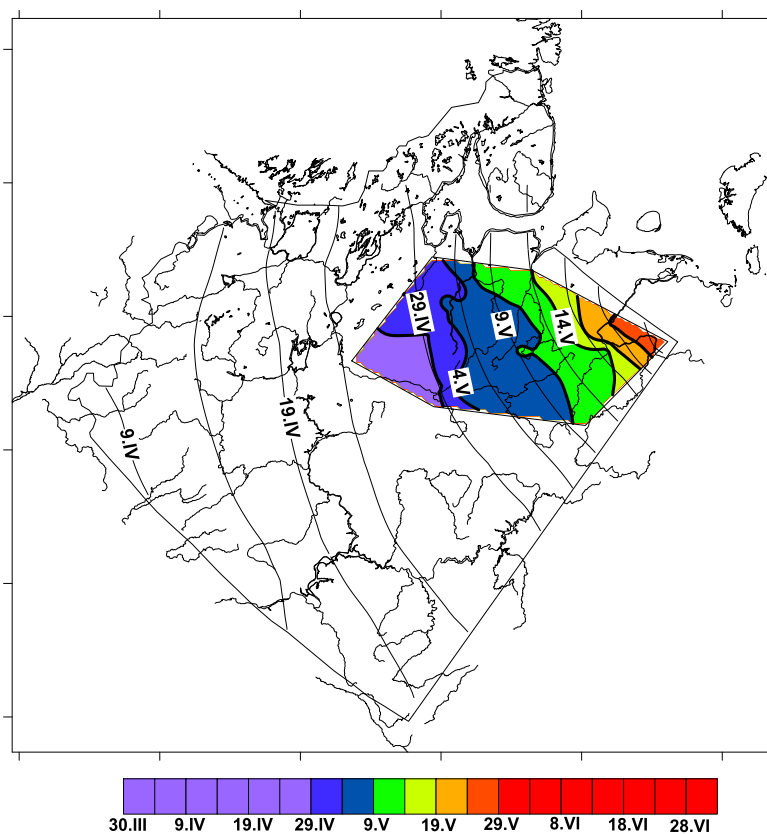


Рисунок 10Д. Осредненные даты окончания ледовых явлений за период 1930-1970 гг. + даты начала ледостава, взятые из атласа расчетных гидрологических карт и номограмм

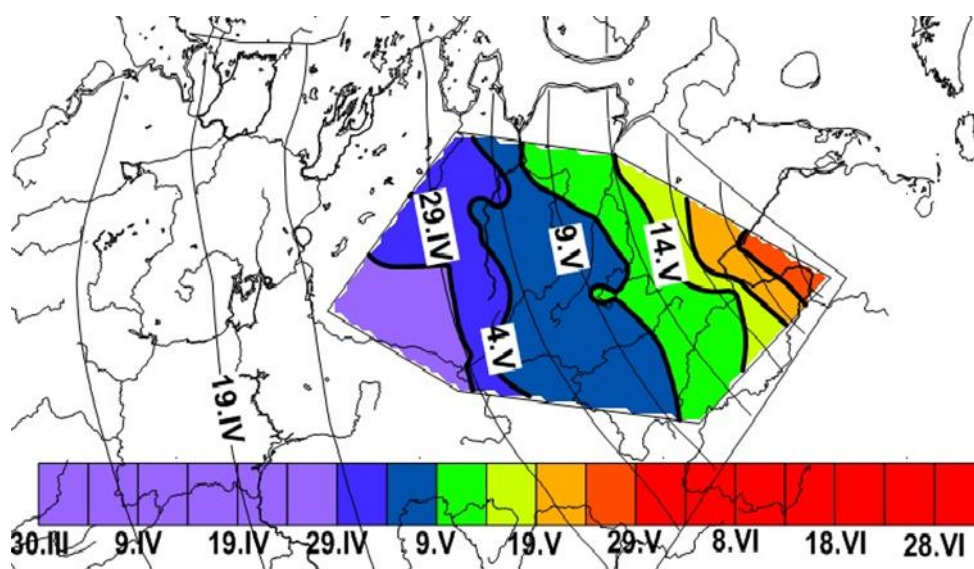


Рисунок 11Д. Осредненные даты окончания ледовых явлений за период 1930-1970 гг. + даты окончания ледовых явлений, взятые из атласа расчетных гидрологических карт и номограмм

