

**ВЛИЯНИЕ СЦЕНАРНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК**

Гайдукова Екатерина Владимировна

*канд. техн. наук, доцент Российского государственного
гидрометеорологического университета (РГГМУ),
195196, Россия, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98
E-mail: oderiut@mail.ru*

**INFLUENCE OF SCENARIO CLIMATIC FACTORS
ON MINIMAL RIVER RUNOFF**

Ekaterina Gaidukova

*Candidate of Engineering sciences, associate professor
of Russian State Hydrometeorological University (RSHU),
195196, Russia, St. Petersburg, Malookhtinsky ave., 98*

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена исследованию влияния таких климатических факторов, как норма осадков и норма температуры приземного воздуха на летне-осенний и зимний минимальный 30-суточный сток. Характеристики минимального стока используются в таких секторах экономики, как гидроэнергетика, биотехнологии, водный транспорт, сельское хозяйство, строительное проектирование, мелиорация и рыбное хозяйство. В связи с происходящими климатическими изменениями актуальной становится проблема оценки последствий этих изменений для водозависимых отраслей экономики. В статье сделаны сценарные оценки вероятностных характеристик минимального стока с бассейнов Российской Федерации при климатических изменениях, в результате которых выявлены аномальные зоны формирования минимального стока для наиболее ожидаемых климатических сценариев. Получено,

что большая часть рассматриваемой территории находится в благоприятных зонах по норме минимального стока (области аномалий совпадают для летне-осеннего и зимнего минимального стока – часть бассейна р. Оби, бассейны верхних течений рек Енисей и Лена, бассейн р. Индигирки). Зоны аномалий по коэффициенту вариации для летне-осеннего минимального стока распространятся в основном в верхнем течении р. Оби, верхнем и среднем течении рек Лена и Енисей, в бассейне реки Индигирка. К наиболее опасным зонам по коэффициентам вариации зимнего стока относятся верхнее течение Оби, Забайкалье, бассейн р. Индигирки и Камчатка.

ABSTRACT

The article investigates the influence of climatic factors such as norms of rain and temperature to the summer-autumn and winter 30-day minimum runoff. Characteristics of minimum runoff are used in sectors such as hydropower, biotechnology, water transport, agriculture, construction design, reclamation and fisheries. In connection with the ongoing climate change urgent problem of assessing the implications of these changes is becoming for the water-dependent industries. A scenario estimate of probability characteristics of minimum runoff from the basin of the Russian Federation to the climate change is made in the article. And anomalous zones of minimum runoff are identified for most of the expected climate scenarios. It was found that most of the study area is located in favorable areas for the norm of minimum runoff. Zones of anomalies coincide for the summer-autumn and winter minimum runoff. These are part of the river basin of Ob, upper reaches of the rivers Yenisei and Lena, river basin of Indigirka. Zones of anomalies for coefficient of variation for the summer-autumn runoff extend, mainly in the upper reaches of the river Ob, upper and middle reaches of the rivers Lena and the Yenisei, river basin of Indigirka. The most dangerous areas of the coefficients of variation of winter runoff are upper reaches of the Ob, basins of Baikal, Indigirka and Kamchatka.

Ключевые слова: климатические сценарии, летне-осенний минимальный сток, зимний минимальный сток, сценарная оценка, аномальные зоны.

Keywords: climate scenarios, summer and autumn minimum flow, winter minimum flow, scenario evaluation, anomalous zones.

Введение

Статья посвящена исследованию влияния климатических факторов (нормы осадков и температуры приземного воздуха) на летне-осенний и зимний 30-суточный минимальный сток. В связи с происходящими климатическими изменениями актуальной становится проблема оценки последствий этих изменений для водозависимых отраслей экономики. Характеристики минимального стока используются в таких секторах экономики, как гидроэнергетика, биотехнологии, водный транспорт, сельское хозяйство, строительное проектирование, мелиорация и рыбное хозяйство.

