

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 551.582.2

КЛИМАТИЧЕСКИЙ РУБЕЖ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ: ИНДИКАТОРЫ И РАЗМЕЩЕНИЕ

© 2020 г. Т. Б. Титкова^а, *, А. Н. Золотокрылин^а, В. В. Виноградова^а

^аИнститут географии РАН, Москва, Россия

*e-mail: titkova@igras.ru

Поступила в редакцию 28.10.2019 г.

После доработки 23.04.2020 г.

Принята к публикации 06.06.2020 г.

Для независимого определения климатического рубежа и его мониторинга в степной зоне европейской части России используются климатические (данные сети метеорологических станций, реанализ), спектральные (NDVI), а также модельные (эвапотранспирация) показатели. В статье дается комплексная характеристика климатического рубежа в Оренбургской области в сухие и влажные годы, результаты исследований тепловой нагрузки на человека и изменения биоклиматических условий с точки зрения термического комфорта человека в зависимости от положения такого рубежа. Установлено, что зональный рубеж, обусловленный резкими климатическими различиями, представляет собой естественную переходную полосу с качественными изменениями сухостепного ландшафта на сравнительно коротких расстояниях. Климатические градиенты годовых и июльских осадков могут быть использованы для идентификации климатического рубежа. Градиенты средне-годовой и июльской температуры воздуха идентифицируют климатический рубеж на отдельных территориях, в подзонах сухих степей. Спектральные и модельные индикаторы климатического рубежа (градиенты NDVI и эвапотранспирации) связаны с градиентами июльских осадков. Вегетационный индекс NDVI важен для оценки чувствительности климатического рубежа к аридизации климата и опустынивания сухостепных ландшафтов. С точки зрения термического комфорта, климатический рубеж разграничивает уровень тепловых нагрузок на человека и может учитываться при районировании территории по природно-климатическим условиям жизнедеятельности населения.

Ключевые слова: климатический рубеж, сухостепные ландшафты, осадки, температура, NDVI, эвапотранспирация, климатические условия жизнедеятельности населения

DOI: 10.31857/S2587556620050167

ВВЕДЕНИЕ

На равнинах качественные изменения ландшафта наблюдаются на сравнительно коротких расстояниях, которые в физической географии трактуются как ландшафтные рубежи [17]. К стабильным относят следующие типы рубежей: орографические, геоморфологические, геологические и климатические. Из всех типов природных рубежей, изучаемых географией, в статье рассматривается зонально-климатический, обычно существующий в пределах ограниченной по широте самостоятельной полосы в некоторых ландшафтных зонах (подзонах). Ландшафты в переходной полосе по сравнению с соседними более подвержены воздействию изменчивых факторов среды, а их динамические компоненты (растительность) более чувствительны к изменению климата и землепользования.

Подобная переходная полоса с максимальными зональными градиентами годовых осадков и температуры воздуха (климатический рубеж) была выделена и исследована в южной или сухостепной зоне на территории Волго-Уральского междуречья Северного Прикаспия по данным метеорологических станций за период 1936–1995 гг. [20]. Климатический рубеж отчетливо проявляется в случае оценки контрастности растительности с использованием градиента нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) в летний период. Градиенты NDVI значимо возрастают в районе рубежа [5]. При этом он располагается вблизи границы сухих субгумидных земель, местами имеет разрывы, а его ширина составляет 1–2 градуса широты. Рубеж представляет собой переходную полосу резких изменений (максимальных градиентов) растительности, а также годовых осадков и температуры. Характерно, что положение климатического рубежа оставалось

устойчивым в тридцатилетия 1936–1965 и 1966–1995 гг., а контрастность климатических показателей даже возросла во второй период. Особенно это характерно для осадков, градиенты которых особенно увеличились в полосе 49°–50° с.ш.

Формирование данного климатического рубежа объясняется локализацией восточно-европейской ветви климатического полярного фронта, разделяющего умеренные и тропические воздушные массы преимущественно над степной зоной в сезон активной вегетации и определяющего зональное распределение атмосферного увлажнения и, соответственно, растительного покрова [5, 6, 9, 16].

Согласно современным представлениям о летней циклонической активности (общая повторяемость циклонических центров и их траекторий) на Восточно-Европейской равнине заметное влияние на климатическую изменчивость оказывают моды колебаний атмосферной циркуляции (Североатлантической, Скандинавской, Восточно-Атлантической/Западно-Российской). Карты средних характеристик циклонической активности в противоположные фазы рассматриваемых мод показывают существенные различия не только для зимы, но и для лета в основном в период активной вегетации [1, 16, 21]. Вызываемый в этом случае отклик в приземных климатических полях и, следовательно, в ландшафтном покрове, отражает особенности противоположных фаз циклонической активности. Изучение особенностей циклонической активности в сухостепной зоне, включая вопросы опустынивания и демутации растительного покрова, имеет многолетнюю историю, а выявленные эффекты отражены в работах [7, 8, 11, 12]. Отметим еще один важный теоретический эффект возникновения резкой границы между степью и пустыней в полосе сухой степи [15]. Механизм, ответственный за эффект, — это положительная обратная связь “растительность—осадки”, опосредованная влажностью почвы и альбедо подстилающей поверхности при увеличении покрытия растительностью. Согласно модели возможна реализация “триггерного эффекта, с помощью которого объясняется возникновение переходной полосы через существование двух устойчивых положений равновесия с большим и низким покрытием растительностью” [15].

Южнее климатического рубежа наблюдается нарастание неблагоприятных природно-климатических условий для жизни населения со значительным дефицитом влаги (вплоть до безводности) и избытком тепла [10, 18].

Цель работы — определение климатического рубежа по климатическим и дистанционным индикаторам и его мониторинг в степной зоне европейской части России, а также изучение его влияния на тепловую нагрузку на человека.

