

- Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря, 1998. М., ГЕОС, 279 с.
- Фролов А. В., 2003. Моделирование многолетних колебаний уровня Каспийского моря: теория и приложения, М., ГЕОС, 171 с.
- Хубларян М. Г., 2000. Колебание уровня Каспийского моря и его эколого-экономические последствия, в кн.: Экологические проблемы Каспия, РАН и Национальная Академия США. Сборник докладов Международного научного семинара по экологическим проблемам Прикаспийского региона, 1–3 декабря 1999 г., Москва, под ред. М. Г. Хубларяна, М., Киров, с. 5–13.
- Чуйков Ю. С., 1998. Проблемы экологической безопасности Астраханской области в связи с подъемом Каспийского моря, в кн.: Научные, экологические и политические проблемы стран Каспийского региона, под ред. М. Глянца и И. Зонна, М., Найроби: Kluwer Acad. Publish., pp. 145–156.
- Arpe K. and Roekner E., 1999. Simulation of the hydrological cycle over Europe: Model validation and impacts of increasing greenhouse gases, *Adv. Water Res.*, vol. 23, pp. 105–119.
- Arpe K., Bengtsson L., Golitsyn G. S., Mokhov I. I., Semenov V. A., and Sporyshev P. V., 2000. Connection between Caspian Sea level variability and ENSO, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 27, No. 17, pp. 2693–2696.
- Climate Change, 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Intergovernmental Panel on Climate Change, Houghton J. T., Callander B. A., and Varney S. K. (eds.), Cambridge University Press, 198 p.
- Climate Change 2007, 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S. D., Qin M., Manning Z., Chen M., Marquis K. B., Averyt M., Tignor M., and Miller H. L., eds., Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 996 p.
- Elguindi N. and Giorgi F., 2006. Projected changes in the Caspian Sea level for the 21st century based on the latest AOGCM simulations, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 33, L08706, doi:10.1029/2006GL025943.
- Golitsyn G. S., Meleshko V. P., Mescherskaya A. V., Mokhov I. I., Pavlova T. V., Galin V. A., and Senatorsky A. O., 1996. GSM simulation of water balance over Caspian Sea and its watershed, *Proceedings of the First Int. AMIP Scientific Conference, WMO/TD-No. 732*, pp. 113–118.
- Schrader F., 2001. Caspian Sea Potential Inundation and Impacts on Human and Natural Environment, *Caspian Environment Programme, Baku, AZ*, 39 p.

3.10. ПОСЛЕДСТВИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Ведущие авторы: Л. И. Болтнева, В. А. Семенов, Б. Г. Шерстюков

Авторы: В. А. Бузин, З. Д. Копалиани, П. М. Лурье, С. П. Малевский-Малевич, В. Д. Панов

Редактор-рецензент: Д. Б. Киктев

3.10.1. Вводные замечания

Ожидаемое в XXI веке глобальное потепление, возможно, будет сопровождаться усилением экстремальных гидрометеорологических явлений. В Третьем (Climate Change 2001, 2001, pp. 69–76) и Четвертом (Climate Change 2007, 2007a, 2007b) оценочных докладах МГЭИК засухи и наводнения отнесены к основным проблемам почти для всех регионов мира. Для России с ее огромным разнообразием экологических и климатических условий возможно проявление более частых и интенсивных засух и наводнений, увеличение пожароопасности лесов в отдельных регионах. Однако при разработке адаптаций к возможным изменениям климата в будущем важны не только эти широкомасштабные последствия экстремальных метеорологических явлений, проявляющиеся в масштабе регионов. Существенны также и локальные по-

следствия, сопряженные с большой опасностью для жизни человека, его жилища и технических сооружений. Таковыми являются сели и лавины, особенно проявляющиеся в Кавказском регионе. Эти проблемы для XXI века также будут рассмотрены в данном разделе. Велика также опасность комплекса таких опасных гидрометеорологических явлений, как ураганы, сильные ветры, шквалы, смерчи, однако их возникновение является наименее предсказуемым.

3.10.2. Общая характеристика ожидаемых изменений климата и его экстремальности

В этом разделе кратко излагаются результаты моделирования изменений основных характеристик климата России в XXI веке по регионам, приведенные в работах (Школьник и др., 2006; Мелешко и др., 2004), а также в ряде других исследований (о методах — см. раздел 3.1.10).

Возможные изменения климата в XXI веке на Европейской территории России рассчитаны с помощью модели регионального климата, созданной в ГГО Росгидромета. Ее пространственное

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

разрешение — 50 км; был использован сценарий В2 (Мелешко и др., 2004; Кундцевич, 2004; Школьник и др., 2006). Оценки изменений получены по отношению к последнему десятилетию XX века. В табл. 3.10.1 приведены изменения среднесезонных и среднегодовых значений температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы, суммы осадков и речного стока для конца XXI века. Расчеты выполнены для четырех наиболее крупных водосборов: Балтийского моря (БАЛ), северных рек — Северной Двины, Мезени и Печоры (СЕВ), южных рек — Днестра, Днепра, Дона (ЮЖН) и водосборов рек Волги и Урала (ВОЛ).

Среднегодовая температура повысится в 2091–2100 гг. по отношению к периоду 1991–2000 гг. на всей территории на 3,1–3,9°C, количество осадков и речной сток заметно увеличиваются на водосборах БАЛ, СЕВ и ВОЛ, а на юге России (ЮЖН) речной сток меняется незначительно. На первых трех водосборах увеличение суммы осадков и стока происходит в течение всего года, а на водосборе ЮЖН летом отмечается большое увеличение температуры, заметное уменьшение осадков и стока по сравнению с климатом конца XX века.

Глобальные оценки увеличения годовой суммы осадков для середины и конца XXI века по сравнению с его началом составляют 1,8 и 2,9% соответственно (Мелешко и др., 2004). Как следует из данных табл. 3.10.1, ожидаемое увеличение годовой суммы осадков на территории ЕТР значительно превышает эти глобальные изменения. При этом на многих российских водосборах осадки увеличиваются не только зимой, но и летом.

При изменении климата меняется не только среднее значение параметра, но и его дисперсия, характеризующая разброс текущих значений вокруг среднего. Это учитывается при построении перспективных оценок. Анализ возможного изменения экстремальности климата в работе (Школьник и др., 2006) выполнен по значениям процентилей вероятностных функций распределения значений температуры и суммы осадков для последних десятилетий XX и XXI веков. Анализ проводился с помощью региональной модели климата ГГО в рамках сценария В2.