Например, для гидроэнергетики характеристики минимального стока учитываются при расчете объема водохранилищ сезонного регулирования. Для этих расчетов знание прогнозных норм минимального стока позволит, например, скорректировать диспетчерские графики с точки зрения назначения уровня мертвого объема. Особенно это актуально для проектируемых гидроэнергетических сооружений, так как их эксплуатация начнется уже в новых климатических условиях. Биотехнологии, в частности рыбному хозяйству, необходимо знание не только прогнозных норм минимального стока, но и коэффициентов вариации. Эти показатели позволяют регулировать уровненный режим в период нереста и спуска молодняка в гидротехнических сооружениях, встречающихся на пути полупроходных и проходных рыб в водных объектах и рыбоходах. Водный (речной) транспорт заинтересован в знании затрат на обеспечение судоходности рек, которые непосредственно связаны с характеристиками минимального стока. При функционировании речных путей необходимо проведение русловых работ, затраты на которые возможно оценить с учетом прогнозных значений характеристик минимального

стока. При проектировании новых судоходных систем встает вопрос о целесообразности их появления при различных климатических сценариях.

Исходные данные и методика исследования

База данных была сформирована по изданиям водного кадастра [2], в нее вошли ряды наблюдений за минимальным стоком до 1980 года; примерно с этого года начинаются статистически значимые тренды по средним показателям стока, связанные предположительно с изменениями климата [5]. На рис. 1 представлена схема расположения гидрологических станций наблюдений, учитываемых в данном исследовании, за летне-осенним (386 постов) и зимним (272 поста) 30-суточным минимальным стоком. Площадь рассматриваемых речных бассейнов ограничена зональными условиями формирования стока.

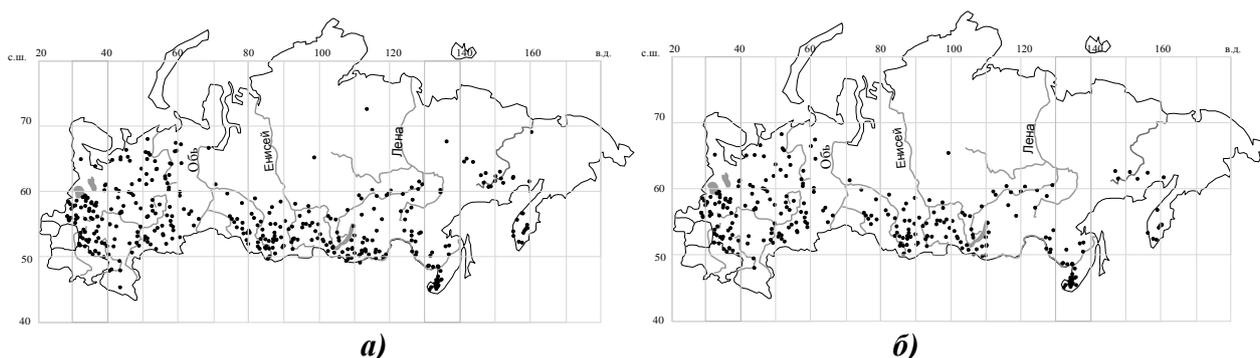


Рисунок 1. Расположение гидрологических станций наблюдений за летне-осенним (а) и зимним (б) минимальным стоком

В исследовании использовалась информация по норме осадков, которая была получена из источника [6]. Норма годовых осадков необходима для вычисления коэффициента минимального стока.

Для исследования влияния климатических факторов (норм осадков и температуры приземного воздуха) на минимальный сток рассматривались сценарии четвертого доклада: «неполитический» сценарий – Commit и «политические» сценарии – A1B, A2, B1.

Сценарий Commit – это так называемый идеальный сценарий, по которому скорость изменения концентрации парниковых газов будет идентична подобной скорости, характерной для XX века. Сценарий A1B характеризует

очень быстрое развитие технологий, использующих источники энергии, приводящие к снижению концентрации парниковых газов к середине XXI столетия. По сценарию A2 тоже происходит экономический рост, но в отдельных странах, не приводящий к развитию новых технологий. Сценарий B1 похож на сценарий A1B, только с большей скоростью роста экономики и технологий.

В качестве модели используется модель HadCM3, которая разработана Метеорологическим центром Великобритании [6]. Эта модель рекомендуется для оценки изменений водных ресурсов [4].