Для этого необходимо было решить следующие задачи:

(1) выбор климатических показателей в качестве индикатора климатического рубежа в степной зоне европейской части страны по данным наблюдений и реанализа; (2) обоснование использования дистанционных индикаторов зеленой фитомассы (NDVI), модельной эвапотранспирации для независимого определения климатического рубежа и его мониторинга; (3) исследование тепловой нагрузки на человека и изменения биоклиматических условий с точки зрения термического комфорта человека в зависимости от положения климатического рубежа; (4) комплексная характеристика климатического рубежа с использованием данных NDVI, а также модельной эвапотранспирации в сухие и влажные годы в Оренбургской области, которая служит примером административной единицы, где климатические рубежи по всем исследуемым индикаторам находятся в непосредственной близости.

ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Территория исследования охватывает степную зону европейской части России. Детально исследуется Оренбургская область, в которой в соответствии с природной зональностью с севера на юг сменяют друг друга луговые, разнотравно-ковыльные, типчаково-ковыльные и ковыльно-полынные степи. Современное состояние растительного покрова характеризует карта Института космических исследований РАН (2013) [19]. Пахотные земли занимают большую часть территории до широтного участка долины р. Урал. Большие степные участки сохранились южнее р. Урал, а ее пойма представлена преимущественно пойменными лугами.

Решение задачи состоит в вычислении градиентов среднегодовой и июльской температуры воздуха и температуры поверхности, годовой и июльской суммы осадков, июльских значений NDVI и эвапотранспирации в степной зоне с разрешением $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ и их картирование. Выделенные контуром зональные полосы значимых градиентов этих параметров, трактуемые как климатический рубеж, сравнивались с ландшафтно-экологическим районированием территории [14].

Под градиентом анализируемых параметров понимается вектор, характеризующий их изменение на единицу расстояния. Широтная (G_x) и меридиональная (G_y) проекции вектора вычислялись по формулам:

$$G_x = \frac{(f_2 - f_1) + (f_4 - f_3)}{2\Delta x \cos(x)}, \quad G_y = \frac{(f_1 - f_3) + (f_2 - f_4)}{2\Delta y},$$

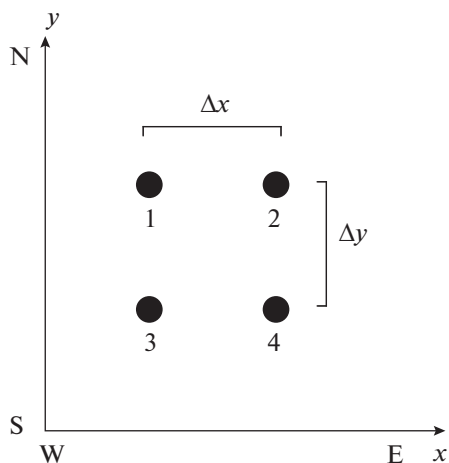


Рис. 1. Схема расчета градиентов параметров.

где f_1, f_2, f_3, f_4 — значения параметров в узлах сетки, а Δx и Δy — шаг по меридиану и параллели. Схема расположения значений представлена на рис. 1. Формула градиента G имеет вид:

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}.$$

В работе использовались данные:

1) Архив реанализа “Вода и глобальные изменения” (*Water and Global Change, WATCH*) проекта Европейского союза для вычисления градиентов температуры ($^{\circ}\text{C}$) на высоте 2 м, осадков (мм/мес.)

с исходным разрешением $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$. Архив данных охватывает период 1979–2016 гг. [27].

2) Значения нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI (*AVHRR NOAA*). Исходные данные для расчета градиентов NDVI представляют собой совокупности ежедневных средних значений за каждые полмесяца с 1981 г. по настоящее время с пространственным разрешением $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ [22].

3) Реанализ *Modern-Era MERRA2*, модель *M2TMNRAD.5.12.4* для вычисления температуры поверхности (T_s). Пространственное покрытие — весь земной шар, временное — с 1980 г. по настоящее время. Начальное разрешение данных по пространству 0.5×0.625 , по времени — 1 месяц [25].

4) Месячные суммы эвапотранспирации (E_v). Эвапотранспирация оценивалась по данным модели *NLDAS-2*. Временной охват данных с января 1982 г. по настоящее время, с пространственным разрешением $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ и временным — 1 месяц. Размерность транспирации — $\text{Вт}/\text{м}^2$ в месяц пересчитана в $\text{мм}/\text{м}^2$ в месяц [26].

Для обработки и линейной интерполяции по пространству в узлы сетки массивов NDVI, T_s , E_v с разрешением $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ использовался пакет анализа программы *MATLAB*, для чего были написаны специальные программы.