В зимний период существенно уменьшится повторяемость экстремально низкой температуры в северной и центральной частях ЕТР при небольшом уменьшении диапазона изменчивости среднесуточной температуры зимой.

В летний сезон на юге ЕТР и на юге Сибири ожидается увеличение диапазона изменчивости среднесуточной температуры, главным образом, в результате увеличения повторяемости ее экстремально больших значений.

К концу XXI века диапазон изменчивости суточной суммы осадков в зимний сезон увеличится на всей ЕТР; наиболее заметное увеличение произойдет на Кавказе. Летом на севере ЕТР и в горных районах на юге ожидается заметное увеличение диапазона изменчивости суточной суммы осадков. Уменьшение диапазона изменчивости этой метеорологической величины произойдет в средней и южной частях ЕТР и в Южной Сибири; одновременно уменьшится годовая сумма осадков.

Таблица 3.10.1. Изменения температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы ΔT (°C), суммы осадков ΔR (%) и стока ΔQ (%) по сезонам и за календарный год на крупных водосборах ЕТР в 2091–2100 гг. по отношению к периоду 1991–2000 гг. (Мелешко и др., 2004; Кундцевич, 2004; Школьник и др., 2006)

| Водосбор | Характеристика изменения климата | Зима | Весна | Лето | Осень | Год |
|----------|----------------------------------|------|-------|------|-------|-----|
| СЕВ | ΔT | 6,1 | 3,4 | 1,9 | 4,1 | 3,9 |
| | ΔR | 30 | 29 | 12 | 18 | 22 |
| | ΔQ | 88 | 13 | 6 | 41 | 20 |
| БАЛ | ΔT | 4,4 | 3,1 | 2,2 | 3,1 | 3,2 |
| | ΔR | 24 | 23 | 8 | 28 | 20 |
| | ΔQ | 96 | 19 | 12 | 57 | 38 |
| ВОЛ | ΔT | 5,1 | 2,6 | 2,5 | 3,7 | 3,5 |
| | ΔR | 26 | 23 | 1 | 14 | 14 |
| | ΔQ | 117 | 10 | 3 | 29 | 26 |
| ЮЖН | ΔT | 3,8 | 2,2 | 2,8 | 3,4 | 3,1 |
| | ΔR | 23 | 20 | -13 | 4 | 8 |
| | ΔQ | 11 | 3 | -16 | -1 | 4 |

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

Для зимы и лета сравнительные оценки повторяемости значений суточной суммы осадков на водосборах СЕВ и ЮЖН в конце XXI века и в последнее десятилетие XX века указывают на существенные различия в тенденциях. Водосбор СЕВ оказывается к концу XXI века более увлажненным во все сезоны, в то время как на водосборе ЮЖН летом складываются в основном более засушливые условия.

Основной вклад в увеличение осадков зимой на водосборах СЕВ и ЮЖН вносит увеличение повторяемости более интенсивных осадков. Повторяемость осадков с суточными суммами более 5 мм на водосборе СЕВ увеличивается примерно в два раза, а на водосборе ЮЖН — на треть. Структура изменений осадков летом существенно неодинакова на разных водосборах. На водосборе СЕВ происходит увеличение повторяемости осадков очень малой и большой интенсивности при одновременном уменьшении повторяемости умеренных осадков, что свидетельствует об увеличении диапазона изменчивости осадков в целом. Уменьшение диапазона изменчивости суточной суммы осадков на юге России происходит в результате сдвига распределения в сторону малых значений (< 0,5 мм в сутки). Следует отметить, что особенности изменения вероятностных функций распределения суточной суммы осадков для отдельных пунктов могут существенно отличаться от осредненных по водосбору ЮЖН изменений. В отдельных пунктах, несмотря на уменьшение осадков в среднем, к концу XXI века может существенно увеличиться повторяемость интенсивных осадков.

Изменения характеристик осадков на западе центральной части ЕТР (50–60° с. ш., 30–45° в. д.) были рассчитаны с помощью модели ЕСНАМ4/ОРУС3 для сценария IS92a (Мелешко и др., 2004). Выявлено общее увеличение осадков на протяжении XX–XXI веков на фоне заметных внутривековых вариаций. По сравнению с базовым периодом 1981–2000 гг. интенсивность осадков в конце XXI века может увеличиться на 0,25 мм в сутки, или примерно на 10%; число суток с сильными осадками увеличится с 26–27 до 30–31. При этом относительный вклад наиболее сильных осадков увеличится с 40 до 45%.

3.10.3. Засухи

К возможным особо неблагоприятным последствиям изменения климата в России в XXI веке относится увеличение повторяемости почвенных засух, сопровождающихся существенным снижением урожайности сельскохозяйственных культур.

Засухи обусловлены макромасштабными атмосферными процессами (приводящими к установлению длительной антициклонической погоды), про-

должительным периодом без осадков в сочетании с высокой температурой воздуха, малой влажностью почв и малой устойчивостью растений к недостатку воды. Частота и интенсивность засух зависит также от типа землепользования и некоторых других факторов неклиматической природы. В вековом ходе метеорологических условий, вызывающих засухи, их повторяемость и интенсивность увеличиваются при потеплении климата (Дроздов, 1980).

В России наиболее подвержены засухе области Центрально-Черноземной зоны и Поволжья, предгорья Северного Кавказа, южной части Урала (см. раздел 2.10.2). Перспективные оценки повторяемости засух в конце XXI века в России основаны на результатах моделирования региональных изменений климата (Школьник и др., 2006). При этом использовались региональная модель климата ГГО и сценарий В2.

При потеплении климата вместе с увеличением осадков в теплое время года усиливается испарение с поверхности суши, что приводит к заметному уменьшению влагосодержания деятельного слоя почвы. Расчеты показывают, что в регионах, свободных от снежного покрова, тенденция к уменьшению влагосодержания почвы обнаруживается уже весной. Это становится более заметным летом на всей территории России — запас почвенной влаги уменьшается (в некоторых регионах незначительно), что способствует формированию более засушливых условий, особенно в южных регионах. Это обусловлено тем, что при потеплении климата в теплое время года происходит более раннее таяние снега, усиливается испарение с поверхности суши и происходит заметное уменьшение влагосодержания деятельного слоя почвы. Для разных водосборов увеличение дефицита влаги в почве летом варьирует от 1 до 11% по сравнению с базовым климатом 1981–2000 гг. (Мелешко и др., 2004).