При долгосрочном прогнозе вероятностных характеристик минимального стока использовалась методика [3], основанная на системе уравнений для моментов, аппроксимирующая модель формирования стока в виде уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова, которое приведено к виду, справедливому для стационарных случайных процессов (уравнению Пирсона), но с коэффициентами, непосредственно связанными с факторами формирования стока [1]. В данном случае использовался упрощенный (для практических целей) вариант системы, который подразумевает: стационарный режим случайного процесса формирования стока; отсутствие внутренних и взаимных шумов системы (это необходимо для получения устойчивых решений в текущем и в ожидаемом климате); постоянство соотношения коэффициентов вариации и асимметрии, а также неизменность интенсивности климатического шума ($G_{\tilde{N}}$) при изменении климата. При таких допущениях система имеет следующий вид [3]:

$$\begin{aligned} -\bar{c}m_1 + \bar{N} &= 0; \\ -2\bar{c}m_2 + 2\bar{N}m_1 + G_{\tilde{N}} &= 0, \end{aligned} \tag{1}$$

где: \bar{c} – математическое ожидание параметра, обратного коэффициенту минимального стока;

m_1 , m_2 – первый и второй начальные моменты, зная которые, можно определить норму и коэффициент вариации стока;

\bar{N} – норма осадков (соотношение между коэффициентами вариации и асимметрии в новых климатических условиях принималось таким же, как и для современных условий).

В качестве внешнего воздействия использовались прогнозные нормы осадков климатических сценариев Commit, A1B, A2, B1, отнесенные к центру водосбора. На рис. 2 для примера показано в виде графиков отличие фактических значений норм осадков и температуры воздуха от прогнозных. Выявлена общая закономерность в уменьшении норм осадков по всем рассматриваемым сценариям. Для бассейнов, расположенных в зонах избыточного и достаточного увлажнения, норма уменьшится в среднем на 60 %, для бассейнов в зоне недостаточного увлажнения норма осадков уменьшится несущественно, в среднем на 20 %. Нормы температуры помогают отслеживать физическую сторону изменения минимального стока в новых климатических условиях. Выявлено, что по температурному прогнозу сценарий Commit отличается от «политических» сценариев. По сценарию Commit, общей тенденции по увеличению нормы температуры не наблюдается: для бассейнов рек, расположенных в южных частях рассматриваемой территории, норма температуры уменьшится в среднем на 25 %, на остальной территории – увеличится в среднем на 12 %. Для сценариев A1B, A2, B1 прогнозируется увеличение нормы температуры практически для всей рассматриваемой территории в среднем на 10 %, но есть и локальные области с увеличенной прогнозной нормой температуры.

