

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА КЛИМАТИЧЕСКОЙ
УЯЗВИМОСТИ ТЕРРИТОРИИ НА ОСНОВЕ
БЕЗРАЗМЕРНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ
ИНДЕКСОВ**

В.В. Оганесян

*Гидрометеорологический научно-
исследовательский центр Российской Федерации,
г.Москва*

vog@mescom.ru

По данным Росгидромета, на территории России в последние десятилетия потепление климата происходило быстрее и масштабнее, чем на остальной части земного шара. Так, скорость современного роста глобальной температуры составила около $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 10 лет. На территории России температура растет значительно быстрее: около $0,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 10 лет, особенно быстро в полярной области, где скорость роста достигает почти $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 10 лет. Следствием наблюдаемого глобального потепления является увеличение изменчивости и экстремальности климата во многих регионах, в том числе и в России. Статистика последних лет свидетельствует о растущем во всем мире ущербе от опасных погодных и климатических явлений. По данным этой статистики, 90 % самых тяжелых экономических потерь приходятся на наводнения, засухи, град, грозы и другие опасные гидрометеорологические явления (ОЯ). За период 1990–2000 гг. на территории Российской Федерации ежегодно фиксировалось 150–200 ОЯ. В последующие годы их число уже было 250–300 в год, а начиная с 2007 года в среднем один раз в два года число ОЯ превышало 400 в год (рис. 1). При этом примерно половина наблюдаемых ОЯ приносит социально-экономический ущерб.

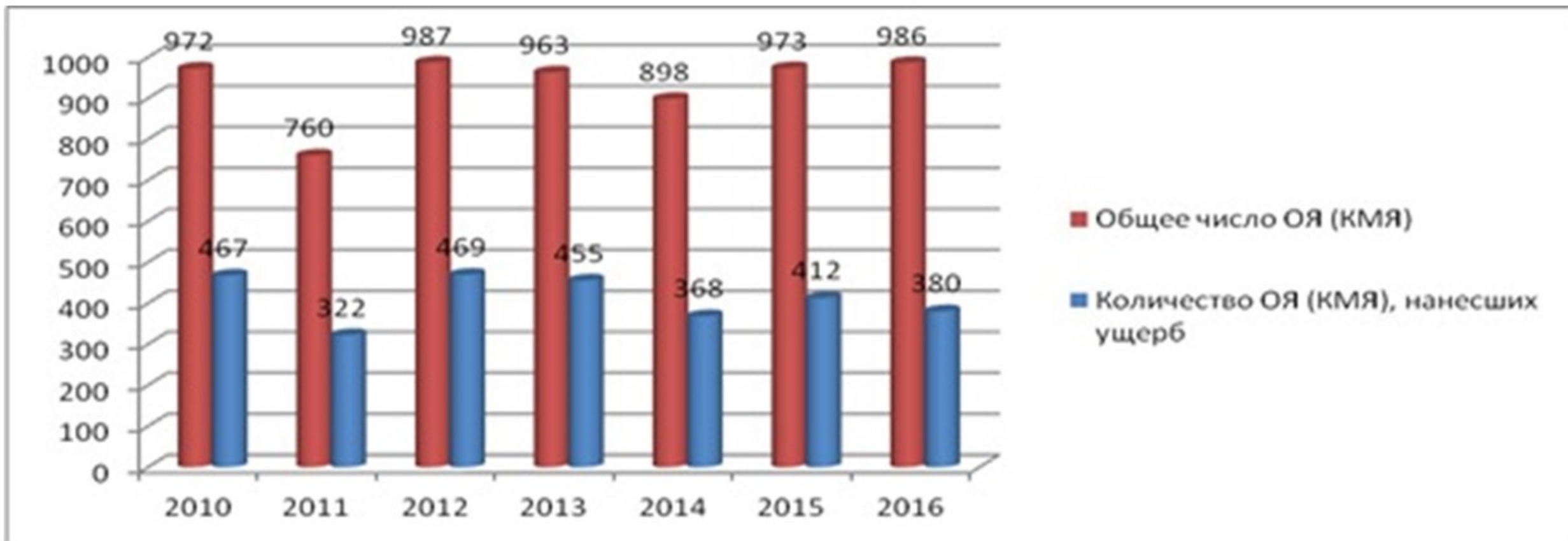


Рис. 1. Количество опасных гидрометеорологических явлений на территории Российской Федерации за период 2010–2016 гг.

