

УДК 551.5

В.В. Виноградова¹

ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКОЙ ДИСКОМФОРТНОСТИ В XX–XXI веках НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Проведено исследование природных и климатических условий России с использованием районирования территории по природным условиям жизни населения – на основании степени воздействия природных факторов: холода, жары, влажности, высоты местности, стихийных явлений. Уточнена карта «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» для климатических условий второй половины XX и начала XXI веков, дана оценка изменения этих условий в середине XXI века (по результатам численных экспериментов на глобальной климатической модели Института вычислительной математики (ИВМ) РАН). Исследованы наиболее изменчивые климатические факторы (тепловой, холодовой, ветровой). В конце XX – начале XXI веков в России заметно сократились площади территорий с абсолютно неблагоприятными условиями, в основном за счет расширения площадей с очень неблагоприятными условиями. Основные изменения в конце XX века отмечались на Дальнем Востоке и на юге Сибири, в начале XXI века – на европейской территории России. Результаты расчетов на глобальной климатической модели (INMCM4) Института вычислительной математики (ИВМ) РАН показывают, что изменение климата в середине XXI века (2046–2055 гг.) может вызвать улучшение природных и климатических условий в России. Сценарий RCP4.5 показывает ситуацию, мало чем отличающуюся от текущего состояния (2001–2010 гг.), а сценарий RCP8.5 – сокращение территорий с неблагоприятными условиями на 2–4% по сравнению с современным состоянием. Наибольшие изменения ожидаются на Дальнем Востоке и на европейской части России.

Ключевые слова: дискомфорт, районирование России, природные условия жизни населения, климатические факторы, модельные прогнозы.

Введение. Многочисленные оценки изменения климата указывают на продолжающееся глобальное потепление: средняя скорость потепления для суши Северного полушария составляет $+0,328^{\circ}\text{C}/10$ лет за 1976–2012 гг. и $+0,105^{\circ}\text{C}/10$ лет за 1901–2012 гг. При этом начало XXI века оставалось самым теплым 12-летием за период инструментальных наблюдений [Второй оценочный доклад ..., 2014]. В последние годы на территории России скорость потепления составляла $+0,43^{\circ}\text{C}/10$ лет, но стали заметнее межсезонные различия. Во все сезоны, кроме зимнего, скорость потепления несколько увеличилась, а зимой, напротив, заметно уменьшилась. Областями наиболее интенсивного потепления являются европейская часть России (ЕЧР) – зимой, Сибирь – весной, северо-восток России – весной и осенью. Наблюдается область усиления похолодания зимних сезонов на крайнем северо-востоке России и сформировалась обширная область похолодания зим на юге Западной Сибири, которая постепенно распространяется на всю азиатскую территорию России [Второй оценочный доклад ..., 2014]. В Москве за период 1954–2013 гг. наблюдался значимый положительный линейный тренд температуры воздуха – $0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$, а за период 1976–2012 гг. он увеличился до $0,07^{\circ}\text{C}/\text{год}$. В Центральном федеральном округе линейный тренд за тот же период составил $0,06^{\circ}\text{C}/\text{год}$, а в целом в России – $0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$ [Чубарова с соавт., 2014].

Модельные прогнозы для середины и конца XXI века подтверждают сохранение существующих тен-

денций. В частности, показано, что на европейской территории России и в Западной Сибири потепление климата сохранится. Особенно заметно оно будет в осенне-зимний период, причем зимой рост температуры будет максимальным, и он затронет весь север территории. Осенью потепление затронет север и северо-восток Западной Сибири [Эколого-географические последствия ..., 2011].

В связи с этим возрастает актуальность задачи адаптации районирования России по природным условиям жизни населения к условиям современного и ожидаемого потепления климата с учетом изменения его средних характеристик, а также увеличения экстремальности, особенно в Арктической зоне. Ожидаются как положительные, так и отрицательные последствия потепления для жизнедеятельности населения и инфраструктуры различных регионов России. При этом устойчивое развитие многих регионов России лимитируется неблагоприятными факторами природной среды. Такие регионы, согласно карте «Районирование территории Севера России по природно-климатическому фактору», занимают 68% территории страны [Виноградова, Золотокрылин, 2014; Золотокрылин с соавт., 2012а; 2012б]. Эти территории могут быть отнесены к местностям с особыми климатическими условиями, стратегию развития которых во многом определяет природно-климатическая дискомфортность.

Целью работы явились адаптация карты «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» к условиям

¹ Институт географии РАН, лаборатория климатологии, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: vvvinog@yandex.ru

современного климата (2001–2010 гг.) и оценка изменений для модельного потепления климата в середине XXI века (2046–2055 гг.).

Материал и методы исследований. В России и за рубежом существуют разные подходы к районированию территории по природным условиям жизни населения, использующие физико-географические, экономико-географические, статистические и комплексные показатели и биоклиматические индексы. Достаточно подробно эти методики изложены в монографии А.Н. Золотокрылина [Золотокрылин с соавт., 2012а]. В настоящей работе была использована методика районирования территории России по степени влияния природных условий на жизнедеятельность населения для оценки возможных изменений этих условий при наблюдаемом в начале XXI века (2001–2010 гг.) и ожидаемом в середине XXI века (2046–2055 гг.) потеплении климата. Главная особенность методики состоит в том, что природно-климатические условия характеризуются количественной интегральной балльной оценкой [Виноградова, Золотокрылин с соавт., 2008; Золотокрылин, Кренке с соавт., 2012а; 2012б].

Для получения интегральной оценки природной дискомфортности в баллах в каждой точке градусной сетки определяется средний балл показателей зональных факторов с последующей их коррекцией при помощи азональных факторов.