Увеличение засушливости климата в регионах, где возможно повышение температуры воздуха и уменьшение количества осадков, приведет к уменьшению влажности почв и более интенсивным проявлениям почвенной засухи. Сравнение возможных изменений характеристик климата на территории крупных водосборов ЕТР в конце XXI века, приведенных в табл. 3.10.1, обнаруживает их существенное различие. Для водосборов рек Дона, Днепра, Днестра (ЮЖН), Волги и Урала (ВОЛ) в летний период ожидается относительно более существенное повышение температуры воздуха — 2,8 и 2,5°C соответственно, чем для водосборов СЕВ и БАЛ — соответственно 1,9 и 2,2°C. Количество осадков в летний период на водосборе ЮЖН уменьшится на 13%, на водосборе ВОЛ увеличится всего на 1%. Увеличение осадков для водосборов СЕВ и БАЛ составит 12 и 8% соответственно.

Качественные оценки возможного увеличения вероятности засух были получены на основе со-

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

поставления ожидаемых в будущем значений температуры воздуха и суммы осадков для юга России (табл. 3.10.1) с показателями метеорологических условий засухи, приведенными в разделе 3.1.10. Такое сопоставление указывает на возможное увеличение вероятности засух в конце XXI века. Положение усугубляется тем, что для этих засухоопасных регионов, согласно модельным расчетам, ожидается увеличение диапазона изменчивости среднесуточной температуры в результате увеличения повторяемости ее экстремально больших значений при одновременном уменьшении диапазона изменчивости суточных сумм осадков в результате роста осадков с интенсивностью менее 0,5 мм в сутки.

Перспективная оценка возможного увеличения вероятности засух приведена в (Мохов и др., 2005). В расчетах были применены глобальная МОЦАО с углеродным циклом и сценарий А2. Вероятность распространения весенне-летних засух, согласно результатам расчетов, в XXI веке по сравнению с XX в средних широтах Евразии, включая территории России, увеличится. О возможном увеличении повторяемости засух свидетельствуют также перспективные оценки изменений на ЕТР к 2030 г. значений гидротермического коэффициента (Сиротенко, Грингоф, 2006).

Большой интерес представляют исследования в будущем влияния удлинения вегетационного периода на возможность роста частоты экстремальных значений температуры (Данилов-Данильян, 2006). Последствием увеличения числа больших значений температуры может стать увеличение повторяемости засух.

3.10.4. Лесные пожары

Вопросам влияния изменения климата в будущем на лесные пожары посвящен целый ряд исследований (Flannigan and van Wagner, 1991; Wotton and Flannigan, 1993; Fosberg et al., 1998; Kasischke et al., 1995; Houghton, 1991; Torn and Fried, 1992). Они показали, в частности, заметное увеличение частоты лесных пожаров в США (Price and Rind, 1994) при удвоении концентрации CO_2 1990-х годов — число пожаров, вызванных молниями, увеличивается на 44%, а их общая площадь на 38%. Для Канады при этом же предположении об увеличении концентрации CO_2 длительность лесных пожаров увеличивается на 20% (Wotton and Flannigan, 1993). Обе оценки были получены модельными средствами.

Ожидаемое изменение климата в XXI веке может привести к увеличению пожароопасности лесов в некоторых регионах России. Соответствующая количественная оценка была сделана на основе индекса Нестерова в работе (Шерстюков, Шерстюков, 2007). При этом в качестве климата XXI века была принята среднемоделная оценка, получен-

ная с помощью трех МОЦАО — CGCM2, HadCM3 и ECHAM4 — в условиях сценария антропогенного влияния на глобальный климат А2 (см. раздел 2.1.10). На рис. 3.10.1 и 3.10.2 в картографической форме приведены оценки увеличения (%) числа суток в году с “высокими и больше” ($G > 1000$) значениями индекса горимости Нестерова соответственно в 2025 и в 2050 гг. по сравнению с нормой 1961–1990 гг. Методы оценки (Шерстюков, 2003) кратко изложены в разделах 2.1.10 и 3.1.10. Следует учитывать, что индекс Нестерова дает оценку потенциальной горимости (пожароопасности) леса без учета наличия или отсутствия леса на каждом участке анализируемой территории. Там, где лес отсутствует (в тундровой или в степной зоне), потенциальная горимость не может реализоваться.

Полученные результаты можно суммировать следующим образом.

На преобладающей части лесопокрытой территории в первой половине XXI века ожидается увеличение числа суток в году с потенциальной горимостью леса “высокой и больше” на 20–60% на юге ЕТР и Западной Сибири, в средних широтах Восточной Сибири и Дальнего Востока. За исключением южных степных районов на всей упомянутой территории произрастают леса.

Уменьшение числа суток с высокой пожароопасностью ожидается в Приамурье, в районе Магадана и на востоке Камчатки.

Различия между оценками для 2025 г. и 2050 г. заключаются, в частности, в том, что территория, на которой ожидается увеличение на 30–60% числа суток за год с опасной и более горимостью леса, во втором случае больше. К ним относятся территории к северу от 60° с. ш. до Северного полярного круга на ЕТР и в Сибири, покрытые хвойными лесами и лиственничниками.

Таким образом, в первой половине XXI века ожидается постепенное усиление потенциальной пожароопасности леса в ряде обширных регионов России, имеющих существенные лесопокрытые территории (Шерстюков, Шерстюков, 2007).

Возможное изменение вероятности возникновения лесных пожаров в XXI веке на территории России изучалось также на основе установленной корреляционной зависимости между числом суток в календарном году с пожароопасной обстановкой и значением индекса засушливости *ГТК*, вычисленным по месячным данным метеорологических наблюдений (Малевский-Малевич и др., 2005). Ожидаемые в середине и в конце XXI века среднемесячные значения температуры воздуха и суммы осадков для ЕТР, Центральной и Южной Сибири, включая Приморский край, были приняты в соответствии с результатами моделирования климата с помощью ансамбля 7 МОЦАО и сценария В2.