Эффективные меры по предотвращению и сокращению ущерба от экстремальных погодных явлений зачастую требуют существенно большей заблаговременности, нежели индивидуальные оперативные прогнозы погоды, ограниченные теоретическим пределом предсказуемости. Для принятия действенных упреждающих мер адаптации требуются долгосрочные планы действий, основанные на научно обоснованных перспективных оценках изменения климата, включая оценки изменения статистики экстремальных погодных явлений. Подобные оценки могут быть проведены с помощью различных климатических индексов и их производных. Согласно данным последнего отчета Международного энергетического агентства, в 2010 году спрос на энергоресурсы вырос на 5 % по сравнению с предыдущим годом, при этом выбросы парниковых газов выросли на 5,9 %. Существует большая вероятность того, что средняя годовая температура Земли повысится более чем на два градуса по сравнению с доиндустриальным периодом.

Изменения климата и их последствия

- **Последствия изменения климата ощущаются практически во всех странах, и перед правительствами этих стран стоит задача минимизировать их негативные воздействия, в частности организовывать мероприятия по адаптации к меняющимся условиям, которые могут быть направлены как на снижение климатических рисков, так и на извлечение потенциальных выгод от изменения климата.**
- **Примерами таких действий являются более экономное использование дефицитных водных ресурсов, изменение существующих строительных норм с расчетом на устойчивость зданий к воздействию будущих климатических условий и экстремальных погодных явлений, строительство защитных дамб от наводнений, повышение уровня существующих дамб для защиты от растущего уровня морей, создание засухоустойчивых культур, селекция лесной флоры и разработка методов ведения лесного хозяйства, которые приведут к снижению уязвимости от ураганов и пожаров.**
- **Заблаговременные действия могут принести заметную экономическую выгоду и свести к минимуму последствия для экосистем, здоровья человека, экономического развития, собственности и инфраструктуры. Комплексный подход к разработке адаптационных мер, объединяющий науку, технологии и систему реагирования, будет способствовать снижению уязвимости общества и экономики стран к изменениям климата.**

- **Многие страны, понимая важность этих мероприятий, ведут активную государственную политику, разрабатывают адаптационные стратегии как на секторальном (в секторах экономики), так и на региональном уровне (с учетом географических и природно-климатических особенностей региона).**
- **Многие специалисты отмечают, что уязвимость экономики и общества на протяжении следующих 10–20 лет будет определяться социально-экономическими факторами и унаследованными проблемами, а именно удручающей экологической ситуацией и неудовлетворительным состоянием инфраструктуры, нежели изменением климата как таковым. Более теплый климат и обильные осадки в России открывают новые возможности для развития Северного морского пути (увеличение длительности перевозок) и сельского хозяйства (повышение урожайности зерновых). Однако отрицательные проявления изменения климата могут перевесить эффект от положительных.**