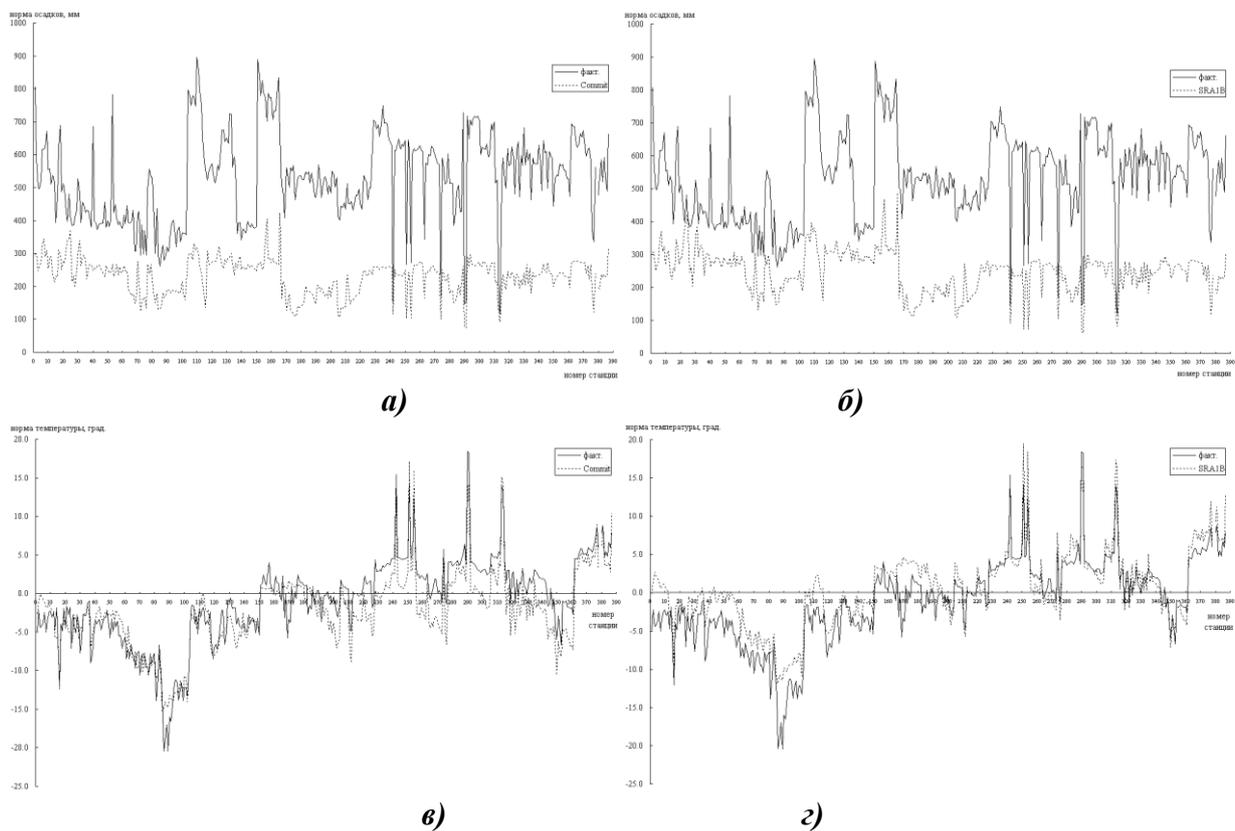


Рисунок 2. Нормы осадков (а, б) и температуры воздуха (в, г) по климатическим сценариям

Результаты исследования

С использованием климатических сценариев выполнен прогноз вероятностных характеристик минимального стока. Получено, что норма летне-осеннего минимального стока уменьшится по всем рассмотренным сценариям. Значительное увеличение стока будет наблюдаться в бассейнах рек Индигирка, в верхнем течении Лены и Енисея, а также в бассейне реки Печора. Относительно значимые отличия между численными значениями норм стока по четырем сценариям прогнозируются в бассейнах рек Дальнего Востока и Северного края.

Прогнозные нормы зимнего минимального стока практически не отличаются по сценариям Comit, A1B, A2, B1. Разница сценарных норм от фактических наблюдается для бассейнов рек Камчатки, а также на севере Европейской территории России – бассейны рек Печора, Западная Двина. Разница в нормах достигает 50 мм, в среднем разница составляет 25 мм.

Для летне-осеннего минимального стока прогнозные коэффициенты вариации распределяются неравномерно: есть локальные бассейны, в которых значение коэффициента вариации достигает 2,5–3,5. К таким бассейнам относятся водосборы верхнего течения р. Оби и нижнего течения р. Лены. По сравнению с Commit сценарии A1B, A2, B1 прогнозируют меньшие значения коэффициентов вариации в верхнем течении р. Оби и на реках Камчатки. По сценариям A1B, A2, B1, в Северном крае появляются локальные водосборы с коэффициентами вариации менее 0,25.

Прогнозные коэффициенты вариации зимнего минимального стока отличаются от фактических в Восточной Сибири, на юге Европейской территории России (ЕТР) и в нижнем течении бассейна р. Оби. Сценарии A1B, A2, B1 дают практически одинаковую картину распределения коэффициента вариации.

Наибольший практический интерес представляют карты распространения аномальных зон для нормы и коэффициента вариации, представленные на рис. 3, 4. Под аномальными зонами формирования минимального стока понимаются зоны, в которых отклонение прогнозных значений от фактических для нормы, составляет больше 20 %, для коэффициента вариации – 40 %.