Судя по полученным оценкам, наибольшее увеличение по сравнению с современными значения-

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

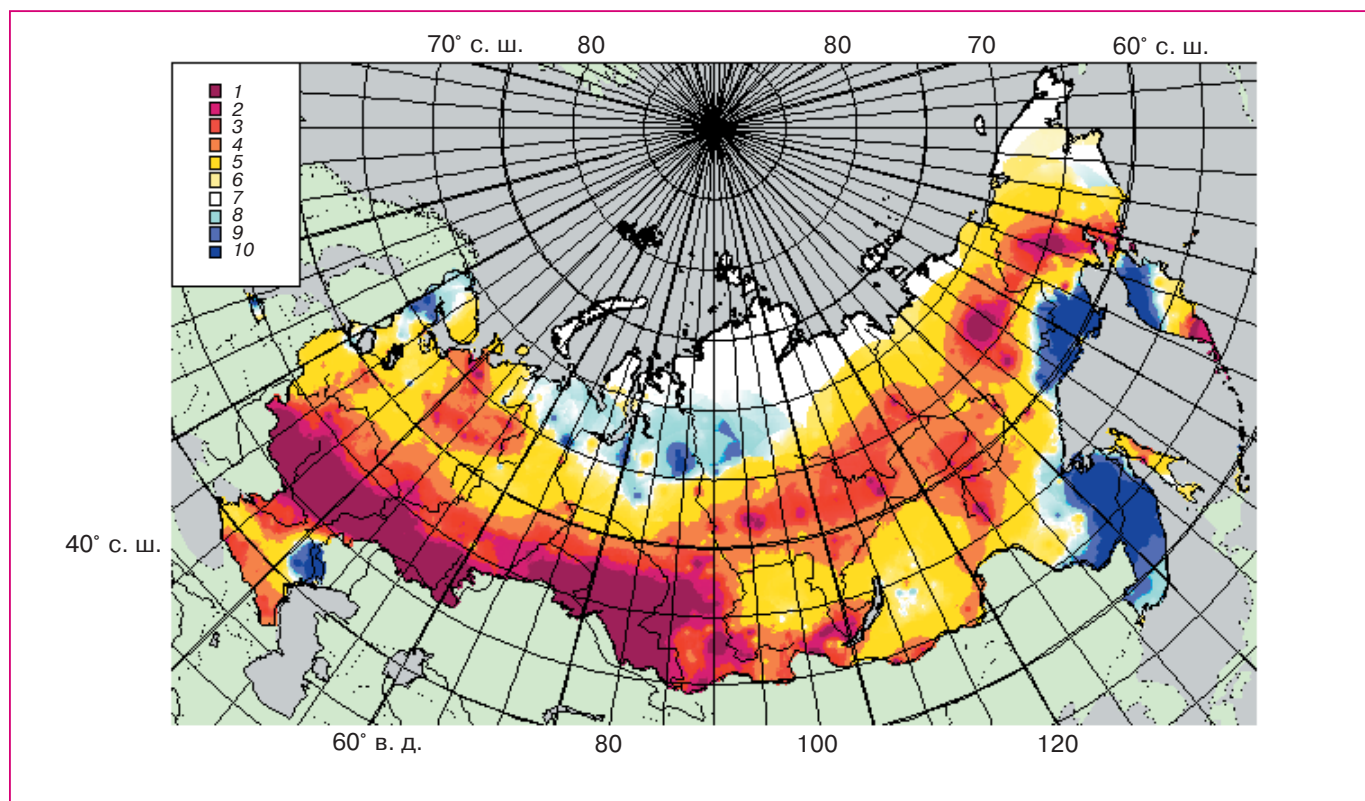


Рис. 3.10.1. Изменение (%) числа суток в году со значениями индекса горимости “высокими и больше” ($G > 1000$) к 2025 г. относительно нормы 1961–1990 гг. 1) 60–50; 2) 50–40; 3) 40–30; 4) 30–20; 5) 20–12; 6) 12–1; 7) 0; 8) –1...–10; 9) –10...–20; 10) –20...–30.