Методология определения воздействия климата на экономику

- В основу настоящего исследования положено определение индекса уязвимости (*Vulnerability index*). Это метрический параметр, характеризующий уязвимость системы. Индекс климатической уязвимости обычно выводится посредством сочетания (со взвешиванием или без) нескольких показателей, которые, как предполагается, представляют уязвимость.
- Воздействие (влияние) погоды требует выделить такие специфические показатели *погодозависимости* потребителя, как подверженность, чувствительность и уязвимость. *Подверженность* – степень открытости воздействию, определяемая спецификой работы потребителя. Это могут быть отдельные производственные объекты, их совокупности, комплексы (комбинаты), транспортные единицы, специфические или специальные работы, операции и т. п. Дать полную численную оценку метеорологической чувствительности сложно и вряд ли она может быть представлена в универсальном виде. Поэтому представляется возможным выразить этот показатель *погодозависимости* коэффициентом чувствительности, т. е. через отношение *предотвращенных потерь к издержкам*. Весь набор производственных и хозяйственных объектов в любой отрасли экономики в зависимости от технологической подверженности погоде может быть выражен мерой метеорологической чувствительности. Каждый из приведенных терминов имеет собственное содержание, отражающее определенную характеристику *погодозависимости*. Однако все же более обобщающим и значимым понятием следует рассматривать метеорологическую (климатическую) уязвимость. *Климатическая уязвимость* характеризуется той степенью, в которой изменение климата может нанести отдельному потребителю, определенному сектору или всей экономике в целом.

- Уязвимость рассматривается как достаточно сложная функция. Аргументами, определяющими факторами ее выступают следующие характеристики потребителя:
-
- 1) масштаб производственного объекта или комбинированной группы;
- 2) отраслевая технологическая специфика – различия очевидны в таких отраслях, как рыбопромысловый флот, авиация, нефтехимия, горная промышленность, сельскохозяйственное производство и многое другое;
- 3) степень защищенности (научное, организационное, финансовое и технологическое обеспечение защитных мероприятий);
- 4) региональные особенности производства (шельфовая зона, Севморпуть, Приморье, Краснодарское Причерноморье, локальные особенности горной местности и др.). В региональном факторе уязвимости следует особо выделить местные ветры в горах, ураганы на Северном Кавказе, выход южных циклонов на Приморье, Сахалин, Камчатку и другие опасные метеоусловия. Необходимы исследования уязвимости в зависимости от особенностей макросиноптических процессов и региональных условий погоды. Абсолютная уязвимость является мерой погодозависимости. Относительная уязвимость есть отношение фактически наблюдавшихся метеорологических потерь (Y') к максимально возможным (L). Необходимо учесть то обстоятельство, что уязвимость возрастает по мере роста *подверженности* данного типа объекта.

Чтобы исключить влияние широтного хода рассматриваемых метеоэлементов, использовались данные о температуре, осадках и ветре в 11 пунктах, расположенных вдоль 55 параллели. Были определены экстремумы температуры, осадков и ветра для каждого ряда и их средние многолетние значения (табл. 1).

Индекс станции	Название	с.ш.	в.д.	Период наблюдений	Экстремумы				Средние значения			
					Tmin	Tmax	Осадки	Ветер	Tmin	Tmax	Осадки	Ветер
26477	Великие Луки	57.0	24.1	1881-2016	-45.7	37.3	105.8	45	2.68	8.91	1.47	1.46
27595	Казань	55.8	49.2	1881-2016	-37.3	39.6	74.8	53	0.37	9.15	1.24	1.16
27612	Москва	55.8	37.6	1948-2016	-38.1	38.2	87.8	46	1.69	9.35	1.76	2.32
28411	Ижевск	56.8	53.3	1958-2016	-47.5	37.0	80.0	52	-1.25	7.5	1.43	3.4
28434	Красноуфимск	56.6	57.8	1936-2016	-53.6	37.3	61.6	51	-3.40	6.9	1.5	3.01
28440	Екатеринбург	56.8	60.6	1881-2016	-54.6	30.5	64.9	40	-1.73	5.98	0.09	1.15
28493	Тара	56.9	74.4	1936-2016	-50.1	37.7	68.3	44	-4.79	5.56	1.17	0.5
28661	Курган	55.5	65.4	1893-2016	-47.9	34.7	49.6	44	-1.95	4.43	0.31	0.88
29430	Томск	56.4	85.0	1881-2016	-51.2	35.8	80.5	41	0.25	5.42	1.23	0.39
29574	Красноярск	56.0	92.9	1914-2016	-50.1	35.4	56.4	23	1.14	6.54	0.9	0.67
29612	Барабинск	55.4	78.4	1900-2016	-47.9	29.2	58.1	42	-3.61	3.88	0.20	1.01

Расчет климатической уязвимости производился путем перехода к безразмерным климатическим индексам.