Чтобы приблизить периоды осреднения использованных параметров, среднемесячные

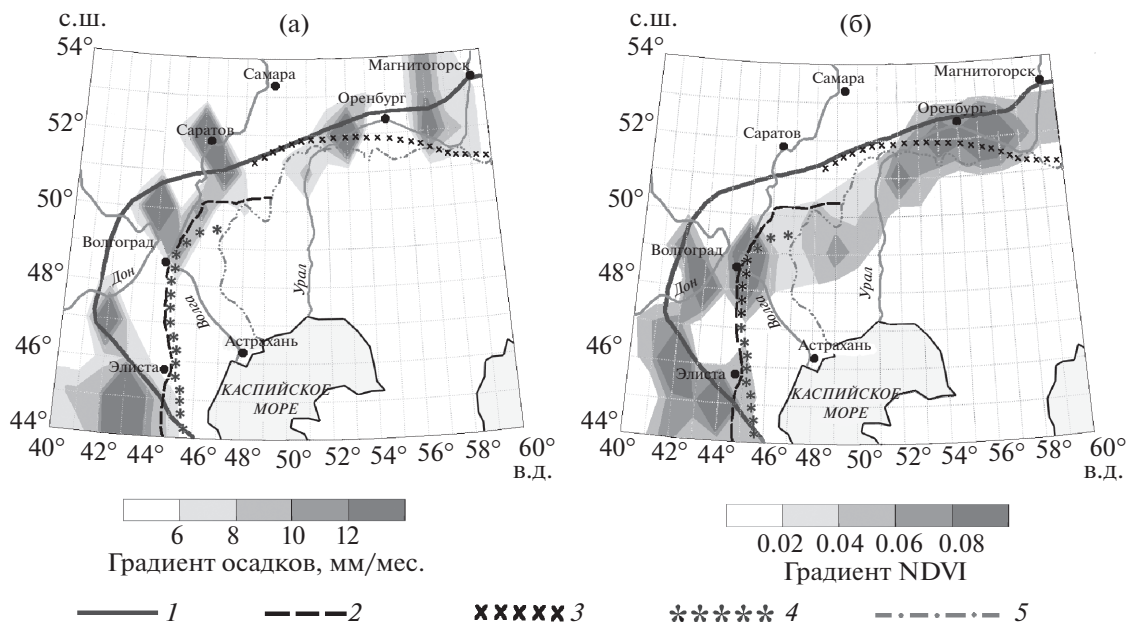


Рис. 2. Максимальные градиенты, 1981–2018 гг., июль: (а) осадков по данным реанализа WATCH, (б) NDVI.

Примечание: градиент NDVI значим больше 0.04. Градиенты, связанные с пойменной растительностью, не выделены на карте. 1 — индекс аридности 0.5; 2 — границы степных и полупустынных ландшафтов по [14]; 3 — 12% дней в году, когда UTCI выше 26°C ; 4 — 15% дней в году, когда UTCI выше 26°C ; 5 — граница РФ.

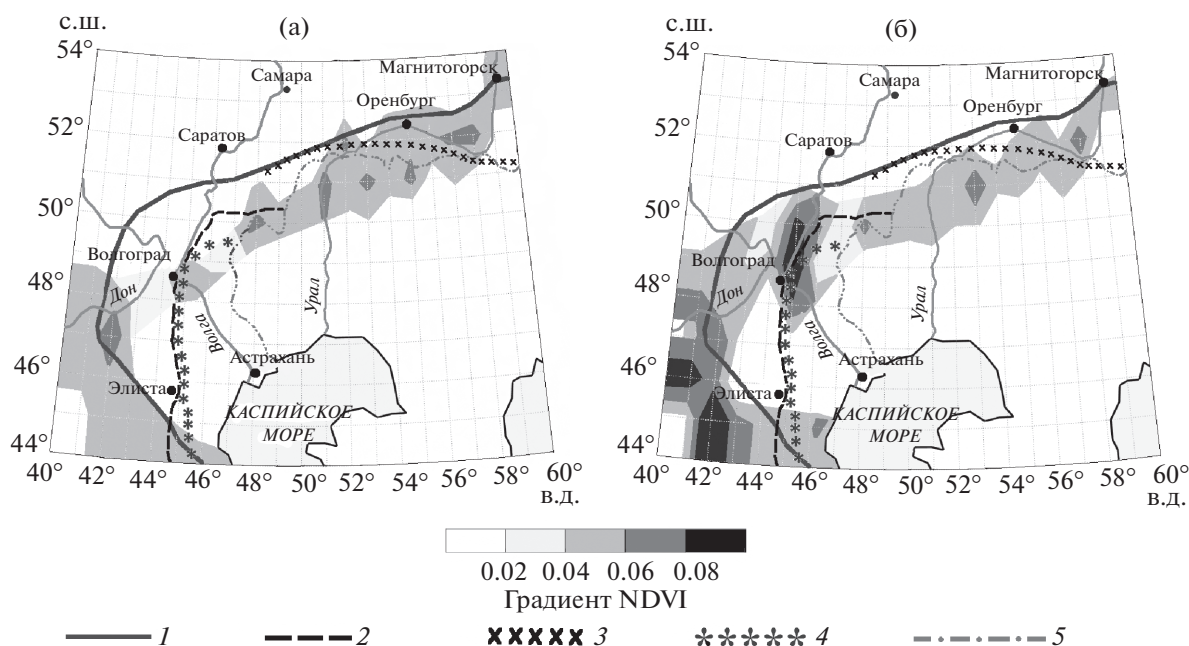


Рис. 3. Максимальные градиенты NDVI в июле: (а) 1981–1999 гг., (б) 2000–2018 гг. Обозначения см. на рис. 2.

значения для градиентов температуры и осадков рассчитывались для периода 1981–2016 гг. (36 лет), для NDVI, T_s , для периода 1981–2018 гг. (38 лет), E_v – для 1982–2018 гг. Периоды осреднения составляют более 30 лет, что достаточно для климатической оценки параметров.

5) Карта растительности Оренбургской области из географического атласа Оренбургской области (1999 г.) [4].