Районирование территории Российской Федерации по природно-климатическим условиям состоит из следующих этапов:

- 1 – определение факторов природной дискомфортности;
- 2 – разделение их на зональные и азональные;
- 3 – подбор независимых показателей для каждого фактора;
- 4 – построение карт для каждого показателя в абсолютных единицах;
- 5 – задание критерия изменения показателя (градации показателя) для перевода их в относительные единицы (баллы);
- 6 – вычисление интегрального показателя дискомфортности на основе усреднения баллов выбранных факторов в узлах заданной градусной сети;
- 7 – определение градаций интегральных показателей, соответствующих различным зонам дискомфортности;
- 8 – построение интегральной карты природной дискомфортности.

К зональным отнесены следующие факторы (показатели): астрономический (А) (продолжительность дня и ночи); радиационный (В) (ультрафиолетовая недостаточность–избыточность); холодной (С), (сумма отрицательных температур воздуха, продолжительность периода с температурой ниже -30°C (D), продолжительность отопительного периода (E)); мерзлотный (F) (мощность сезонно-талого слоя); тепловой (продолжительность безморозного периода (G), сумма температур за период с устойчивыми температурами выше $+10^{\circ}\text{C}$ (H)); увлажненность территории (I) (вегетационный ин-

декс NDVI); ветровой (J) (индекс влажного ветрового охлаждения Хилла $H_w = H_a + (0,085 + 0,102v^{0,3})(61,1 - e)^{0,75}$ [Gregorczyk, 1970]); изменчивость атмосферного давления (K) (среднеквадратическое отклонение суточных величин давления).

К азональным – горный (Aa) (абсолютная высота местности); заболоченность (Ba) (относительная заболоченность территорий); стихийные явления (сейсмичность (Ca), наводнения (Da), тайфуны (Ea), цунами (Fa)).

Перевод показателей из абсолютных единиц в баллы осуществлялся так, чтобы границы зон дискомфортности по возможности соответствовали границам природных зон, хотя они могут отличаться в разных меридиональных секторах. Подробно градации показателей, соответствующие различным баллам дискомфортности, представлены в литературе [Виноградова, Золотокрылин с соавт., 2008; с соавт., 2012а; 2012б].

Интегральная оценка природной дискомфортности (ИПД) в баллах состоит в вычислении в узлах градусной сетки $2,5 \times 2,5^{\circ}$ среднего балла показателей зональных факторов с последующей поправкой на суммы баллов показателей азональных факторов.

Для получения этой оценки в каждой точке градусной сетки вычисляется средний балл показателей зональных факторов (СБЗП). СБЗП вычисляется по формуле:

$$\text{СБЗП} = (A + B + C + D + E + F + G + H + I + J + K) / N,$$

где N – число учитываемых факторов дискомфортности в данной точке, А, В, С, D, E, F и т. д. соответственно показатели факторов ультрафиолетовой недостаточности (избыточности), холода, мерзлотного, теплового, увлажненности, ветрового факторов.

Затем вычисляется СБАП – сумма баллов показателей азональных показателей для каждой точки:

$$\text{СБАП} = (Aa + Ba + Ca + Da + Ea + Fa),$$

где Aa; Ba; Ca; Da; Ea; Fa – соответственно, показатели азональных факторов: горного, заболоченности, сейсмичности, наводнений, тайфунов, цунами.

Оценка СБАП считается незначимой и далее не учитывается в интегральной оценке, если СБАП менее 8 баллов. В идеальном случае такая сумма возможна при равенстве показателей (2 балла), то есть азональные факторы относятся к благоприятным градациям. Если СБАП варьирует в диапазоне от 8 до 16 баллов, то к СБЗП прибавляется 0,5 балла. В этом случае некоторые из азональных факторов относятся к неблагоприятным градациям. Если какой-нибудь из показателей равняется 6 баллам или если СБАП превышает 16 баллов, то к СБЗП прибавляется один балл. В таком случае большинство азональных факторов относятся к неблагоприятным градациям и существенно ухудшают условия, которые оценивались с помощью зональных факторов.

На основании описанной выше методики для среднесуточных условий (1961–1990 гг.) была построена карта «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» (рис. 1, А) [Виноградова, Золотокрылин с соавт., 2008; Золотокрылин с соавт., 2012а]. На ней выделено 7 зон с неблагоприятными или благоприятными условиями: I – абсолютно неблагоприятная; II – очень неблагоприятная; III – неблагоприятная; IV – условно неблагоприятная; V – условно благоприятная; VI – благоприятная; VII – наиболее благоприятная.

При адаптации карты «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» к современному климату использовались данные метеорологической сети [Архив ВНИИГМИ-МЦД]. В качестве исходных данных для оценки возможных изменений условий жизни населения в середине XXI века (2046–2055 гг.) использовались результаты расчетов, полученных на глобальной климатической модели (INMCM4) Института вычислительной математики РАН [Volodin, 2014; Volodin, Dianskii et al., 2010]. В модель включен интерактивный расчет углеродного цикла, цикла метана, химия атмосферы. Модель участвует в СМIP5.

Были использованы результаты расчетов по двум сценариям, согласно которым радиационный форсинг от увеличения концентрации парниковых газов к 2100 г. составит соответственно 8,5, 4,5 Вт/м². Глобальное потепление по модельным расчетам к концу XXI века составит 1,9° К для сценария RCP4.5 и 3,4° К для сценария RCP8.5. Это соответствует предположениям об отсутствии ограничения выбросов и умеренному ограничению выбросов [Volodin, 2014; Volodin, Dianskii et al., 2010]. Используются суточные значения температуры и влажности воздуха, скорости ветра за период 2046–2055 гг. с пространственным разрешением 2,0×1,5° по долготе и широте.