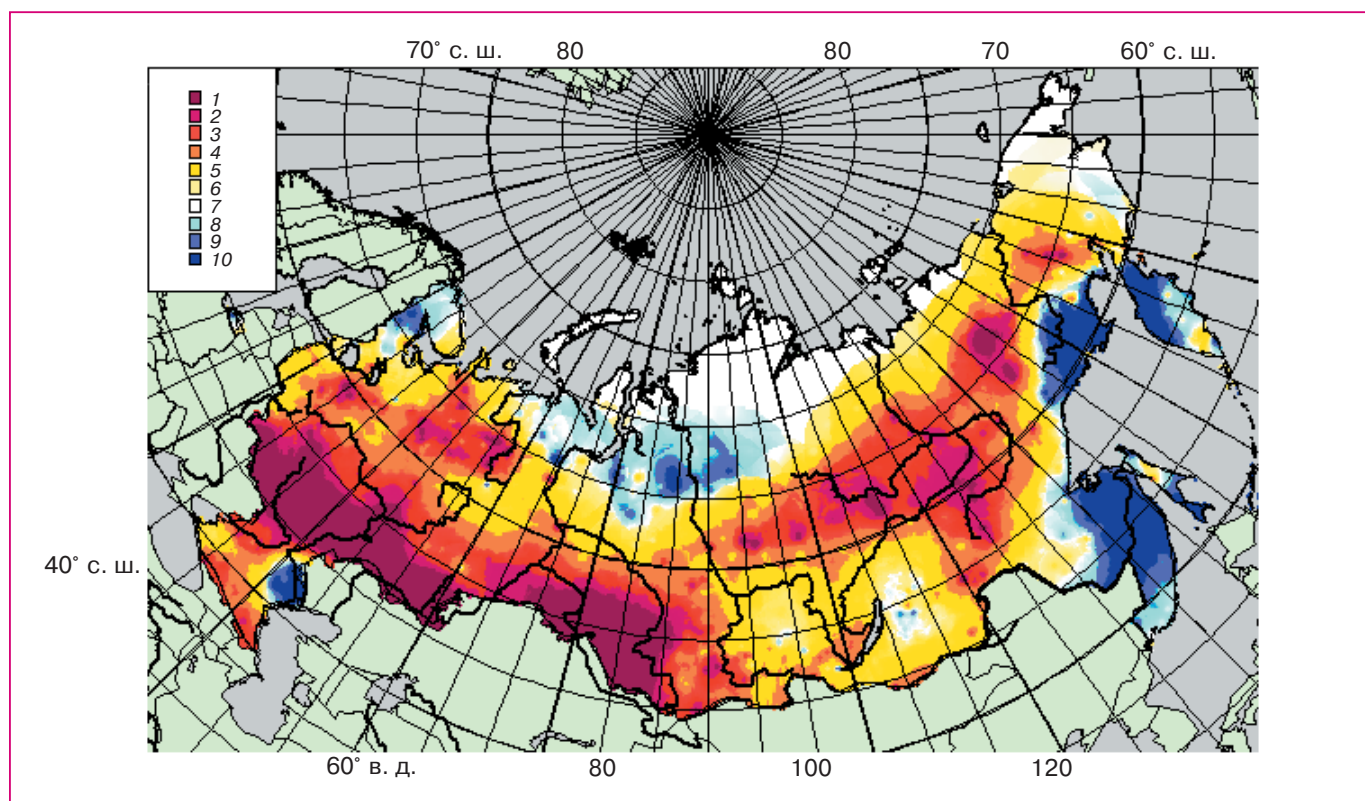


Рис. 3.10.2. Изменение (%) числа суток в году со значениями индекса горимости “высокими и больше” ($G > 1000$) к 2050 г. относительно нормы 1961–1990 гг. Пояснения, как на рис. 3.10.1.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

ми — от 12 до 22% в середине и до 30% в конце XXI века — числа суток с пожароопасной ситуацией III и IV классов приходится на районы Западной Сибири, прилегающие к южной границе лесной зоны. Число суток за теплый сезон с пожароопасной ситуацией возрастает на 10–12. Для Восточной Сибири изменение числа суток с пожароопасной ситуацией III и IV классов не превысит 5%.

Результаты обеих перспективных оценок пожароопасности для леса (т. е. полученные на основе индекса Нестерова и ГТК) показывают, что наибольшее увеличение числа суток с повышенным риском возникновения ситуации III и IV классов горимости в XXI веке ожидается на территориях ЕТР и Западной Сибири, прилегающих к южной границе лесной зоны.

3.10.5. Наводнения

На большей части ЕТР катастрофические наводнения обусловлены весенним половодьем, на Азиатской территории России — весенним или весенне-летним половодьем. В южных регионах они формируются дождевыми и смешанными (снегодождевыми) паводками. На большей части территории России на формирование максимального речного стока и обусловленных им наводнений — на их высоту, частоту и продолжительность — оказывают влияние в основном три фактора: максимальный запас воды в снежном покрове, интенсивность таяния снега и количество осадков в теплый период года, особенно ливневых. Весенние половодья на большей части территории России могут сопровождаться опасными наводнениями на реках с водосборной площадью более 50 тыс. км², а при дождевых паводках — на реках с меньшими площадями бассейна.

В XXI веке увеличение риска опасных наводнений наиболее вероятно в регионах с прогнозируемым увеличением количества осадков и запасов воды в снежном покрове, годового и сезонного (в половодье) стока рек.

По оценкам, полученным в работе (Мохов и др., 2002) с помощью моделей ЕСНАМ4/ОРУС3 и HadCM3 в условиях сценария IS92a, на водосборах Лены и Енисея зимой произойдет увеличение накопления снега в результате увеличения в Восточной Сибири доли твердых осадков. Суммарное увеличение осадков на водосборе Лены ожидается на 18–16%, Енисея — на 12–10%, увеличение годового стока Лены к концу XXI века составит 22–24%, а Енисея — 8%. Вследствие этого вероятность высоких наводнений в период весенних половодий на реках бассейнов Лены и Енисея существенно увеличится.

Этому будет способствовать также образование ледовых заторов из-за более раннего начала

половодья при ожидаемом потеплении. На севере Сибири и Дальнего Востока возможное при дальнейшем потеплении увеличение летних осадков обусловит повышение вероятности опасных наводнений при дождевых паводках.

Река Обь, особенно в ее нижнем течении, отличается относительно невысоким и растянутым весенним половодьем вследствие замедленного стока талых вод под влиянием низменного рельефа, большого количества болот, широкой речной поймы с обилием озер. Годовой сток Оби в XXI веке увеличится, по оценкам работы (Мохов и др., 2002), незначительно — на 3–4%, а по оценкам работы (Мелешко и др., 2004), полученным с помощью модели ЕСНАМ4/ОРУС3 для сценария IS92a, сток Оби в XXI веке даже уменьшится. Таким образом, заметного увеличения весеннего стока и соответственно увеличения повторяемости наводнений не ожидается. Но в верхней, горной и предгорной частях бассейна Оби, по оценкам с использованием моделей CGCM, HadCM3 и ЕСНАМ4/ОРУС3 (Семенов, 2007), до 30-х годов XXI столетия ожидается увеличение количества осадков в зимний и весенний периоды, что обусловит сохранение увеличения вероятности опасных наводнений в период половодья.

На реках бассейна Амура катастрофические и опасные наводнения являются следствием весенних снегодождевых и летних дождевых половодий или паводков. По данным мониторинга климата (Ранькова, 2005), в период 1975–2004 гг. по сравнению с базовым периодом 1961–1990 гг. наблюдалось уменьшение количества осадков летом в Приамурье и Приморье. Увеличение повторяемости опасных наводнений в этих районах в последние годы обусловлено увеличением количества осадков в зимний период, которое в ближайшее 20-летие будет продолжаться (Семенов, 2007). Следовательно, на юге Дальнего Востока велика вероятность сохранения и увеличения повторяемости опасных наводнений. Расчеты изменения гидрологического цикла с использованием модели глобального климата С. Манабе и сценария IS92a (Манабе, Везеролд, 2003) показали, что годовой сток Амура к середине XXI века изменится незначительно — уменьшится примерно на 1%. Таким образом, современная ситуация с наводнениями в верхней и средней частях бассейна Амура, вероятно, сохранится и в перспективе. Но возможное увеличение муссонных осадков может привести к возрастанию вероятности опасных наводнений во всем Дальневосточном федеральном округе (Приморский и Хабаровский края, Амурская и Сахалинская области, Еврейская автономная область).

На северных реках ЕТР увеличение годового и весеннего стока в XXI веке может вызвать увеличение повторяемости опасных наводнений. Как

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

показали расчеты по модели ГГО с использованием сценария В2, годовой сток Печоры и Северной Двины увеличится на 15–20% к середине XXI века и до 30% к концу века (Мелешко и др., 2004), а по данным (Школьник и др., 2006) годовой сток на северных реках увеличится на 20%, весенний — на 19%. Судя по результатам работы (Мелешко и др., 2004), максимум весеннего стока заметно увеличивается в XXI веке в результате более быстрого (интенсивного) таяния снежного покрова, а возможность образования заторов и зажоров на северных реках (расположенных севернее 60° с. ш.) увеличит риск катастрофических наводнений.