Следует отметить, что при вычислении безразмерного индекса для температуры возникали определенные трудности, когда средние значения были близки к нулю. Поэтому в данной работе для температуры использовалась следующая формула:

$$\frac{|T_{min}| + |T_{max}|}{|T_{min\text{ ср.}}| + |T_{max\text{ ср.}}|}$$

Где $|T_{min}|$ и $|T_{max}|$ модули значений экстремумов температуры, $|T_{min\text{ ср.}}|$ и $|T_{max\text{ ср.}}|$ - сумма модулей средних значений экстремумов температуры для данного пункта. Эта формула может служить показателем «континентальности», то есть суровости климата.

Полная формула климатической уязвимости должна включать еще осадки и ветер:

$$Vi = \frac{\|Tmin\| + \|Tmax\|}{\|Tmin_{ср.} + Tmax_{ср.}\|} + \frac{Pmax}{P_{ср.}} + \frac{Vmax}{V_{ср.}}$$

Как видно, формула (2) состоит из суммы безразмерных показателей и представляет соответственно, безразмерное число, которое предлагается считать индексом климатической уязвимости. С помощью программы «Изограф», разработанной Ю. В. Алферовым, была построена карта распределения климатической уязвимости на территории России вдоль 55 параллели (Рис. 2).

Таблица 3. Индексы экстремальности температуры, осадков и ветра.

Индекс станции	Название	Широта	Долгота	Индекс экстремальности		
				Температура	Осадки	Ветер
26477	Великие Луки	57.0	24.1	7.16	71.97	30.82
27595	Казань	55.8	49.2	8.11	60.32	45.69
27612	Москва	55.8	37.6	6.91	49.88	38.02
28411	Ижевск	56.8	53.3	9.66	55.94	15.29
28434	Красноуфимск	56.6	57.8	8.82	41.07	16.94
28440	Екатеринбург	56.8	60.6	11.04	65.00	34.78
28493	Тара	56.9	74.4	8.48	58.38	33.84
28661	Курган	55.5	65.4	12.95	37.86	32.91
29430	Томск	56.4	85.0	15.34	65.45	26.52
29574	Красноярск	56.0	92.0			

Индексы климатической уязвимости

Индекс станции	Название	Широта	Долгота	Индекс климатической уязвимости
26477	Великие Луки	57.0	24.1	109.95
27595	Казань	55.8	49.2	114.12
27612	Москва	55.8	37.6	94.81
28411	Ижевск	56.8	53.3	80.89
28434	Красноуфимск	56.6	57.8	66.83
28440	Екатеринбург	56.8	60.6	110.82
28493	Тара	56.9	74.4	100.71
28661	Курган	55.5	65.4	83.72
29430	Томск	56.4	85.0	106.31
29574	Красноярск	56.0	92.9	72.07
29612	Барабинск	55.4	78.4	99.94