6) Для расчета Универсального индекса теплового комфорта ($UTCI$) использовались ежедневные данные срочных наблюдений для станций Сорочинск, Акбулак, Оренбург, из архива ВНИИГМИ МЦД [3]. Расположение метеостанций на территории исследования представлено на рис. 4. Был проведен расчет дневных (срок: 15 часов) и ночных (срок: 03 часа) значений индекса $UTCI$ для метеорологических станций на территории Оренбургской области. Сроки 3 и 15 часов были выбраны, так как обычно самое теплое время суток наступает после полудня, а самое холодное – после полуночи. Для расчета использовались: температура воздуха, относительная влажность, скорость ветра и общая облачность. Расчет производился при помощи программного пакета *BioKlima 2.6* [23].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Индикаторы климатического рубежа

Осадки (годовые и июльские) предпочтительны для выбора в качестве индикатора климатического

рубежа на территории с недостатком влаги по сравнению с температурой. На рис. 2а показан выделенный по градиентам июльских осадков >6 мм климатический рубеж. Рубеж на всем протяжении не представляет идеальную зонную полосу июльских градиентов осадков. Доводом в пользу достоверного выделения рубежа служит его сопряженность с размещением сухостепных ландшафтов в соответствии с ландшафтно-экологическим районированием России [14]. Также на положение рубежа указывает изолиния индекса аридности, равная 0.5 (граница сухой субгумидной зоны), огибающая рубеж [13] (см. рис. 2).

На рассматриваемой территории среднегодовая и июльская температура в меньшей степени может служить индикатором климатического рубежа, чем годовые и июльские осадки. На территории наблюдаются несколько разрозненных полос максимальных градиентов среднегодовой и среднеиюльской температуры, часть из которых не совпадает с областью максимальных градиентов осадков.

Важно рассмотреть возможность использования дистанционного индикатора зеленой фитомассы (NDVI) для независимого определения климатического рубежа. На рис. 2б представлены июльские градиенты NDVI > 0.02 , (значимые значения градиентов NDVI > 0.04). Они образуют сплошную, с контрастами полосу зеленой фитомассы, которая формируется под влиянием совокупности климатических, гидрологических, почвенных условий. Полоса согласуется с размеще-

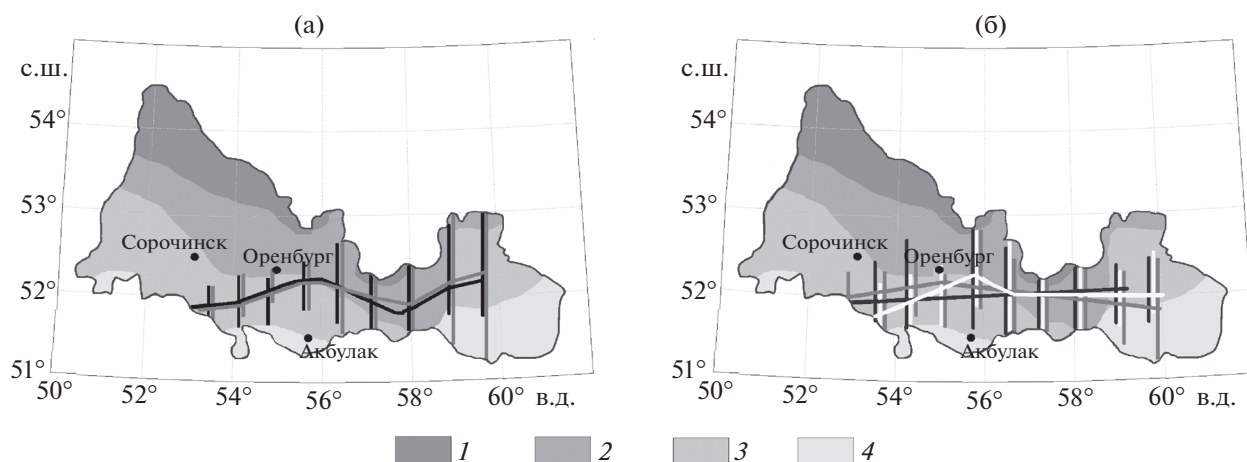


Рис. 4. Климатический рубеж и максимальные градиенты с их доверительными интервалами, на карте растительности Оренбургской области, июль: (а) климатических параметров за период 1981–2016 гг. (черные линии – максимальные градиенты температуры воздуха, серые – осадков); (б) спектральных параметров за период 1981–2018 гг. (черные линии – максимальные градиенты T_s , серые – NDVI, светлые – Ev). Степная растительность: 1 – луговые (богаторазнотравно-злаковые) степи, 2 – разнотравно-ковыльные степи, 3 – типчаково-ковыльные степи, 4 – полынно-злаковые степи.

нием подпровинций сухостепных ландшафтов. Характерно, что в междуречье Дона и Волги, а также восточнее Волги полоса локализуется южнее границы сухой субгумидной биоклиматической зоны. В то же время юго-западнее Волги она находится внутри полосы.

Полоса в мае и июне прослеживается в виде отдельных фрагментов, а в августе отмечается тенденция ее смещения к северу. Если рассматривать размещение максимальных градиентов NDVI за разные временные периоды (рис. 3а, 3б), то видно, что климатический рубеж квазистационарен. В зависимости от климатических условий он может усиливаться или ослабевать.

По результатам картографического сравнения июльских градиентов NDVI и градиентов июльских осадков можно сделать вывод о качественном соответствии размещения контрастной полосы NDVI и июльских осадков, что позволяет их рассматривать в качестве индикаторов климатического рубежа.

Комплексная характеристика климатического рубежа в Оренбургской области

Рассмотрим результат комплексного анализа размещения климатического рубежа на примере степной части Оренбургской области. Здесь климатический рубеж, определенный по совокупности климатических и спектральных показателей, локализуется южнее Оренбурга. На рис. 4а, 4б показан рубеж по климатическим и спектральным данным. Он проходит в пределах разнотрав-

но-ковыльной и типчаково-ковыльной распаханной степи.

Использование NDVI в качестве дополнительного показателя климатического рубежа полезно для понимания его чувствительности к изменениям климата. Это можно увидеть, сравнивая изменения NDVI и его градиентов в сухие и влажные годы (рис. 5).