Проанализированы наиболее быстро меняющиеся климатические факторы и показатели, входящие в суммарный балл дискомфорта: тепловой, холодной и ветровой и построены карты следующих зональных показателей с шагом 2,5×2,5°: сумма отрицательных температур воздуха, продолжительность периода с температурой воздуха ниже –30°С, продолжительность отопительного периода, продолжительность безморозного периода, сумма температур за период с устойчивыми температурами выше +10°С, индекс влажного ветрового охлаждения Хилла для начала и середины XXI века. Затем построена карта интегральной балльной оценки природной дискомфорта для середины XXI века (2046–2055 гг.), при этом тепловой, холодной и ветровой факторы рассчитаны по модельным прогнозам, а такие зональные показатели, как продолжительность дня и ночи, ультрафиолетовая недостаточность–избыточность, мощность сезонно-талого слоя, вегетационный индекс и азональные показатели: абсолютная высота местности, относительная

заболоченность территорий, сейсмичность, наводнения, тайфуны, цунами полагались неизменными.

Также было проведено сравнение баллов дискомфорта, рассчитанных по данным модели ИВМ для исторического климата с расчетами, полученными по данным метеостанций. Сравнение проводилось для периода 1991–2000 гг. Относительные ошибки вычисления балла дискомфорта по результатам моделирования определялись как отношение разности балла дискомфорта, рассчитанного по данным наблюдений и по модельным данным к баллу дискомфорта по данным наблюдений (%). При расчете по модели INMCM4 они составили (средняя/максимальная): на ЕЧР (30–60° в. д.) 6/60; в Западной Сибири (60–90° в. д.) 8/28; в Восточной Сибири (90–120° в. д.) 4/28; на Дальнем Востоке (120–180° в. д.) 5/50; по всей России (30–180° в. д.) 5/60%.

Средняя относительная ошибка расчета интегрального балла дискомфорта с использованием модельных данных составляет 4–8%. Максимальная ошибка составляет 60%, она отмечается всего в одном квадрате на юго-западе ЕЧР. При этом на большей части территории России интегральный балл дискомфорта, рассчитанный по модельным данным больше, чем полученный по данным метеорологической сети. Таким образом, по модельным данным условия жизни населения получаются немного хуже, чем по данным наблюдений. Максимальные ошибки отмечаются по югу территории. В целом модель дает хорошие результаты расчета интегрального балла дискомфорта и может быть использована для прогноза будущих изменений условий дискомфорта на территории России.

Результаты исследований и их обсуждение. На основании оценки изменения отдельных показателей при потеплении климата вычислена интегральная балльная оценка природной дискомфорта и построена карта «Районирование территории России по природным условиям жизни населения» для условий современного климата (2001–2010 гг.) и середины XXI века (2046–2055 гг.). Сравнение полученных карт с картой «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения», построенной для среднесуточных условий, позволяет определить области наибольших изменений природно-климатических условий на территории России, произошедших в начале нынешнего века, и возможных дальнейших изменений в середине века за счет температурного и ветрового факторов.

Изменения природно-климатического дискомфорта в конце XX – начале XXI веков. На рис. 1 представлены карты «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» для среднесуточных условий (1961–1990 гг.) и для начала XXI века (2001–2010 гг.). Сравнение карт показывает, что современное потепление климата привело к значительному ослаблению дискомфорта на территории России. Это особенно