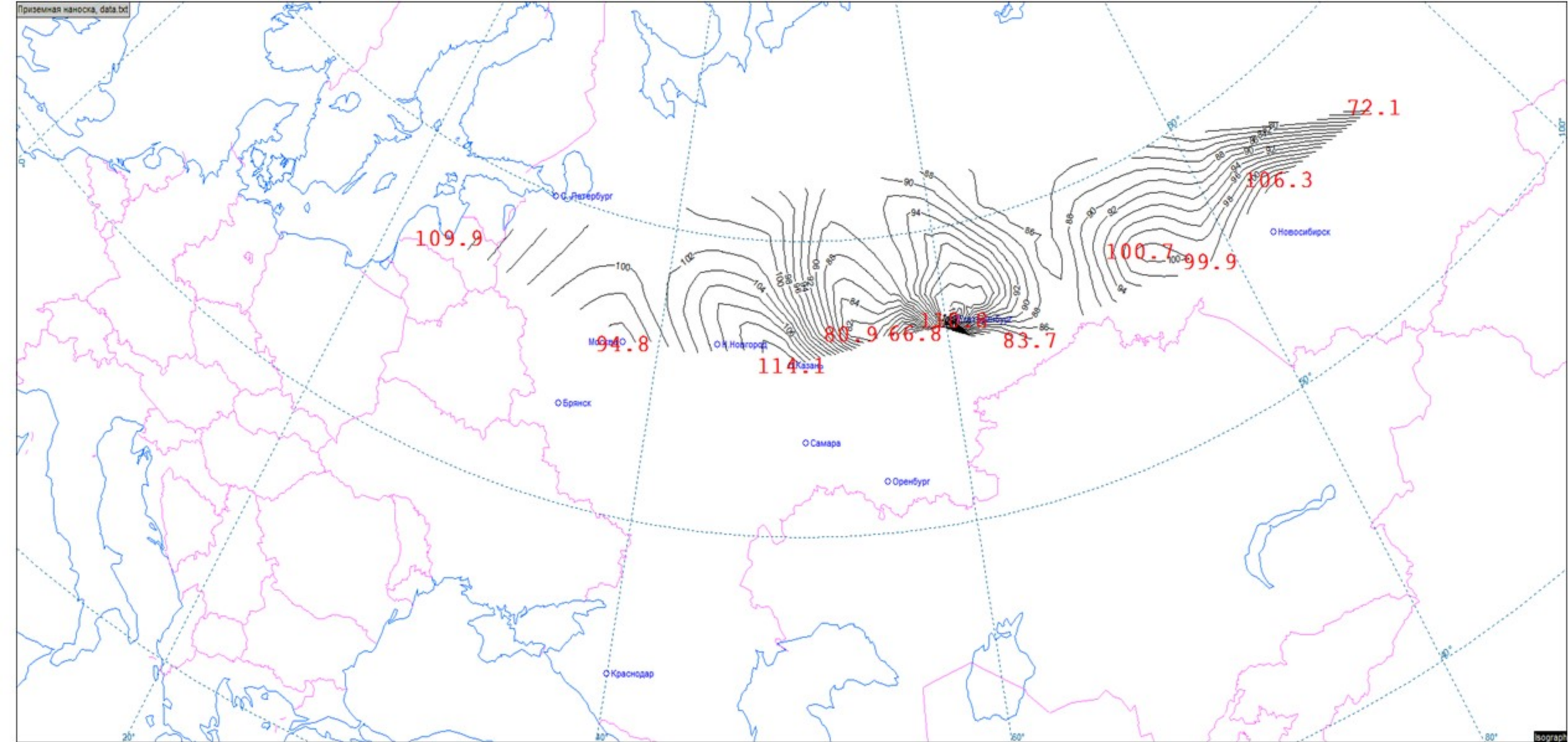


Рис. 2. Распределение индекса климатической уязвимости вдоль 55 параллели.

Анализ полученных результатов.

Как видно из представленных в табл. 3 и 4 результатов, безразмерный индекс климатической уязвимости для выбранных 11 пунктов меняется от 66.83 (Красноуфимск) до 114.12 (Казань), среднее его значение 94.56. Наибольший вклад в индекс вносят осадки, максимальный показатель 71.97 (Великие Луки), минимальный 37.86 (Курган). Вторым по вкладу в безразмерный показатель идет ветер, наибольший показатель 45.69 (Казань), наименьший 9.67 (Красноярск). По степени суровости климата из рассмотренных пунктов наивысший показатель имеет Томск (15.34), наименьший Москва (6.91). Из рис.2 видно, что индекс климатической уязвимости с запада на восток меняется неравномерно, что вероятно, соответствует средним многолетним особенностям крупномасштабной атмосферной циркуляции.

Полученные индексы могут быть использованы при долгосрочном планировании мер адаптации к изменениям климата, экологических мероприятий, крупномасштабном строительстве объектов инфраструктуры.