В центральной части ЕТР по результатам модельных расчетов для XXI века с помощью моделей ЕСНАМ4/ОРУС3 и HadCM3 в условиях сценария IS92a (Мохов и др., 2002) выявлено значимое усиление интенсивности осадков и количества суток с сильными осадками (превышающими верхний 90%-ный квантиль). Таким образом, возможно заметное увеличение наводнений, обусловленных дождевыми паводками.

Оценки изменения годовой суммы осадков в 2070–2099 гг. по сравнению с базовым периодом 1961–1990 гг., полученные с использованием МОЦАО HadCM3 и HadRM3 в условиях сценария A2a, также показали, что в будущем на большей части территории Европы случаи интенсивных осадков станут более частыми и выраженными (Кундцевич, 2004). В работе (Кундцевич, 2006) подчеркивается, что максимальные суточные суммы осадков могут увеличиваться и в тех местах, где ожидается уменьшение их средних значений. Следовательно, на ЕТР вероятность формирования дождевых паводков и вызываемых ими наводнений в перспективе может увеличиться.

Особенно большую опасность представляют катастрофические наводнения, вызываемые дождевыми и смешанными паводками в горных и предгорных районах Северного Кавказа, где возможен существенный риск для населения, а также значительный экономический и экологический ущерб, обусловленные высокой плотностью населения, наличием объектов хозяйственного значения и памятников природы и культуры (Доброумов, Тумановская, 2002). Оценки по моделям CGCM, HadCM3 и ЕСНАМ4/ОРУС3 (Семенов, 2007) свидетельствуют о том, что до 30-х годов XXI столетия на Северном Кавказе наиболее вероятно увеличение количества осадков в зимний и осенний периоды и их уменьшение в летний. В соответствии с палеоклиматическим сценарием изменения климата, по оценкам работы (Лурье, Панов, 2003), к середине XXI века на Большом Кавказе возможно существенное увеличение речного стока, что может привести к увеличению повторяемости катастрофических и опасных наводнений, усилению селевой активности.

Важнейшим фактором формирования опасных и катастрофических последствий экстремальных метеорологических явлений в горных районах в условиях потепления климата может служить происходящая деградация горного оледенения (Оледенение Северной и Центральной Евразии..., 2006). Она сопровождается таянием морен, увеличением количества рыхлого обломочного материала, образованием моренно-подпрудных озер. Вследствие этого при наблюдающемся и прогнозируемом увеличении жидких осадков в горных районах Кавказа участится формирование дождевых и снегодождевых паводков, увеличится вероятность прохождения селей с выносом в предгорья большого количества наносов (Лурье и др., 2005). В результате этого наиболее острая ситуация с наводнениями может сложиться в предгорных районах.

Ожидаемое повышение температуры воздуха и увеличение суммы осадков в XXI веке может привести к таянию верхнего слоя многолетней мерзлоты и повышению вероятности прохождения высоких дождевых паводков и селевых потоков в горных районах Восточной Сибири и севера Дальнего Востока России. Но в южных районах островного распространения многолетней мерзлоты ее деградация будет способствовать повышению роли почвогрунтов бассейна как естественных регуляторов стока, а увеличение потерь воды в талые почвы приведет к уменьшению высоты паводков.

Приведенные выше оценки в целом указывают на то, что наметившаяся в некоторых регионах России в конце XX века тенденция к увеличению максимального стока рек и, следовательно, повторяемости наводнений сохранится до конца XXI столетия. Сохранится повышенная вероятность высоких нагонных наводнений в устьях больших рек. В частности, в Санкт-Петербурге существенно увеличивается вероятность наступления опасных и катастрофических наводнений с повышением уровня воды более чем на 3 м над ординаром, что вызовет серьезные негативные последствия для города (Померанец, 2005).

Полученные в моделях АСIA (сценарий В2) изменения климата Арктики в XXI веке показывают, что на большей части этой территории (60–90° с. ш.) потепление и увеличение количества осадков существенно превышают их глобальные среднегодовые значения; существенно возрастет сток в океан с водосборов суши. Однако эти модельные результаты не позволили получить уверенные выводы об изменениях климатических экстремумов температуры и осадков. Для оценки изменений вероятностных функций распределения этих характеристик необходимо дальнейшее развитие климатических моделей для Арктики (Катцов, 2006).

3.10.6. Селевая и лавинная опасность на Большом Кавказе

3.10.6.1. Сели

Ожидаемое увеличение температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы и суммы атмосферных осадков в XXI веке окажут весьма существенное влияние на природу Большого Кавказа. В первую половину XXI столетия речной сток увеличится на 37%, площадь оледенения сократится на 35%, высота климатической снеговой линии увеличится на 300 м, увеличится продолжительность периода с положительными значениями температуры, поднимутся нулевая изотерма и верхняя граница лесной и пастбищной растительности (Коломыц, Сурова, 1985; Панов, 1993; Хрусталева, Панова, 2002; Лурье, 2002). Увеличение суммы атмосферных осадков будет происходить в значительной степени вследствие увеличения числа дней с максимальными значениями суммы осадков и повторяемости ливневых осадков. Одновременно будет происходить ускорение таяния ледников и образование моренных отложений в их концевых частях.

В связи с потеплением климата особый интерес для Большого Кавказа представляет изменение селевой деятельности, поскольку она существенно затрагивает различные стороны жизни населения и хозяйства в этом горном регионе. Анализ имеющихся сведений о селях, а также об ожидаемом изменении температуры воздуха и атмосферных осадков позволяет сделать следующие выводы (Лурье, 2004) о селевой деятельности в XXI столетии.

В связи с повышением температуры воздуха на всей территории увеличится продолжительность селеопасного периода в среднем на 50 суток в западном и центральном районах и 47 суток в восточном. Одновременно расширится вертикальный диапазон деятельности селей — его верхняя граница сдвинется вверх в среднем на 500–600 м. При этом произойдет оттаивание многолетнемерзлых пород, увеличится площадь интенсивного морозного выветривания и соответственно увеличится объем горных пород, готовых принять участие в формировании селевых потоков.