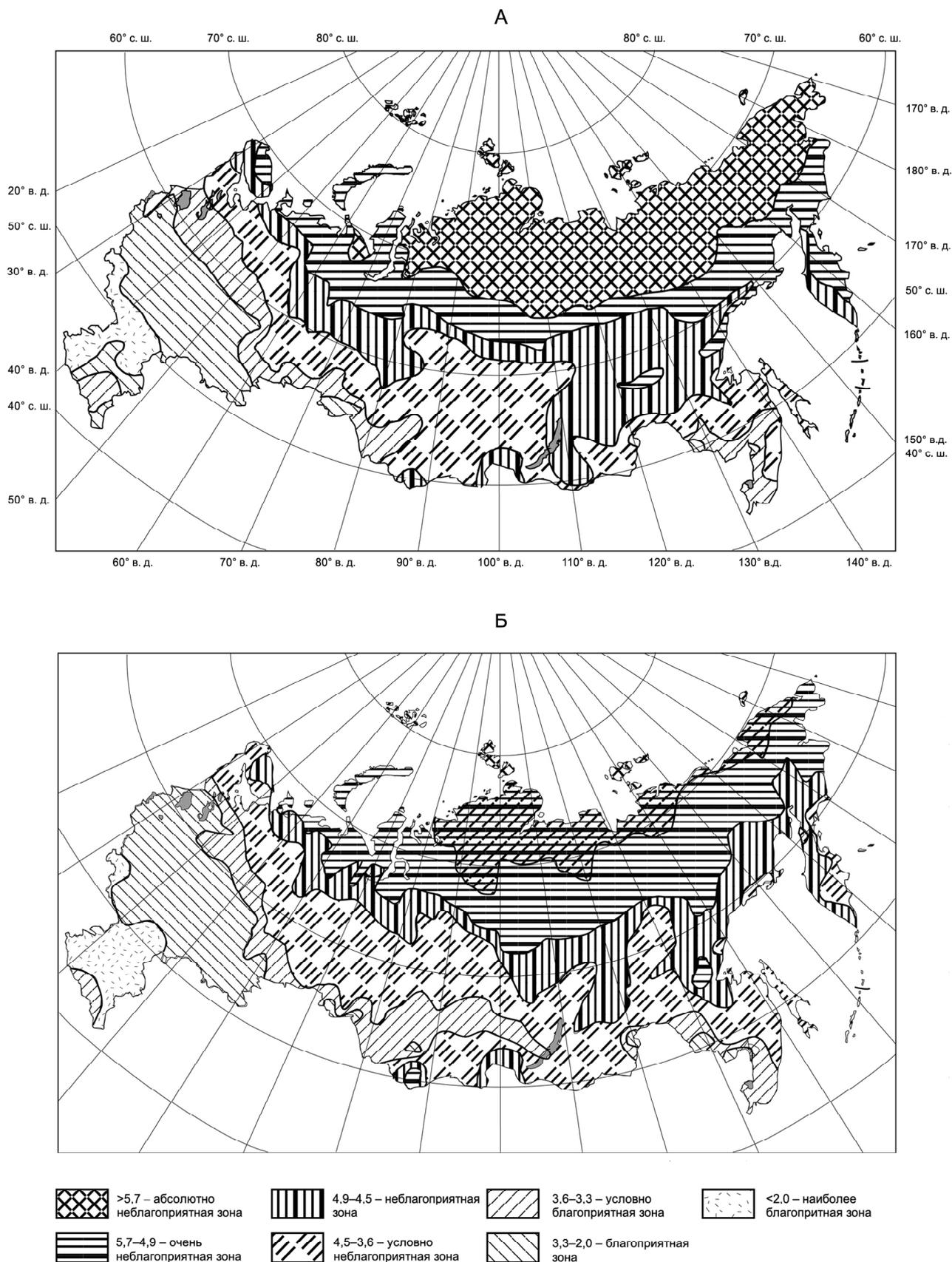


Рис. 1. Карта «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» (А) для средне-многолетних условий (1961–1990 гг.) и для начала XXI века (2001–2010 гг., Б)

Fig. 1. Zoning of the Russian Federation according to the natural living conditions of the population (A) for long-term average conditions (1961–1990), (Б) for the beginning of the 21st century (2001–2010)

заметно в Северных и Арктических регионах, где произошло заметное сокращение территорий с абсолютно неблагоприятными условиями, в основном за счет увеличения площадей территорий с очень неблагоприятными условиями (более мягкая градация дискомфорта). Южная граница неблагоприятных территорий смещается к северу, особенно в Западной и Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. За счет этого расширяется менее суровая условно неблагоприятная зона в Западной Сибири и на юге Восточной Сибири (рис. 1, Б). В европейской части России расширяется и продвигается в более северные районы благоприятная зона (приблизительно до 60° широты).

В конце XX века улучшение условий жизни происходило на Дальнем Востоке и на юге Сибири. В начале XXI века основное ослабление дискомфорта наблюдалось в центральной части европейской территории России. На юге ЕЧР условия практически не изменились.

В табл. 1 показаны площади (% от территории России) зон дискомфорта для среднесезонных условий, для конца XX и начала XXI веков. Площади вычислялись как отношение количества ячеек со значениями балла дискомфорта, соответствующего определенной градации, к общему количеству ячеек на территории России (%).

Наблюдается устойчивое сокращение абсолютно неблагоприятной зоны за счет расширения менее неблагоприятных зон. Например, расширение очень неблагоприятной зоны в 1991–2000 гг. до 23%, по сравнению с 21% в 1961–1990 гг. за счет сокращения абсолютно неблагоприятной зоны и ее последующее сокращение в 2001–2010 гг. до 21% за счет перехода части территорий в более мягкую, неблагоприятную градацию. Площадь абсолютно неблагоприятной зоны к началу нынешнего столетия сокращается на 8%, а площадь условно неблагоприятной зоны увеличивается на 8%. Площадь неблагоприятной зоны уменьшается на 5%, а благоприятная зона немного расширяется – на 3%, причем в основном в начале XXI века.

Анализ наиболее быстро меняющихся климатических факторов – теплового и холодного – позволяет оценить вклад этих факторов и входящих в него показателей в изменение суммарного балла дискомфорта при современном потеплении климата. Изменения площадей территорий с различными градациями дискомфорта суммы отрицательных температур воздуха, периода с температурой воздуха ниже –30°C, продолжительности отопительного периода, продолжительности безморозного периода, суммы температур за период с устойчивыми температурами выше +10°C показаны на рис. 2.

В начале XXI века наблюдается уменьшение суммы отрицательных температур по сравнению со среднесезонными условиями (рис. 2, А). Территории с абсолютно неблагоприятными условиями по этому показателю сокращаются особенно значительно – на 10%. При этом на 2–9% увеличиваются площади территорий с более мягкими градациями – неблагоприятные и условно неблагоприятные. Изменения особенно заметны на побережье Дальнего Востока, на юге Сибири и на европейском севере.

Наиболее существенно уменьшается число дней с температурой воздуха ниже –30°C. Площадь территорий с абсолютно неблагоприятными условиями по этому показателю в 1990-е годы сокращается на 7% по сравнению со среднесезонными условиями, а в 2000-е – уменьшается еще на 9%, то есть эти территории в России практически исчезают (рис. 2, Б). Очень неблагоприятная зона тоже сокращается с 11% в 1961–1990 гг. до 2% в 2001–2010 гг. при небольшом увеличении (на 3%) в 1990-е годы. Площади, занимаемые территориями с более благоприятными градациями (от неблагоприятной до условно благоприятной), за тот же период увеличиваются на 1–6%. Очень существенно – на 13% расширяется благоприятная зона, особенно на европейской территории и на юге Приморского края. Наибольшие изменения наблюдаются в Восточной Сибири и на европейской территории.

Таблица 1

Площадь зон дискомфорта (% от территории России) для среднесезонных условий (1961–1990 гг.), для конца XX (1991–2000 гг.) и начала XXI (2001–2010 гг.) веков

Зоны природной дискомфорта	Баллы	Период, годы		
		1961–1990	1991–2000	2001–2010
Абсолютно неблагоприятная	>5,7	23	18	15
Очень неблагоприятная	5,7–4,9	21	23	21
Неблагоприятная	4,9–4,5	19	13	14
Условно неблагоприятная	4,5–3,6	22	30	30
Условно благоприятная	3,6–3,3	6	5	6
Благоприятная	2,0–3,3	7	8	10
Наиболее благоприятная	<2,0	2	2	2

Меньше всего в начале XXI века изменилась продолжительность отопительного периода. Площади территорий с различным уровнем дискомфорта по этому показателю изменяются на 1–3% (рис. 2, В). Но на европейской территории и на юге Западной Сибири наблюдается сокращение отопительного периода.

