

Е.А. КОЧУГОВА

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия,
Иркутский государственный университет,
664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1, Россия, kochugovae@mail.ru

ОЦЕНКА КЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ В ЦЕЛЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

Климатические риски по вероятности наступления и ожидаемому размеру убытков признаны наиболее значимыми. Выполнена оценка климатической уязвимости Красноярского края. Анализ пространственного распределения индекса климатической уязвимости проводился на примере 20 метеорологических станций, расположенных в пределах от 52° до 71° с. ш. и от 84° до 103° в. д. Представлена сравнительная оценка изменений климатических условий на примере периодов 1965–1979 и 2005–2019 гг. В северо-восточной части Красноярского края выявлен очаг наибольшей климатической уязвимости. Определен вклад различных метеорологических факторов в индекс климатической уязвимости. В целом в период 2005–2019 гг. вклад температуры воздуха увеличился на 10 % по сравнению с 1965–1979 гг., а роль ветра в формировании уязвимости климата уменьшилась.

Ключевые слова: климатическая уязвимость, Красноярский край, цветная металлургия, природно-климатические риски, изменение климата, адаптация.

Е.А. KOCHUGOVA

V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia
Irkutsk State University,
664003, Irkutsk, ul. Karla Marksa, 1, Russia, kochugovae@mail.ru

ASSESSING CLIMATIC RISKS FOR THE PURPOSE OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE SIBERIAN REGION

Climatic risks are recognized as the most significant according to the probability of occurrence and the expected size of damage. An assessment is made of the climatic vulnerability of Krasnoyarsk krai. The analysis of the spatial distribution of the climatic vulnerability index as made by using 20 meteorological stations as an example, located within 52° to 71° N and 84° to 103° E. A comparative assessment is made of changes in climatic conditions for the periods 1965–1979 and 2005–2019. The center of the largest climatic vulnerability was revealed in the northeastern part of Krasnoyarsk krai. The contribution from different meteorological factors to the climatic vulnerability was determined. On the whole for the period 2005–2019 the contribution from air temperature increased by 10 % against the period 1965–1979, and the role of wind in the climatic vulnerability formation decreased.

Keywords: climatic vulnerability, Krasnoyarsk krai, nonferrous metallurgy, natural and climatic risks, climate change, adaptation.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Осознание уязвимости человечества перед опасностью стихийных бедствий побудило международное сообщество к разработке целого ряда эколого-климатических проектов [1–4] и актуализации документов [5, 6], направленных на создание платформ для руководства и поддержки мероприятий по адаптации к изменению и изменчивости климата.

Статистические данные убедительно показывают повсеместное увеличение числа природных катастроф и неблагоприятных природных явлений. По вероятности наступления и ожидаемому размеру убытков риски, связанные с изменением климата, признаны наиболее значимыми. Так, по

данным исследований страховой компании Allianz [7], начиная с 2017 г., климатические риски «Climate change/increasing volatility of weather» входят в первую десятку ежегодного рейтинга глобальных бизнес-рисков. Экспертные оценки специалистов из более чем 100 государств указывают, что риски способны повлиять на стабильность многих отраслей мировой экономики и социальную устойчивость. Потребность в информации, необходимой для принятия практических решений по предотвращению потерь, растет, как и стремление к количественному измерению климатической уязвимости.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В научной литературе представлено множество интерпретаций понятия уязвимости. Международная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) выделяет три компонента уязвимости: подверженность воздействию, чувствительность и адаптивный потенциал системы к изменению климата. Как отмечено в работах [8–10], первые два компонента описывают возможное воздействие изменений климата на систему, а потенциал адаптивности представляет собой ее возможности приспособиться к меняющимся условиям.

Изменчивость — это неотъемлемое свойство климата, и большинство социальных и экономических систем способно преодолеть незначительные вариации климатических условий. Однако пределы колебаний климата, при которых система способна к восстановлению, во многом определяются характеристикой самой системы и региона [11–14]. В связи с этим оценка климатического риска делится на риск объекта и риск территории [6]. Факторы, составляющие структуру риска, не являются типовыми, а определяются отраслевой спецификой, причинами уязвимости, продолжительностью, масштабом воздействия и пр.

В данной статье в качестве объекта исследования рассмотрены климатические риски, влияющие на отдельные крупные предприятия, в том числе цветной металлургии, расположенные на территории Красноярского края.