Кратковременные периоды сухих и влажных лет слабо влияют на величину NDVI севернее климатического рубежа, где изолиния 0.4 сохраняется на территории в сухие и влажные годы. В сухие годы фиксируется изолиния 0.3 южнее рубежа, а полоса повышенных градиентов NDVI становится более выраженной и сплошной (см. рис. 5, часть I).

Изменения величины эвапотранспирации на территории Оренбургской области представлена на рис. 5, часть II. Она возрастает во влажные годы по отношению к сухим, но при этом не образуется сплошная полоса ее максимальных градиентов. В сухие годы полоса максимальных градиентов эвапотранспирации становится сплошной, как и градиентов NDVI. Можно утверждать, что в сухие годы контрастная полоса растительности более выражена по сравнению с влажными.

Биоклиматические условия комфорта человека в зависимости от положения климатического рубежа

Для оценки биоклиматических условий с точки зрения теплового комфорта человека по обе стороны от климатического рубежа использовал-

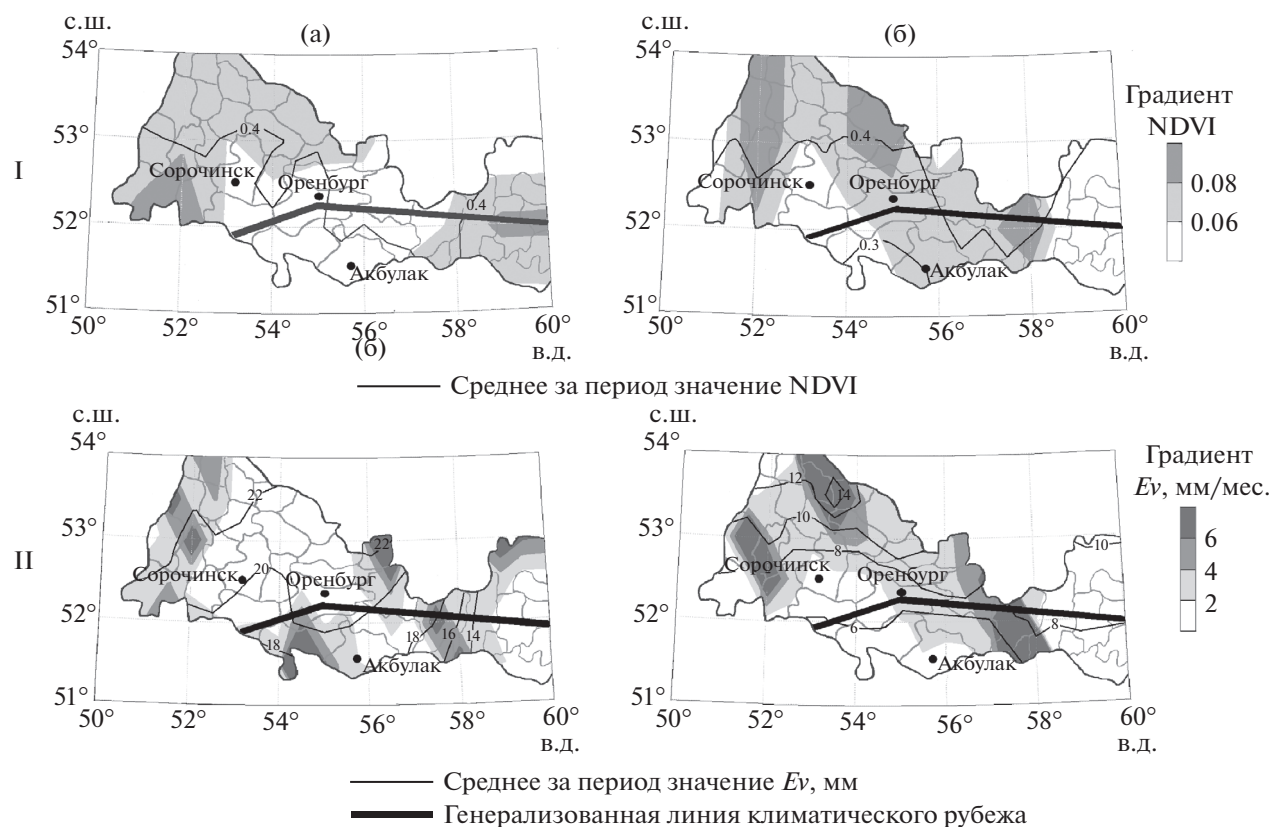


Рис. 5. Значимые градиенты (I) NDVI, (II) суммарной эвапотранспирации (E_v) в июле: (а) влажные 2003–2004 гг., (б) сухие 2009–2012 гг.

ся универсальный индекс теплового комфорта (UTCI). Индекс UTCI можно охарактеризовать как эквивалентную температуру окружающей среды ($^{\circ}\text{C}$), которая оказывает такое же физиологическое воздействие на человека, как и фактическая окружающая среда. Он позволяет оценить комплексное воздействие на человека наблюдаемой комбинации скорости ветра, солнечной радиации, температуры и влажности воздуха [2, 24].

Было установлено, что изолинии повторяемости дней в году, в которые UTCI больше 26°C (умеренный тепловой стресс) проходят в окрестности климатического рубежа (см. рис. 2). Изолиния 15% дней хорошо согласуется с рубежом в Ергенинской сухостепной подпровинции, а изолиния 12% — в Южно-Уральской подпровинции. Южнее рубежа усиливаются физиологические реакции человека на тепловой стресс: возможно увеличение градиентов скорости потоотделения, рост температуры кожи, появление потоотделения через 30 мин, резкое увеличение влажности кожи.