На рис. 2, Г показано изменение суммы активных температур выше +10 °С в конце XX – начале XXI веков по сравнению со среднегодовым периодом (1961–1990 гг.). Наблюдается рост суммы активных температур в северных регионах и значительное сокращение площади территорий, неблагоприятных по этому показателю. Так, площадь абсолютно неблагоприятных территорий сократилась на 19%, а площади условно неблагоприятных и условно благоприятных территорий увеличились на 11 и 6% соответственно. Изменения особенно заметны в Арктике, на Дальнем Востоке и на европейской территории.

Аналогичные изменения отмечаются для показателя продолжительности безморозного периода. Так, в 2000-е годы абсолютно неблагоприятные по этому показателю территории сокращаются особенно значительно – на 28% (рис. 2, Д). При этом неблагоприятные, условно неблагоприятные и условно благоприятные территории увеличиваются на 8, 12 и 5% соответственно. Основные изменения (сокращение абсолютно неблагоприятной зоны) происходят в Арктике, Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. На европейской территории и на юге Западной Сибири расширяются площади условно неблагоприятных и условно благоприятных территорий.

Таким образом, тепловой и холодовой факторы вносят значительный вклад в изменение суммарного балла дискомфорта при современном потеплении климата. Основные изменения связаны с уменьшением суммы отрицательных температур, в основном за счет уменьшения числа дней с очень низкими температурами, с ростом суммы активных температур и увеличением безморозного периода.

Изменения природно-климатического дискомфорта в середине XXI века. По данным глобальной климатической модели (INMCM4) Института вычислительной математики (Volodin, 2014; Volodin, Dianskii et al., 2010; 2013) была построена

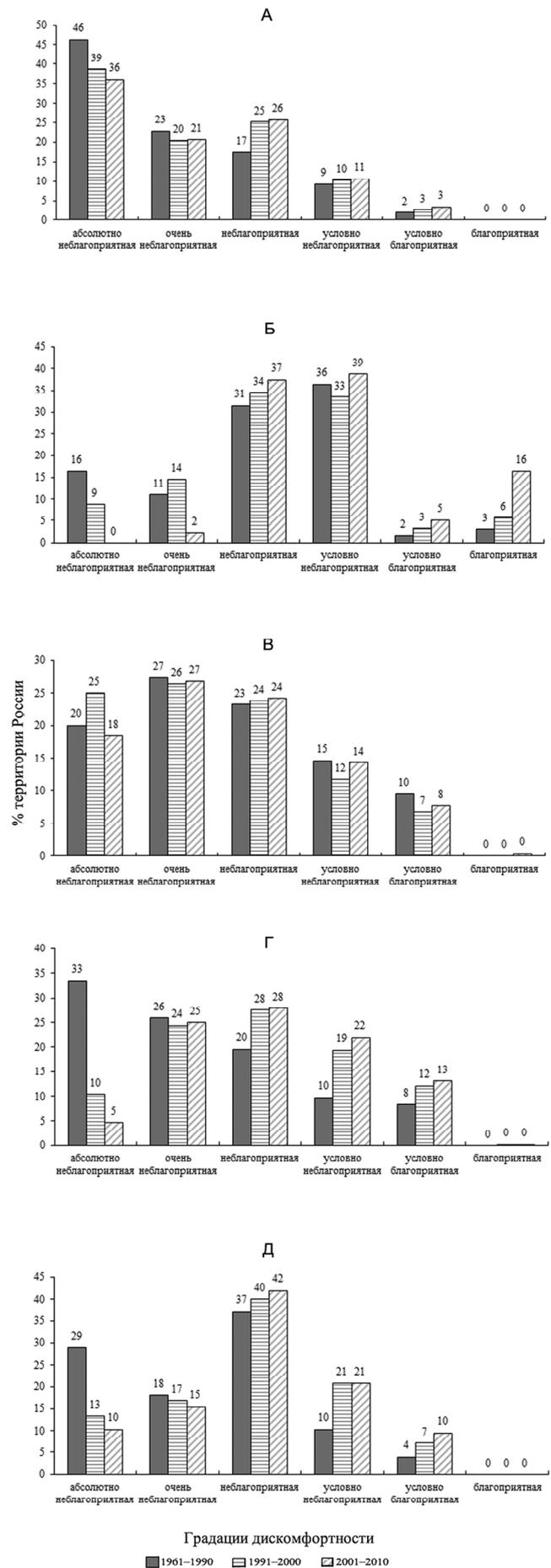


Рис. 2. Факторы: холодовой (показатели: сумма отрицательных температур (А), продолжительность периода с температурой воздуха ниже –30°С (Б), продолжительность отопительного периода (В)) и тепловой (показатели: продолжительность безморозного периода (Г), сумма температур за период с устойчивыми температурами выше +10°С (Д)) для среднегодовым условий (1961–1990 гг.), для конца XX (1991–2000 гг.) и начала XXI веков (2001–2010 гг.)

Fig. 2. The cold factor (indicators: sum of below zero temperatures (A), duration of the period with temperatures below –30 °C (B), duration of the heating period (V)) and the heat factor (indicators: duration of the frost-free period (Г), sum of temperatures above +10 °C (Д)) for the long-term average conditions (1961–1990), the end of the 20th century (1991–2000) and the beginning of the 21st century (2001–2010)

карта интегральной бальной оценки природной дискомфорта условий жизни населения в середине XXI века (рис. 3). Использовались результаты расчетов по двум сценариям (RCP4.5, RCP8.5).