Большая часть рассматриваемой территории находится в неаномальных зонах по норме по всем четырем сценариям: Commit, A1B, A2, B1. Отклонения прогнозных норм остаются в пределах 20 %. Области аномалий, в которых отклонения достигают 60 %, совпадают для летне-осеннего и зимнего минимального стока. К таким областям относятся часть бассейна р. Оби, бассейны верхних течений рек Енисей и Лена, бассейн р. Индигирки, отклонения достигают 80 %. Следует ожидать появление локальных неблагоприятных областей для каждого сценария в основном на юге рассматриваемой территории. К благоприятным зонам можно отнести бассейны рек Европейской территории России, часть бассейна р. Оби и бассейны рек Дальнего Востока.

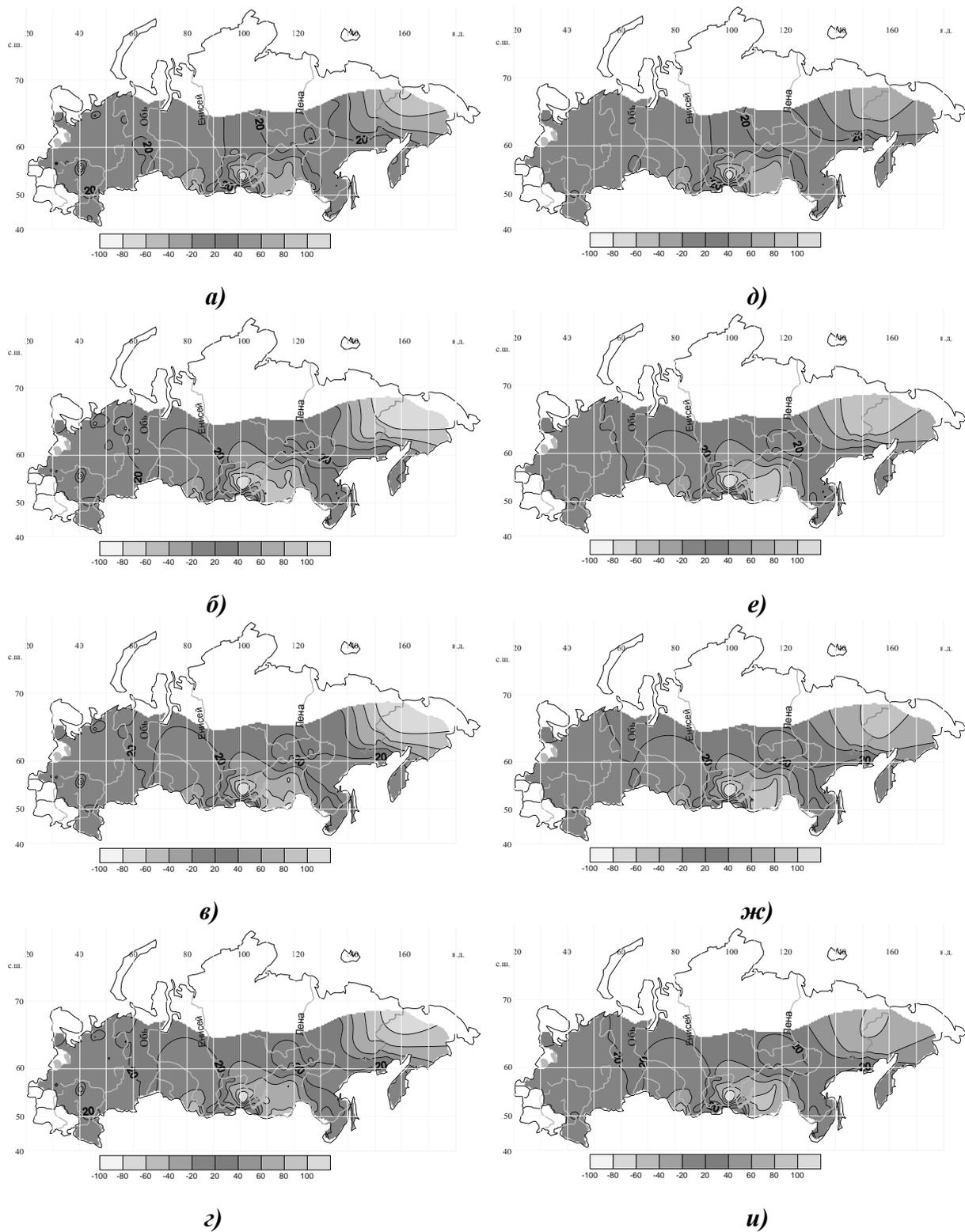


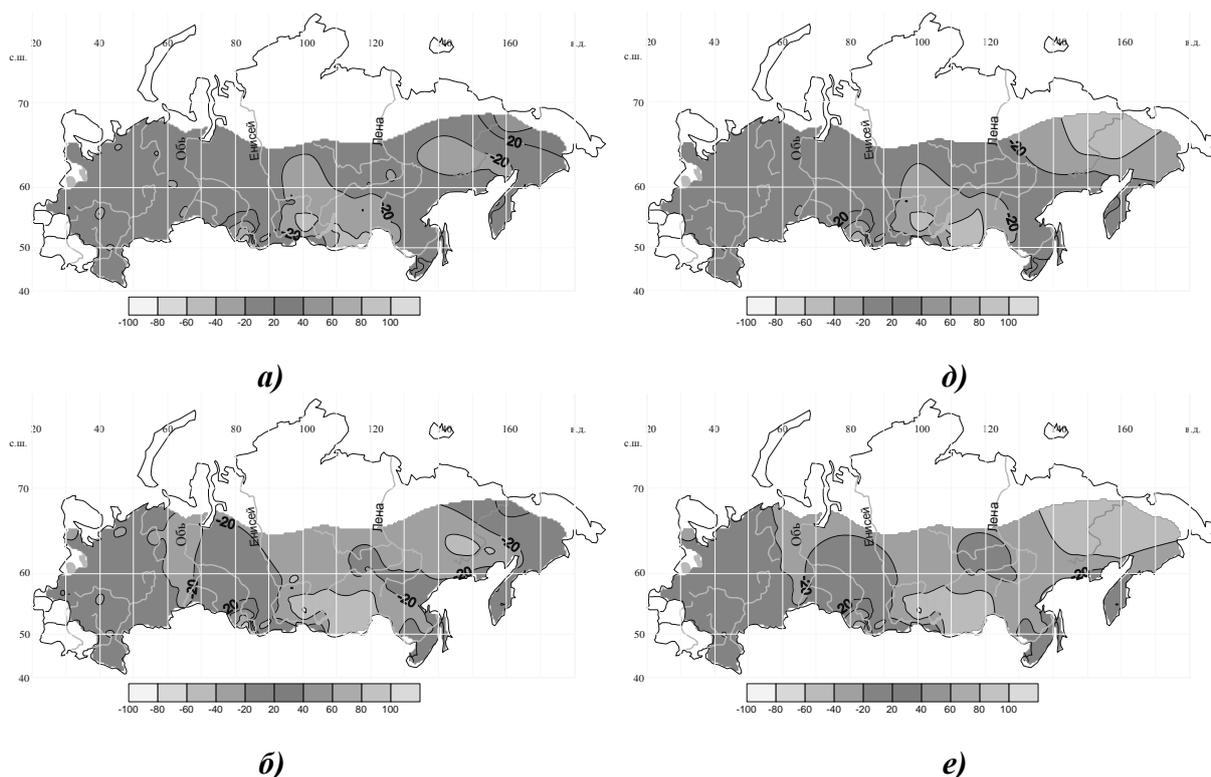
Рисунок 3. Распределение отклонений прогнозных норм от фактических норм для летне-осеннего (а–г) и зимнего (д–и) минимального стока по сценариям Commit, A1B, A2, B1

Для летне-осеннего минимального стока зоны аномалий по коэффициенту вариации по сценарию Commit (рис. 4) распространятся в некоторых бассейнах ЕТР, верхнего течения р. Оби, верхнего и среднего течения рек Лена и Енисей,

в бассейне реки Индигирка. Отклонения прогнозных значений коэффициентов вариации от фактических достигают 60 %. К благоприятным районам отнесутся бассейны большинства рек ЕТР, среднее течение р. Оби, бассейны рек Дальнего Востока и Камчатки.