Анализ изменений индекса UTCI в степной зоне Оренбургской области в сухие и влажные го-

ды показывает, что в сухие годы, которые характеризуются более жаркой погодой, наблюдается усиление тепловой нагрузки на человека, особенно южнее климатического рубежа (рис. 6а). Сравнивая значения индекса на более северных метеостанциях Сорочинск, Оренбург и более южной — Акбулак, можно сказать, что условия теплового комфорта ухудшаются в дневные часы южнее климатического рубежа, где сильный тепловой стресс отмечается как в сухие, так и во влажные годы. На рис. 6б изображены межгодовые изменения дневных и ночных значений индекса UTCI. Наибольшая повторяемость случаев с сильным тепловым стрессом днем отмечалась на метеостанции Акбулак, которая находится южнее выделенного климатического рубежа. В ночные часы неблагоприятные условия, связанные со слабым холодовым стрессом, чаще всего наблюдались на метеостанции Оренбург, чуть севернее климатического рубежа. Таким образом, можно констатировать, что южнее климатического рубежа, биоклиматические условия характеризуются усилением тепловой нагрузки в дневные часы, а севернее — возрастанием холодовых нагрузок в ночные часы.

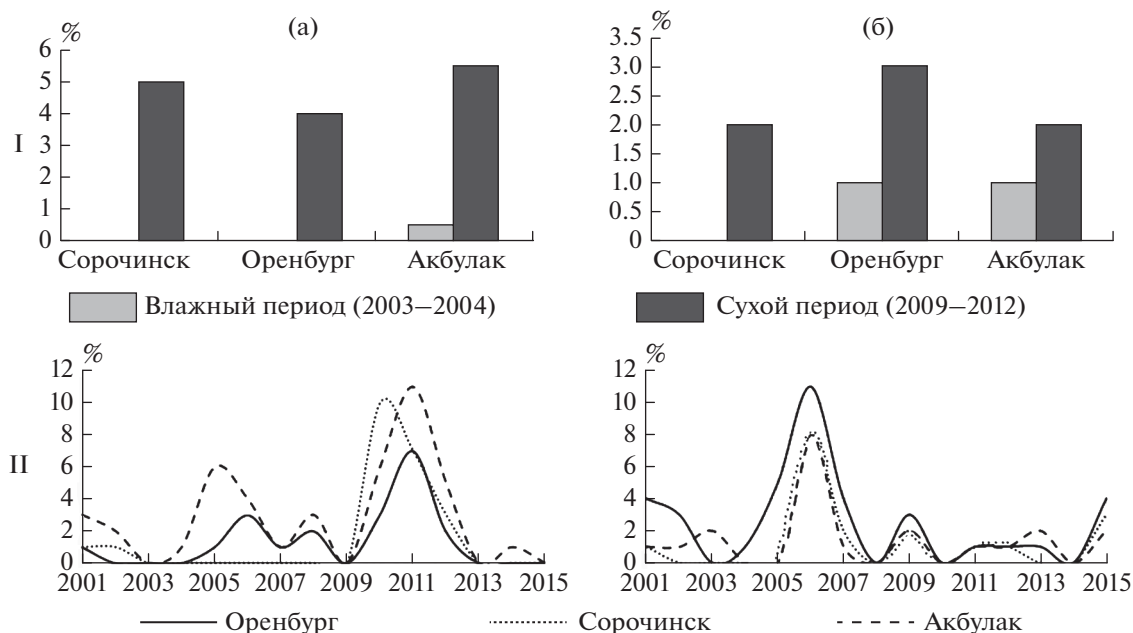


Рис. 6. Универсальный индекс теплового комфорта (UTCI): I – доля дней с сильным тепловым стрессом (от +32 до +38 °С) днем (а) и слабым холодным стрессом (от 0 до +9 °С) ночью (б); II – межгодовые изменения доли дней в июле: (а) с сильным тепловым стрессом (от +32 до +38 °С) днем, (б) со слабым холодным стрессом (от 0 до +9 °С) ночью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зонально-климатический рубеж, обусловленный резкими климатическими различиями, установлен в степной зоне европейской части России. Он представляет собой естественную переходную полосу с качественными изменениями сухостепного ландшафта на сравнительно коротких расстояниях. Градиенты годовых и июльских осадков в климатическом масштабе могут быть использованы для идентификации климатического рубежа. Градиенты среднегодовой и июльской температуры воздуха можно использовать для его идентификации только для отдельных его частей, расположенных в сухостепных ландшафтах.

Обосновано применение в качестве индикатора климатического рубежа максимальных градиентов NDVI, которые хорошо согласуются с максимальными градиентами осадков. Климатический рубеж квазистационарен. В зависимости от климатических условий он может усиливаться или ослабевать.

NDVI-индикатор может использоваться для оценки чувствительности климатического рубежа к аридизации и опустыниванию сухостепных ландшафтов.

Климатический рубеж разграничивает уровень тепловых нагрузок на человека с точки зрения термического комфорта и может учитываться при районировании территории по природно-

климатическим условиям жизнедеятельности населения.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в Институте географии РАН при финансовой поддержке РНФ, проект № 16-17-10236-П.