Были проанализированы 3 наиболее быстро меняющиеся климатические факторы – тепловой, холодовой и ветровой для условий модельного климата в середине XXI века (2046–2055 гг.). Изменения трех показателей холодового фактора (суммы отрицательных температур воздуха, числа дней с температурой воздуха ниже -30°C и продолжительности отопительного периода) позволяет говорить об уменьшении экстремально низких температур и суммы отрицательных температур при модельном потеплении климата и небольшом уменьшении продолжительности отопительного периода. При этом сокращение числа дней с температурой воздуха ниже -30°C при современном потеплении (2001–2010 гг.) уже превышает значения, полученные по обоим сценариям, особенно на ЕЧР, в Центральной и Восточной Сибири. Сокращение продолжительности отопительного периода при модельном потеплении может говорить об увеличении повторяемости температур близких к нулю к середине XXI века.

Оба показателя теплового фактора (сумма температур за период с устойчивыми температурами

выше $+10^{\circ}\text{C}$ и продолжительность безморозного периода) возрастают в середине XXI века (2046–2055 гг.) для обоих сценариев, причем для сценария RCP8.5 – более существенно. Улучшение условий по тепловому фактору особенно заметно на юге Восточной Сибири и на европейской части России. Ветровой фактор (индекс влажного ветрового охлаждения Хилла) существенно возрастает по модельным прогнозам, что скорее всего говорит о завышении скорости ветра моделью.

Сравнение карт для современного потепления климата (2001–2010 гг.) и для модельных сценариев (2046–2055 гг.) показывает, что значения суммарного балла дискомфорта в начале XXI века мало отличается от значений, рассчитанных по модельным сценариям для середины XXI века (рис. 1, Б, 3). Но по сравнению со среднесезонными условиями (1961–1990 гг.) ослабление дискомфорта по модельным прогнозам на территории России довольно значительно (рис. 1, А, 3).

В середине XXI века наблюдается сокращение территорий с абсолютно неблагоприятными условиями в Северных и Арктических регионах и расширение очень неблагоприятных (более слабая градация дискомфорта) территорий (рис. 3). На юге Западной Сибири и Восточной Сибири расширяет-

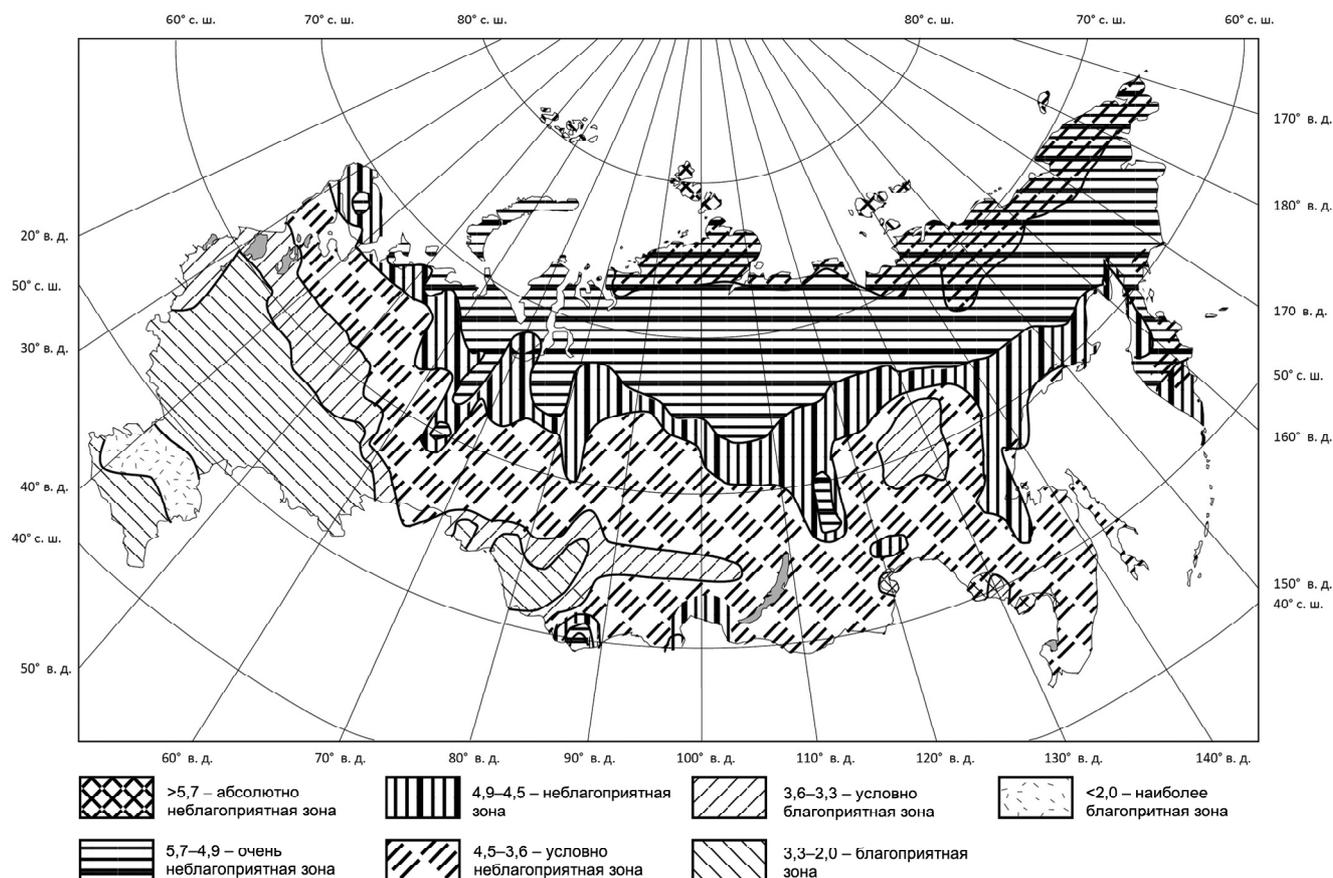


Рис. 3. Карта «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» для сценария RCP8.5 глобальной климатической модели (INMCM4) Института вычислительной математики (2046–2055 гг.)