Для сценариев А1В, А2, В1 зоны аномалий по коэффициенту вариации летне-осеннего минимального стока увеличиваются. Бассейны средних течений рек Енисей и Лена можно отнести к условно опасным, отклонения достигают 70 %. Территория благоприятных районов уменьшается. Следует отметить, что для летне-осеннего стока прогнозные коэффициенты вариации в основном уменьшатся по всем сценариям.

По сравнению с летне-осенним стоком ситуация для зимнего минимального стока менее благоприятная. Прогнозные коэффициенты вариации уменьшаются, и отклонения их от фактических превышают 60 % для обширных территорий. Практически вся территория ЕТР и Восточной Сибири находится в благоприятных зонах. К наиболее опасным зонам относятся верхнее течение Оби, Забайкалье, бассейн р. Индигирки и Камчатка по всем рассматриваемым климатическим сценариям.



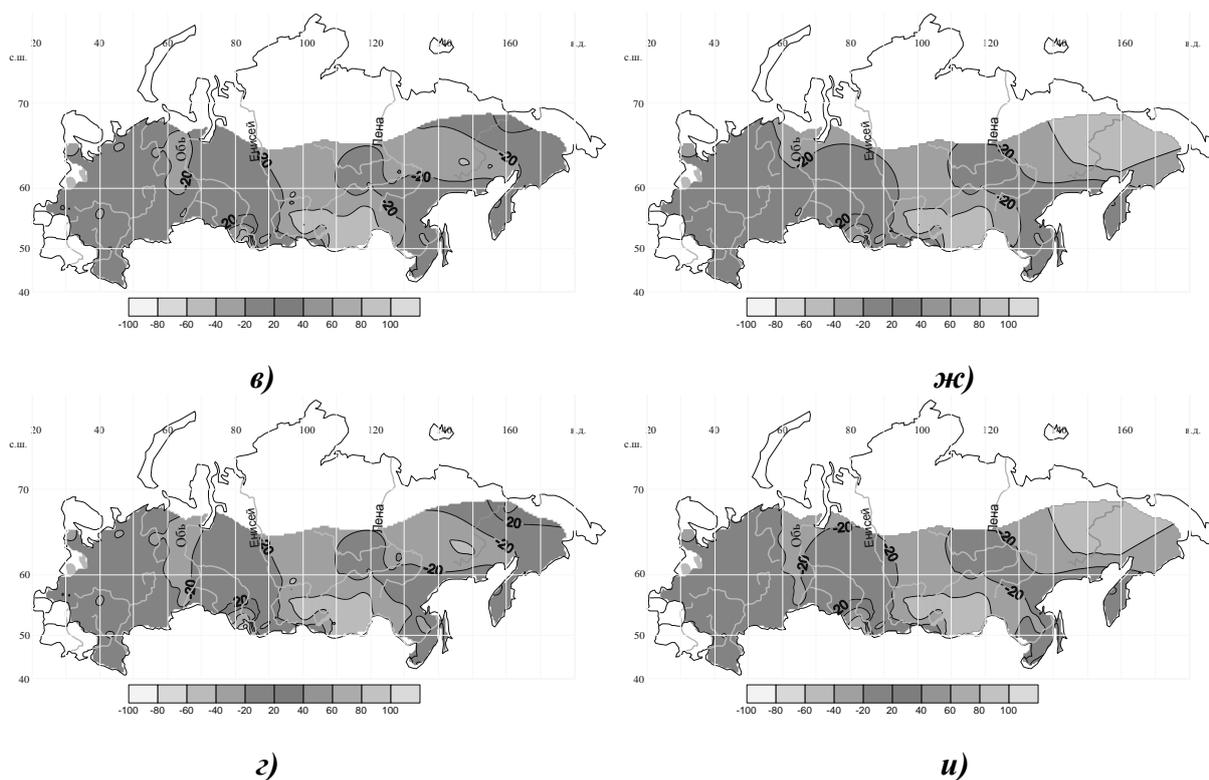


Рисунок 4. Распределение отклонений прогнозных коэффициентов вариации от фактических для летне-осеннего (а–б) и зимнего (д–и) минимального стока по сценариям Commit, A1B, A2, B1