Меридиональная протяженность Красноярского края формирует климат с большим разнообразием опасных гидрометеорологических явлений. Поэтому анализ климатической изменчивости и природных опасностей, а также оценка степени уязвимости имеют немаловажное значение в рамках мероприятий, направленных на достижение экономической и социальной стабильности Красноярского края.

Основой для расчета климатической уязвимости края послужила методика, описанная в [15]. При вычислении индекса климатической уязвимости использовались ежедневные данные наблюдений за максимальной, минимальной и срочной температурами воздуха, атмосферным давлением и скоростью ветра, размещенные на сайте [16]. Определялись их экстремумы и средние многолетние значения за период с 1965 по 2019 г. Анализ пространственного распределения индекса климатической уязвимости проводился на примере 20 метеорологических станций, расположенных в пределах от 52° до 71° с. ш. и от 84° до 103° в. д.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Красноярский край — один из крупнейших промышленных центров Сибири, что обусловлено наличием энергетических ресурсов и значительных запасов минерального сырья, в том числе металлических руд. В регионе ведут хозяйственную деятельность горно-металлургическая компания «Норильский никель», Красноярский и Богучанский алюминиевые заводы, Ачинский глиноземный комбинат, Горевский горно-обогатительный комбинат, несколько комплексов гидроэлектростанций и др. Современное производство алюминия осуществляется [17] путем электролитического разложения глинозема, растворенного в электролите. Сырьем для производства алюминия служат бокситы.

Основная часть предприятий алюминиевой промышленности в Сибирском федеральном округе эксплуатируется более 50 лет. Например, Красноярский алюминиевый завод введен в эксплуатацию в 1964 г., а Ачинский глиноземный комбинат — в 1970 г. Безусловно, климатические условия в рассматриваемом регионе изменились и влияют на издержки экономической деятельности предприятий.

Изменение температурного режима на территории исследования наглядно представлено на рис. 1. Сравнительный анализ изменения климатических условий выполнен на примере метеорологических станций сети Росгидромета — Игарка и Ачинск — за два интервала продолжительностью 15 лет: с 1965 по 1979 г. и с 2005 по 2019 г. Выбор первой станции обусловлен близостью к Ванкорскому нефтегазовому месторождению, Курейской и Усть-Хантайской ГЭС, а второй — к Ачинскому глинозем-