Fig. 3. Zoning of the Russian federation according to natural living conditions of the population for scenario RCP8.5 of the global climate model (INMCM4) elaborated at the Institute of Computational Mathematics (for 2046–2055)

ся условно неблагоприятная зона. А на европейской части России оба сценария показывают продвижение на север благоприятной зоны.

Основные отличия современных условий от модельного прогноза отмечаются на Дальнем Востоке, где по модельным расчетам условия оказываются немного хуже и на юге ЕЧР, где площадь наиболее благоприятной зоны оказывается меньше, чем в начале XXI века (рис. 1, Б, 3).

В табл. 2 представлено соотношение площадей зон дискомфорта в середине XXI века для двух модельных сценариев потепления климата и для современных условий (2001–2010 гг.), которое подтверждает приведенные выше особенности.

По обоим сценариям уменьшение площади неблагоприятных территорий составляет 5–7% по сравнению со среднесезонными условиями (1961–1990 гг.), но при этом модельные прогнозы мало отличаются от современных условий (2001–2010 гг.). Более жесткий по сравнению с современным климатом сценарий RCP8.5 показывает уменьшение площади абсолютно неблагоприятных территорий на 3% и увеличение площади очень неблагоприятных и условно неблагоприятных территорий на 2 и 4% соответственно, но эти изменения малы и сопоставимы с погрешностью расчетов. Суммарный балл дискомфорта, рассчитанный по результатам модели для сценария RCP4.5 мало отличается от современных условий. Основное отличие – расширение очень неблагоприятной зоны на 5%. Сокращение площади наиболее благоприятных территорий в 2046–2055 гг. по сравнению с 2001–2010 гг., по-видимому, связано с небольшим завышением суммарного балла дискомфорта по модельным данным.

Выводы:

– в конце XX – начале XXI веков в Северных и Арктических регионах России заметно сокращение территорий с абсолютно неблагоприятными условиями, в основном за счет расширения очень неблагоприятных территорий (более мягкая градиация дискомфорта). Южная граница неблагоприятных территорий смещается к северу, что особенно заметно в начале XXI века. За счет этого расширяется условно неблагоприятная зона. Основные изменения в конце XX века отмечались на Дальнем Востоке и на юге Сибири, а в начале XXI века – на европейской территории России;

– изменение суммарного балла дискомфорта при современном потеплении климата в значительной степени обусловлено тепловым и холодным факторами. Изменения связаны с уменьшением суммы отрицательных температур и числа дней с очень низкими температурами, а также с ростом суммы активных температур и увеличением безморозного периода;

– оценка условий дискомфорта жизни населения в середине XXI века (2046–2055 гг.) проводилась с использованием результатов расчетов на глобальной климатической модели (INMCM4) Института вычислительной математики. Сценарий RCP4.5 показывает ситуацию, мало отличающуюся от современного состояния (2001–2010 гг.), а для сценария RCP8.5 возможно сокращение территорий с неблагоприятными условиями на 2–4% по сравнению с современным состоянием, что сопоставимо с погрешностью расчетов. Наибольшие изменения будут наблюдаться на Дальнем Востоке и на европейской части России.

Таблица 2

Площади зон дискомфорта (% от территории России) в начале XXI (2001–2010 гг.) и в середине XXI (2046–2055 гг.) веков для двух модельных сценариев (RCP4.5 и RCP8.5) глобальной климатической модели (INMCM4) Института вычислительной математики

Зоны природной дискомфорта	Баллы	Период, годы (модель)		
		2001–2010	2046–2055 (RCP4.5)	2046–2055 (RCP8.5)
Абсолютно неблагоприятная	>5,7	15	16	12
Очень неблагоприятная	5,7–4,9	21	26	23
Неблагоприятная	4,9–4,5	14	14	15
Условно неблагоприятная	4,5–3,6	30	32	34
Условно благоприятная	3,6–3,3	6	3	6
Благоприятная	2,0–3,3	10	10	10
Наиболее благоприятная	<2,0	2	1	1

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-10236).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архив ВНИИГМИ-МЦД, <http://www.meteo.ru>.
- Виноградова В.В., Золотокрылин А.Н. Современные и ожидаемые изменения климатического фактора в оценке природных условий жизни населения в Федеральных округах Российской Федерации // Изв. РАН. Сер. геогр. 2014. № 4. С. 16–21.
- Виноградова В.В., Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н. Районирование территории Российской Федерации по природно-климатическим условиям // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 5. С. 106–117.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1009 с.
- Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н., Виноградова В.В. Районирование России по природным условиям жизни населения. М.: Геос, 2012а. 156 с.
- Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н., Виноградова В.В. Новое районирование территории севера Российской Федерации по природным условиям для жизни населения // Изв. РАН. Сер. геогр. 2012б. № 1. С. 7–13.
- Чубарова Н.Е., Незваль Е.И., Беликов И.Б., Горбаренко Е.В., Еремина И.Д., Жданова Е.Ю., Корнева И.А., Константинов П.И., Локощенко М.А., Скороход А.И., Шиловецова О.А. Климатические и экологические характеристики московского мегаполиса за 60 лет по данным Метеорологической обсерватории МГУ // Метеорология и гидрология. 2014. № 9. С. 49–64.
- Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири / Под ред. Н.С. Касимова и А.В. Кислова. М.: МАКС Пресс, 2011. 496 с.
- Gregorczyk M. Analiza warunkow bioklimatycznych w latach 1958–1963 w swetle wazniejszych wskaźnikow kompleksowych. Praga WTN. ser. B. Wrocław. 1970. 189 p.
- Volodin E.M. Possible reasons for low climate-model sensitivity to increased carbon dioxide concentrations // Izvestiya RAS. Atmospheric and Oceanic Physics. 2014. V. 50. № 4. P. 350–355.
- Volodin E.M., Dianskii N.A., Gusev A.V. Simulating present-day climate with the inmcm4.0 coupled model of the atmospheric and oceanic general circulations // Izvestiya RAS. Atmospheric and Oceanic Physics. 2010. V. 46. № 4. P. 414–431.