FUNDING

The study was financially supported by the Russian Science Foundation, project no. 16-17-10236-P.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бардин М.Ю., Платова Т.В., Самохина О.Ф. Особенности изменчивости циклонической активности в умеренных широтах Северного полушария, связанные с ведущими модами атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском секторе // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2015. Т. 2. С. 14–40.
2. Виноградова В.В. Воздействие климатических условий на человека в засушливых землях Европейской России // *Изв. РАН. Сер. геогр.* 2012. № 2. С. 68–81.
3. ВНИИГМИ МЦД. <http://mete.ru>
4. Географический атлас Оренбургской области. 1999. Карта растительности Оренбургской обла-

- сти. С. 44–45. <http://orenprroda.ru/images/AtlasGeo99/AtlasGeo99-44-45.jpg>
5. Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б. Природная переходная зона на Прикаспийской низменности // Изв. РАН. Сер. геогр. 2004. № 2. С. 92–99.
 6. Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б. Изменения климата в области повышенных меридиональных градиентов показателей климата и растительности на юго-востоке Русской равнины / Степи Северной Евразии: Материалы IV международ. симпозиума. Оренбург, 2006. С. 274–277.
 7. Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В. Соотношение между климатическим и антропогенным факторами восстановления растительного покрова юго-востока Европейской России // Аридные экосистемы. 2007. Т. 13. № 33–34. С. 7–16.
 8. Золотокрылин А.Н. Климат и опустынивание засушливых земель России // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 2. С. 27–35.
 9. Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б. Климатический фактор динамики растительности засушливых земель Европейской территории России // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. М.: ИГКЭ, 2009. Т. XXII. С. 79–91.
 10. Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н., Виноградова В.В. Районирование России по природным условиям жизни населения. М.: Геос, 2012. 156 с. ISBN 978-5-89658-050-8.
 11. Золотокрылин А.Н. Засухи и опустынивание в суббореальных ландшафтах России // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 5. С. 64–73.
 12. Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А. Увлажнение засушливых земель Европейской территории России: настоящее и будущее // Аридные экосистемы. 2014. Т. 20. № 2 (59). С. 5–11.
 13. Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б. Биоклиматическая субгумидная зона на равнинах России: засухи, опустынивание/деградация // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. № 1 (74). С. 13–20.
 14. Исаченко А.Г. Экологическая география России. СПб., 2001. 328 с.
 15. Корзухин М.Д., Золотокрылин А.Н. Малоразмерная модель системы климат–растительность для северной части Прикаспийской низменности // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. Т. 2. С. 52–68.
 16. Михайлов А.Ю., Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б. Полярный фронт над равнинами России // Метеорология и гидрология. 2012. № 2. С. 24–29.
 17. Мильков Ф.Н. Словарь-справочник по физической географии. М.: Гос. изд-во геогр. литературы, 1960. 269 с.
 18. Природно-климатические условия и социально-географическое пространство России / ред. А.Н. Золотокрылин, В.В. Виноградова, О.Б. Глезер. М.: Ин-т географии РАН, 2018. 156 с. ISBN 978-5-89658-050-8. <https://doi.org/10.15356/ncsgsrus>
 19. Современное состояние растительного покрова, 2013. Институт космических исследований РАН. <http://smiswww.iki.rssi.ru/>
 20. Титкова Т.Б. Изменения климата полупустынь Прикаспия и Тургая в XX в. // Изв. РАН. Сер. геогр. 2003. № 1. С. 106–111.
 21. Черенкова Е.А. Влияние долгопериодных изменений северной Атлантики на увлажнение степных ландшафтов Европейской территории России / Степи Северной Евразии: Материалы VIII международ. симпозиума. Оренбург, 2018. С. 1073–1077.
 22. AVHRR NOAA <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/ndvi-normalized-difference-vegetation-index-noaa-avhrr>. doi 10.7289/V5PZ56R6
 23. BioKlima©2.6., software package. <http://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>
 24. Błażejczyk K., Jendritzky G., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Epstein Y., Psikuta A., Kampmann B. An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI) // Geographia Polonica. 2013. V. 86. № 1. P. 5–10.
 25. Modern-Era MERRA2: M2TMNRAD.5.12.4. https://goldsmr4.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/MERRA2_MONTHLY/M2TMNXRAD.5.12.4/
 26. Model Data NLDAS-2 FLDAS_NOAH01_C_GL_M.001. https://hydro1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/FLDAS/FLDAS_NOAH01_C_GL_M.001/
 27. Weedon G.P., Balsamo G., Bellouin N., Gomes S., Best M.J., Viterbo P. WATCH (Water and Global Change). Ver.: 5th May, 2016. <http://www.eu-watch.org/> <https://doi.org/10.1002/2014WR015638>

Climatic Transition Zone in the Steppe Zone of the East European Plain: Indicators and Location

T. B. Titkova^{1,*}, A. N. Zolotokrylin¹, and V. V. Vinogradova¹

¹*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**e-mail: titkova@igras.ru*

For the independent delineation of the climatic transition zone and its monitoring in steppe zone of the European part of Russia different indicators, such as climatic (observation data, reanalysis), spectral (NDVI) and model (evapotranspiration), are used. The complex characteristics of the climatic transition zone in the Orenburg oblast for dry and wet years are defined. A heat load on man and bioclimatic conditions changes in terms of human thermal comfort are explored according to the position of the climatic transition zone. It has been established that a climatic transition zone, resulted from sharp climatic differences, is a natural transi-

tional strip with qualitative transformation of a dry steppe landscape on comparatively short distances. Climatic gradients of the annual and July precipitation are recommended for the identification of the climatic transition zone. The gradients of mean annual and July temperature identify climatic transition zone in particular areas bordering with dry steppe zones. Spectral and model indicators of the climatic transition zone (NDVI gradients and evapotranspiration) are qualitatively connected with July precipitation gradients. The vegetation index NDVI is beneficial to the evaluation of climatic transition zone sensitivity to climate aridization and anthropogenic contribution to desertification dry steppe landscapes. In terms of human thermal comfort, the climatic transition zone should be considered in area zoning under natural and climatic conditions of population activity.