Объемы селевых потоков увеличатся, что связано с увеличением количества селеформирующих атмосферных осадков (в том числе ливней), интенсивным таянием ледников, образованием в нивально-гляциальной зоне значительных “новых” подвижных моренных масс. Средний объем дождевых селей, вероятно, увеличится на 20–30% их среднего объема в XX столетии. Повсеместно в нивально-гляциальной зоне произойдет увеличение как числа, так и объема гляциальных и гляциально-дождевых селей, при этом территория их распространения увеличится. Так, систематически будет отмечаться прохождение селей этого происхождения в бассейнах рек Малая и Большая Лаба, Большой Зеленчук, Сулак и Самур. В пределах

центрального района Большого Кавказа будут преобладать гляциальные сели, а в западном и восточном районах — гляциально-дождевые.

Произойдет увеличение числа и объема селей дождевого происхождения. Причиной этого в западном районе будут повышение интенсивности атмосферных осадков и значительное бесконтрольное уничтожение лесной растительности, в центральном и восточном районах — атмосферные осадки, количество которых увеличится при отдельных ливнях (50–100 мм в сутки). Особо значительно может увеличиться селевая деятельность дождевого генезиса в бассейнах рек Сулака и Самура, где имеются огромные массы рыхлых отложений различного происхождения.

Увеличатся число и объем селей в современной потенциальной зоне селей, особенно в районе Пастбищного и Лесистого хребтов центрального района Большого Кавказа, что связано как с увеличением атмосферных осадков, так и с вырубкой лесов на Лесистом хребте.

3.10.6.2. Лавины

В соответствии с некоторыми сценариями изменения климата к середине XXI столетия в регионе температура воздуха в приповерхностном слое атмосферы увеличится на 3,3–3,8°C, а сумма осадков — на 9–17% (Жуков, Святкина, 2000).

Увеличение температуры воздуха и особенно атмосферных осадков окажет весьма существенное влияние на природу горных районов, в том числе и на деятельность снежных лавин. Ожидается как увеличение их активности (Околов, Мягков, 1988; Олейников, Володичева, 2001; Лурье, Панов, 2006; Панов, 2000; Вивчар, 2006), так и уменьшение (Глазовская, Трошкина, 1998). Имеющиеся перспективные оценки в отношении деятельности снежных лавин на середину XXI века можно суммировать следующим образом:

- сократится продолжительность лавиноопасного периода календарного года на высотах 1500–2000 м, и одновременно уменьшится на высотах до 2000 м площадь территории, охваченной лавинами;

- из-за повышенного накопления снега на высотах более 3000 м и повышения температуры воздуха произойдет увеличение повторяемости крупных катастрофических лавин и лавин из мокрого снега;

- произойдет увеличение числа снежных лавин, связанных с интенсивными снегопадами;

- подъем верхней границы леса не окажет существенного влияния на активность снежных лавин, поскольку лес не может быстро (примерно за 50 лет) занять новые “противолавинные” позиции.

Если в ближайшие десятилетия будет продолжаться увеличение температуры воздуха и количества атмосферных осадков в холодный период календарного года, то в рассматриваемом регионе следует ожидать активизации снежных лавин на

высотах более 2000 м в районах Главного и Бокового хребтов. В то же время лавинная деятельность существенно сократится на Скалистом хребте и практически не будет отмечаться на передовых хребтах (Пастбищном и Лесистом).

Значительная неопределенность в перспективных оценках последствий экстремальных метеорологических явлений связана с неопределенностями сценариев эмиссий парниковых газов и сульфатного аэрозоля и модельных оценок возможных климатических изменений. Несмотря на существенный прогресс в климатическом моделировании, возможности современных климатических моделей недостаточны для адекватного воспроизведения экстремальных климатических режимов и их последствий (наводнений, засух, лесных пожаров), особенно на региональном уровне.

3.10.7. Литература

- Авакян А. Б., Истомина М. Н., 2000.** Наводнения в мире в последние годы XX века, Водные ресурсы, т. 27, № 5, с. 517–523.
- Бузин В. А., 2004.** Затопы льда и заторные наводнения на реках, СПб, Гидрометеиздат, 204 с.
- Вивчар А. Н., 2006.** Лавинная деятельность на территории Западного Кавказа в условиях современного изменения климата и интенсивного рекреационного освоения, Тезисы докладов III Международной конференции “Лавины и смежные вопросы”, Кировск, с. 48–49.
- Глазовская Т. Г., Трошкина Е. С., 1998.** Влияние глобального изменения климата на лавинный режим на территории бывшего Советского Союза, Материалы гляциологических исследований, вып. 84, с. 88–91.
- Данилов-Данильян В. И., 2006.** Экологические, экономические и политические аспекты проблемы Киотского протокола, в сб.: Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий: проблема Киотского протокола, М., Наука, 408 с.
- Доброумов Б. М., Тумановская С. М., 2002.** Наводнения на реках России: их формирование и районирование, Метеорология и гидрология, № 12, с. 70–78.
- Дроздов О. А., 1980.** Засухи и динамика увлажнения, Л., Гидрометеиздат, 94 с.
- Жуков В. А., Святкина О. А., 2000.** Стохастическое моделирование и прогноз агроклиматических ресурсов при адаптации сельского хозяйства к региональным изменениям климата на территории России, Метеорология и гидрология, № 1, с. 100–109.
- Катцов В. М., 2006.** Климат Арктики в XXI веке, опыт АСИА, в сб.: Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий: проблема Киотского протокола, М., Наука, 408 с.
- Коломыйц Э. Г., Сурова Н. А., 1985.** Геоэкологический прогноз: антропогенные изменения климата и ответная реакция экосистем Большого Кавказа, Труды ВГИ, вып. 60, с. 6–75.
- Кундцевич З. В., 2004.** Экстремальные гидрологические явления: сильные осадки, наводнения и засухи, в сб.: Труды Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., Новости, с. 240–247.
- Кундцевич З. В., 2006.** Изменения климата и наводнения, Бюллетень ВМО, т. 55(3), с. 170–173.
- Лурье П. М., 2002.** Водные ресурсы и водный баланс Кавказа, СПб, Гидрометеиздат, 506 с.
- Лурье П. М., 2004.** Изменение селевой деятельности на Северном Кавказе в связи с климатическими условиями, в сб.: Защита народнохозяйственных объектов от воздействия селевых потоков, вып. 2, Пятигорск, Севкавгипрорудхоз, с. 30–44.
- Лурье П. М., Панов В. Д., 2003.** Речной сток Кавказа в условиях современного изменения климата, Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., ИГКЭ, с. 256.
- Лурье П. М., Панов В. Д., 2006.** Изменение деятельности снежных лавин на северном склоне Большого Кавказа в связи с климатическими условиями, Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества, Приложение 1, с. 47–54.
- Лурье П. М., Панов В. Д., Ткаченко Ю. Ю., 2005.** Река Кубань: гидрография и режим стока, СПб, Гидрометеиздат, 498 с.
- Малевский-Малевич С. П., Молькентин Е. К., Надеждина Е. Д., Шкляревич О. Б., 2005.** К оценке изменений пожароопасной обстановки в лесах России при ожидаемом потеплении климата в XXI веке, Метеорология и гидрология, № 3, с. 36–44.
- Манабе С., Везеролд Р., 2003.** Изменение водных запасов в масштабах столетия вследствие глобального потепления, Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., ИГКЭ, с. 14–15.
- Мелешко В. П., Голицин Г. С., Говоркова В. А. и др., 2004.** Возможные антропогенные изменения климата России в XXI веке: оценки по ансамблю климатических моделей, Метеорология и гидрология, № 4, с. 38–49.
- Мохов И. И., Семенов В. А., Хон В. У., 2002.** Региональные вариации гидрологического режима в XX веке и модельные оценки их изменений в XXI веке, в сб.: Глобальные изменения климата и их последствия для России, М., Региональная общественная организация ученых по проблемам прикладной геофизики, с. 310–333.
- Мохов И. И., Дюфрен Ж.-Л., Ле Трет Э. и др., 2005.** Изменения режимов засух и биопродуктивности наземных экосистем в регионах Се-