Выводы

В ходе выполненных исследований влияния климатических факторов – нормы осадков и нормы температуры приземного воздуха, на летне-осенний и зимний минимальный 30-суточный сток получены следующие результаты:

1. Выявлена зависимость вероятностных характеристик минимального стока от климатических факторов, которая заключается в том, что при уменьшении нормы осадков и увеличении нормы температуры норма минимального стока уменьшается, коэффициент вариации минимального стока увеличивается.

2. Большая часть рассматриваемой территории для минимального стока находится в благоприятных зонах по норме по четырем сценариям – Commit, A1B, A2, B1 по модели HadCM3, по которым выполнялась сценарная оценка на период с 2040 по 2060 год. Области аномалий совпадают для летне-осеннего и зимнего минимального стока – часть бассейна р. Оби, бассейны верхних течений рек Енисей и Лена, бассейн р. Индигирки.

3. Для летне-осеннего минимального стока зоны аномалий по коэффициенту вариации распространятся по рассмотренным сценариям, в основном в верхнем течении р. Оби, верхнем и среднем течении рек Лена и Енисей, в бассейне реки Индигирки. К наиболее опасным зонам по коэффициентам вариации зимнего стока относятся верхнее течение Оби, Забайкалье, бассейн р. Индигирки и Камчатка.

Исследования финансировалось Министерством образования и науки РФ по теме: «Адаптация математических моделей формирования вероятностных характеристик многолетних видов речного стока к физико-географическим условиям России для целей обеспечения устойчивости их решений при моделировании и прогнозировании», № 1413, № госрегистрации 01 2014 58678.

Список литературы:

1. Гайдукова Е.В. Устойчивость решения модели формирования многолетнего речного стока при изменении климата // Ученые записки РГГМУ. – 2015. – № 39. – С. 9–16.
2. Государственный водный кадастр. Поверхностные воды. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1 Реки и каналы. Т. 1. Вып. 1–25. – Л.: Гидрометеиздат, 1986.
3. Методические рекомендации по оценке обеспеченных расходов проектируемых гидротехнических сооружений при неустановившемся климате / под ред. В.В. Коваленко – СПб.: изд. РГГМУ, 2010. – 50 с.
4. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том II. Последствия изменений климата / под рук. С.М. Семенова // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – М.: Росгидромет, 2008. – 291 с.

5. Шевнина Е.В. Параметризация модели формирования стока весеннего половодья на территории Российской Арктики // Ученые записки РГГМУ. – 2011. – № 21. – С. 38–46.
6. The IPCC Assessment Reports / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ipcc.ch> (дата обращения: 14.10.2014).

References:

1. Gaidukova E.V. Stability of the solution model of river flow formation in climate change. Uchenyye zapiski RGGMU [Scientific notes RSHU]. 2015, no. 39, pp. 9–16. (In Russian).
2. State Water Cadastre. Surface water. Long-term data on the regime and resources of surface waters. Part 1: Rivers and canals. Volume 1. Issues 1–25. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986. (In Russian).
3. Kovalenko V.V. The methodical recommendations according to the supplied charges of projected hydraulic engineering structures at the unsteady climate. St. Petersburg, RSHU Publ., 2010, 50 p. (In Russian).
4. Semenova S.M. Assessment Report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Volume II. The effects of climate change. Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monito-ringu okruzhayushchey sredy (Rosgidromet) [Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet)]. Moscow, Rosgidromet Publ., 2008, 291 p. (In Russian).
5. Shevnina E.V. Model parameterization spring flood runoff formation in the Russian Arctic. Uchenyye zapiski RGGMU [Scientific notes RSHU]. 2011, no. 21, pp. 38–46. (In Russian).
6. The IPCC Assessment Reports. 2009. Available at: <http://www.ipcc.ch> (accessed 14.10.2014).