Keywords: climatic transition zone, dry steppe landscapes, precipitation, temperature, NDVI, evapotranspiration, population living conditions

REFERENCES

1. Bardin M.Yu., Platova T.V., Samokhina O.F. Specific features of variability of cyclonic activity in temperate latitudes of the Northern Hemisphere associated with leading modes of atmospheric circulation in the Atlantic-European sector. *Fundamental'naya i Prikladnaya Klimatologiya*, 2015, vol. 2, pp. 14–40. (In Russ.).
2. Vinogradova V.V. Influence of climate conditions on humans in arid lands of European Russia. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2012, no. 2, pp. 68–81. (In Russ.).
3. All-Russia Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center (VNIIGMI MTsD). Available at: <http://meteo.ru>. (In Russ.).
4. *Geograficheskii atlas Orenburgskoi oblasti* [Geographical Atlas of Orenburg oblast]. Moscow: DIK Publ., 1999, pp. 44–45. Available at: <http://orenpriroda.ru/images/AtlasGeo99/AtlasGeo99-44-45.jpg>. (In Russ.).
5. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B. Transitional zone in Near-Caspian Lowland. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2004, no. 2, pp. 92–99. (In Russ.).
6. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B. Climate changes in the area of elevated meridional gradients of climate and vegetation in the southeast of the Russian Plain. In *Stepi Severnoi Evrazii. Materialy IV Mezhdunar. Simp.* [Steppes of Northern Eurasia. Proc. IV Int. Symp.]. Orenburg, 2006, pp. 274–277. (In Russ.).
7. Zolotokrylin A.N., Vinogradova V.V. Relation between climatic and anthropogenic factors in the restoration of vegetation in the southeast of European Russia. *Arid. Ekosistemy*, 2007, vol. 13, no. 33–34, pp. 7–16. (In Russ.).
8. Zolotokrylin A.N. Climate and desertification of drylands of Russia. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2008, no. 2, pp. 27–35. (In Russ.).
9. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B. Climatic factor of vegetation dynamics in drylands of the European part of Russia. *Probl. Ekol. Monitoringa i Modelirovaniya Ekosistem*, 2009, vol. 22, pp. 79–91. (In Russ.).
10. Zolotokrylin A.N., Krenke A.N., Vinogradova V.V. *Raionirovanie Rossii po prirodnym usloviyam zhizni naseleniya* [Zoning by Natural Living Conditions in Russia]. Moscow: GEOS Publ., 2012. 156 p.
11. Zolotokrylin A.N. Droughts and desertification in sub-boreal landscapes of Russia. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2013, no. 5, pp. 64–73. (In Russ.).
12. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Cherenkova E.A. Humidification of drylands in European Russia: The present and future. *Arid Ecosystems*, 2014, vol. 4, no. 2, pp. 49–54.
13. Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A., Titkova T.B. Bioclimatic subhumid zone of Russian plains: Droughts, desertification, and land degradation. *Arid. Ecosystems*, 2018, vol. 8, no. 1, pp. 7–12.
14. Isachenko A.G. *Ekologicheskaya geografiya Rossii* [Ecological Geography of Russia]. St. Petersburg: S.-Peterb. Gos. Univ., 2001. 328 p.
15. Korzukhin M.D., Zolotokrylin A.N. A low-dimensional model of climate – vegetation system of the northern part of Caspian depression. *Fundamental'naya i Prikladnaya Klimatologiya*, 2018, vol. 2, pp. 52–68. (In Russ.).
16. Mikhailov A.Yu., Zolotokrylin A.N., Titkova T.B. Summertime polar front over the Russian plains. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2012, vol. 37, no. 2, pp. 85–89.
17. Mil'kov F.N. *Slovar'-spravochnik po fizicheskoi geografii* [Handbook Dictionary on Physical Geography]. Moscow: Geografiz Publ., 1960. 269 p.
18. *Prirodno-klimaticheskie usloviya i sotsial'no-geograficheskoe prostranstvo Rossii* [Natural and Climatic Conditions and Sociogeographical Space of Russia]. Zolotokrylin A.N., Vinogradova V.V., Glezer O.B., Eds. Moscow: Inst. Geogr. Ross. Akad. Nauk, 2018. 156 p. doi 10.15356/ncsgsrus
19. Current State of Vegetation 2013. Space Research Institute of Russ. Acad. Sci. Available at: <http://smi-swww.iki.rssi.ru/>. (In Russ.).
20. Titkova T.B. Climate change in the semi-desert of the Caspian and Turgay in the 20th century. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2003, no. 1, pp. 106–111. (In Russ.).
21. Cherenkova E.A. The effect of long-term changes in the North Atlantic on the moistening of the steppe landscapes of the European territory of Russia. In *Stepi Severnoi Evrazii. Materialy VIII Mezhdunar. Simp.* [Steppes of Northern Eurasia. Proc. VIII Int. Symp.]. Orenburg, 2018, pp. 1073–1077. (In Russ.).

22. NDVI: Normalized-Difference-Vegetation-Index: NOAA AVHRR. Available at: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/ndvi-normalized-difference-vegetation-index-noaa-avhrr>. (accessed: 05.07.2020). doi 10.7289/V5PZ56R6
23. BioKlima©2.6. Software package. Available at: <http://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>.
24. Błażejczyk K., Jendritzky G., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Epstein Y., Psikuta A., Kampmann B. An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Geographia Polonica*, 2013, vol. 86, no. 1, pp. 5–10.
25. Modern-Era MERRA2: M2TMNRAD.5.12.4. Available at: https://goldsmr4.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/MERRA2_MONTHLY/M2TMNXRAD.5.12.4/
26. Model Data NLDAS-2 FLDAS_NOAH01_C_GL_M.001. Available at: https://hydro1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/FLDAS/FLDAS_NOAH01_C_GL_M.001/
27. Weedon G.P., Balsamo G., Bellouin N. Gomes S., Best M.J., Viterbo P. WATCH (Water and Global Change). Version: 5th May 2016. Available at: <http://www.eu-watch.org/>. doi 10.1002/2014WR015638