Поступила в редакцию 05.12.2016
Принята к публикации 28.12.2017

V.V. Vinogradova¹

CHANGES OF NATURAL-CLIMATIC DISCOMFORT WITHIN
THE TERRITORY OF RUSSIA IN THE 20TH – THE BEGINNING
OF THE 21ST CENTURY

Natural and climate conditions of Russia were analyzed using the zoning of the RF territory by natural living conditions which is based on the influence of principal natural factors, i.e. cold, heat, moisture, altitude, nature hazards. The map Regionalization of Russia in terms of the natural living conditions was updated for climatic conditions in the second part of the 20th century – the beginning of the 21st century. Possible changes of natural living conditions in the middle of the 21st century are estimated using the results of numerical experiments on the global climate model of the RAS Institute of Numerical Mathematics (INM). The most variable climatic factors, such as heat, cold and wind, were analyzed. In the end of the century – the beginning of the 21st century the areas with absolutely unfavorable conditions decreased, mainly due to the expansion of very unfavorable territories. At the end of the 20th century the most pronounced changes were recorded for the Far East and Southern Siberia, whereas at the beginning of the 21st century changes are the most typical for the European part of Russia. The results of calculations using the INMCM 4.0 climate model demonstrate probable improvement of living conditions in the middle of the 21st century (by 2046–2055). The RCP4.5 scenario shows the situation which is little different from the current state (2001–2010), whereas the RCP8.5 scenario predicts the reduction of areas with unfavorable conditions by 2–4%, as compared to the current situation. The greatest changes are expected in the Far East and the European part of Russia.

Key words: discomfort, zoning of Russia, natural living conditions, climatic factors, model forecast.

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (RSF) (project № 16-17-10236).

REFERENCES

- Архив ВНИИГМИ-МЦД [Archive RIHMI WDC], <http://www.meteo.ru>
- Chubarova N.E., Nezval' E.I., Belikov I.B., Gorbarenko E.V., Eremina I.D., Zhdanova E.Yu., Korneva I.A., Konstantinov P.I., Lokoshchenko M.A., Skorokhod A.I., Shilovtseva O.A., Klimaticheskie i ekologicheskie kharakteristiki moskovskogo megapolisa za 60 let po dannym Meteorologicheskoi observatorii MGU [Climatic and environmental characteristics of the Moscow metropolis for 60 years, according to the Meteorological Observatory of the Moscow State University] // Meteorologiya i Gidrologiya. 2014. № 9. P. 49–64 (in Russian).
- Ekologo-geograficheskie posledstviya global'nogo potepleniya klimata XXI veka na Vostochno-Evropeiskoi ravnine i v Zapadnoi Sibiri [Ecological and geographical effects of global

¹ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Laboratory of Climatology, Senior Scientific Researcher, PhD. in Geography; e-mail: vvvinog@yandex.ru

warming of the twenty-first century within the East European Plain and Western Siberia] / Ed. by N.S. Kasimov and A.V. Kislov. Moscow: MAKS Press, 2011. 496 p.

Gregorzuk M. Analiza warunkow bioklimatycznych w latach 1958–1963 w swietle waznieszych wskaźnikow kompleksowych. Praga WTN. Ser. B. Wroclaw. 1970. 189 p.

Vinogradova V.V., Zolotokrylin A.N. Sovremennye i ozhidaemye izmeneniya roli klimaticeskogo faktora v otsenke prirodnykh uslovii zhizni naseleniya v Rossijskoi Federatsii [Current and future role of climatic factor for the assessment of natural living conditions in Russia] // *Izvestiya Rossijskoi Akademii Nauk. Ser. Geograficheskaya*. 2014. № 4. P. 16–21 (in Russian).

Vinogradova V.V., Zolotokrylin A.N., Krenke A.N. Rajonirovanie territorii Rossijskoi Federatsii po prirodno-klimaticeskim usloviyam [Zoning of the territory of the Russian Federation according to natural and climatic conditions] // *Izvestiya Rossijskoi Akademii Nauk. Ser. Geograficheskaya*. 2008. № 5. P. 106–117 (in Russian).

Volodin E.M. Possible reasons for low climate-model sensitivity to increased carbon dioxide concentrations // *Izvestiya RAS. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2014. V. 50. № 4. P. 350–355.

Volodin E.M., Dianskii N.A., Gusev A.V. Simulating present-day climate with the inmcm4.0 coupled model of the atmospheric and oceanic general circulations // *Izvestiya RAS. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2010. V. 46. № 4. P. 414–431.

Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmenenijakh klimata i ih posledstviyakh na territorii Rossijskoi Federatsii [The second assessment report by Hydromet about the climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation]. Moscow: Rosgidromet, 2014. 1009 p. (in Russian).

Zolotokrylin A.N., Krenke A.N., Vinogradova V.V. Novoe rajonirovanie territorii severa Rossijskoi Federatsii po prirodnykh usloviyam dlya zhizni naseleniya [New zoning of the northern part of the Russian Federation according to the natural living conditions] // *Izvestiya Rossijskoi Akademii Nauk. Ser. Geograficheskaya*. 2012b. № 1. P. 7–13 (in Russian).

Zolotokrylin A.N., Krenke A.N., Vinogradova V.V. Rajonirovanie Rossii po prirodnykh usloviyam zhizni naseleniya [Zoning of Russia according to the natural living conditions]. Moscow: Geos, 2012a. 156 p. (in Russian).

Received 05.12.2016
Accepted 28.12.2017