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

- верной Евразии по расчетам с глобальной климатической моделью с углеродным циклом, Доклады РАН, т. 405, № 6, с. 810–814.
- Околов В. Ф., Мягков С. М., 1988.** Долгосрочный прогноз изменений опасных климатических явлений на примере лавин, в сб.: Проблемы изучения опасных геологических процессов, М., Изд-во МГУ, с. 28–42.
- Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху, 2006.** Под ред. В. М. Котлякова, М., Наука, 482 с.
- Олейников А. Д., Володичева Н. А., 2001.** Динамика лавинной деятельности на Кавказе в связи с изменениями климата в XX столетии, Материалы гляциологических исследований, вып. 91, с. 87–95.
- Панов В. Д., 1993.** Эволюция современного оледенения Кавказа, СПб, Гидрометеиздат, 431 с.
- Панов В. Д., 2000.** Климатические условия и экологическое состояние горной зоны Карачаево-Черкесской Республики, в сб.: Оценка экономического состояния горных и предгорных экосистем Кавказа, вып. 3, Ставрополь, Кавказский край, с. 53–62.
- Померанец К. С., 2005.** Три века петербургских наводнений, СПб, Искусство — СПб, 213 с.
- Ранькова Э. Я., 2005.** Климатическая изменчивость и изменения климата за период инструментальных наблюдений. Диссертация в виде научного доклада на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, М., ИГКЭ, 67 с.
- Семенов В. А., 2007.** Ресурсы поверхностных вод гор России и сопредельных территорий, Горно-Алтайск, РИО ГАГУ, 147 с.
- Сиротенко О. Д., Грингоф И. Г., 2006.** Оценка влияния ожидаемых изменений климата на сельское хозяйство РФ, Метеорология и гидрология, № 8, с. 98–101.
- Таратунин А. А., 2000.** Наводнения на территории Российской Федерации, Екатеринбург, Изд-во РосНИИВХ, 406 с.
- Хрусталеv Ю. П., Панова С. В., 2002.** Снеговые линии Большого Кавказа, Ростов-на-Дону, Изд-во РГУ, 143 с.
- Шерстюков Б. Г., 2003.** Метеорологические факторы горимости леса, засушливости погоды во второй половине XX века и экстремальные условия 2002 года в Московском регионе. Анализ климатической изменчивости и оценки возможных изменений климата, Труды ВНИИГМИ-МЦД, вып. 171, с. 79–88.
- Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б., 2007.** Климатические условия потенциальной горимости леса в России в XX и XXI веках, Труды ВНИИГМИ-МЦД, вып. 173.
- Шикломанов И. А., 2002.** Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы, в сб.: Глобальные изменения климата и их последствия для России, М., Региональная общественная организация ученых по проблемам прикладной геофизики, с. 384–404.
- Школьник И. М., Мелешко В. П., Катцов В. М., 2006.** Возможные изменения климата на Европейской части России и сопредельных территориях к концу XXI века: расчет с региональной моделью ГГО, Метеорология и гидрология, № 3, с. 5–16.
- Climate Change 2001, 2001.** Synthesis Report. Contributions of Working Group I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Watson R. T. and the Core Writing Team (eds.), Cambridge University Press, 397 p.
- Climate Change 2007, 2007a.** The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S. D., Qin M., Manning Z., Chen M., Marquis K. B., Averyt M., Tignor M., and Miller H. L., eds., Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 996 p.
- Climate Change 2007, 2007b.** Impacts, Adaptations and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., and Hanson C. E., eds., Cambridge, Cambridge University Press, 976 p.
- Flannigan M. D. and Van Wagner C. E., 1991.** Climate change and wildfire in Canada, Can. J. Forest Res., vol. 21, pp. 66–72.
- Fosberg M. A., Stocks B. J., and Lynham T. J., 1998.** Risk analysis in strategic planning: Fire and climate change in boreal forest, in: Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia, Goldammer J. G. and Furyaev V. V. (eds.), Oxford, UK, Oxford University Press, pp. 495–504.
- Houghton R. A., 1991.** Biomass burning from the perspective of the global carbon cycle, in: Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications, Levin J. S. (ed.), Cambridge, The MIT Press, Cambridge University Press, 129 p.
- Kasischke E. S., Christensen N. L., Jr., and Stocks B. J., 1995.** Fire, global warming, and the carbon balance of boreal forests, Ecol. Appl., vol. 5, pp. 437–451.
- Price C. and Rind D., 1994.** The impact of a $2 \times \text{CO}_2$ climate on lightning-caused fires, J. Climate, vol. 7, pp. 1484–1494.
- Torn M. S. and Fried J. S., 1992.** Predicting the impact of global warming on wildland fire, Climatic Change, vol. 21, pp. 257–274.
- Wotton B. M. and Flannigan M. D., 1993.** Length of the fire season in a changing climate, Forestry Chronicle, vol. 69, pp. 87–192.