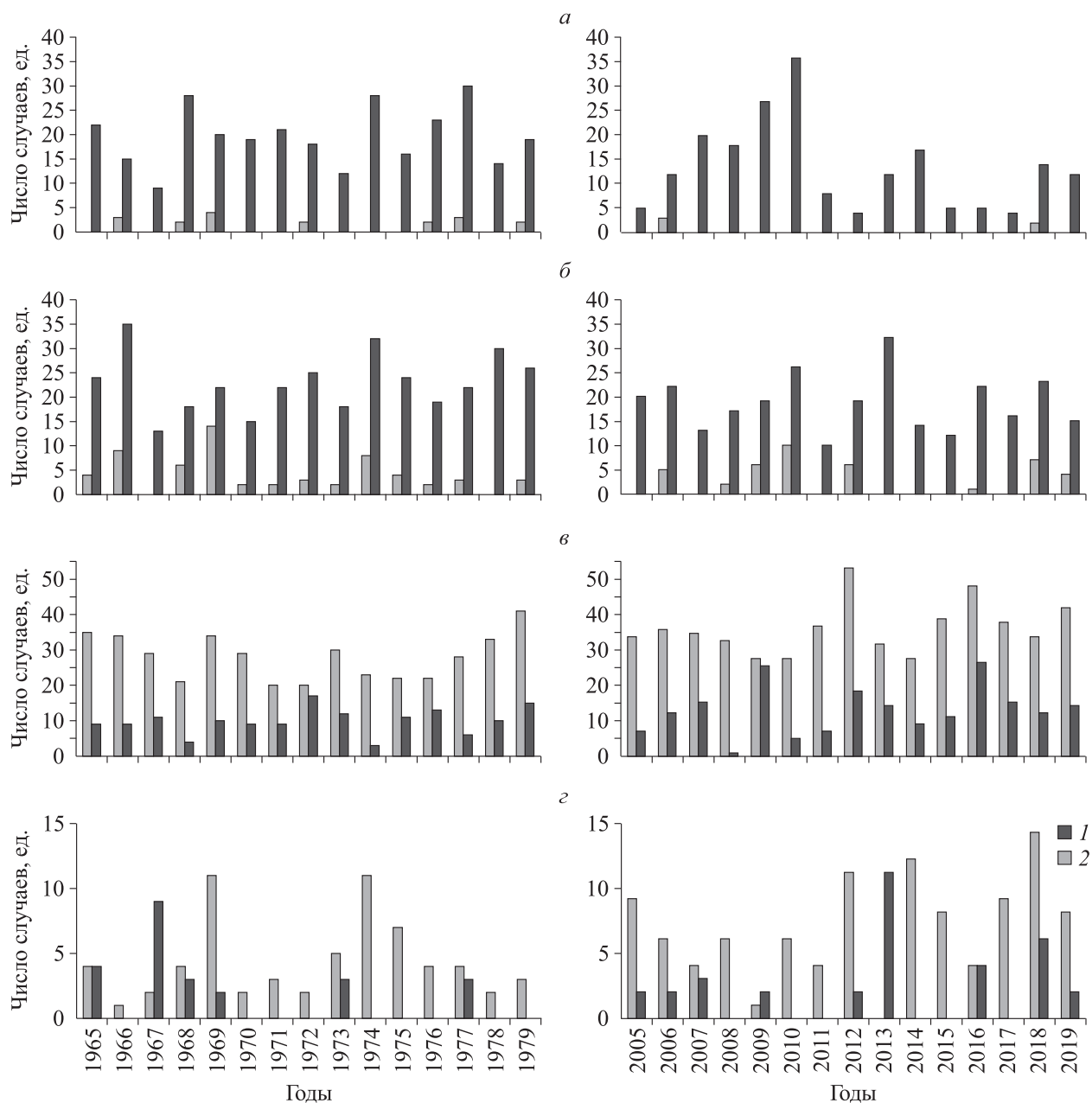


Рис. 1. Частота превышения различных уровней отрицательных (*a* — $<-40^{\circ}\text{C}$; *б* — от -35 до -40°C) и положительных (*в* — от 25 до 30°C ; *г* — $>30^{\circ}\text{C}$) экстремальных температур воздуха на метеорологических метеостанциях Ачинск и Игарка за различные периоды.

Метеостанции: 1 — Ачинск; 2 — Игарка.

ному комбинату. Для перечисленных предприятий температурный фактор может значительно осложнять работу при выполнении технологических операций, а иногда способствовать аварийным ситуациям и незапланированным экономическим потерям [18]. Временные интервалы призваны показать изменение экстремальных температурных режимов.

Жизнедеятельность населения и производства существенно нарушается в период экстремальных погодных событий. Например, сильные морозы значительно увеличивают вероятность технических неисправностей, снижая эксплуатационные свойства конструкций и деталей объектов. Нередко на фоне низких температур (-30°C и ниже) наблюдается разрушение систем отопления, замораживание технических объектов и т. д.

С целью сравнения изменений экстремального температурного режима проведена статистическая обработка случаев с низкими температурами воздуха (минимальная температура воздуха опускалась ниже -35 , -40 и -45 °С (см. рис. 1, а, б)) и с высокими температурами (максимальная температура выше 25 , 30 °С (см. рис. 1, в, з)).

Анализ числа случаев с отрицательными экстремумами показал их ярко выраженное уменьшение во второй период (2005–2019 гг.) для обеих метеостанций. Уменьшение частоты отмечается для всех градаций: число случаев, входящих в диапазон от -35 до -40 °С, для станции Ачинск сократилось в 1,5 раза, для станции Игарка — в 1,3 раза (см. рис. 1, б); в интервал от -40 до -45 °С — в 3,6 и 1,7 раза соответственно (см. рис. 1, а). Наблюдаемое уменьшение прямого воздействия изменений термического режима зимнего сезона благоприятный фактор для Красноярского края, особенно для предприятий нефтегазового комплекса. Полученные результаты подтверждают выводы доклада [19]: сокращение случаев с температурой воздуха ниже -30 °С положительно отразится на работе оборудования и эксплуатационных расходах и создаст более благоприятные климатические условия, например, для производства буровых работ, прокладки трубопроводных сетей. Простои в работе, обусловленные низкими температурами, сократятся.

Однако надо отметить, что на фоне указанной тенденции могут наблюдаться годы, когда температура может достигать рекордно низких значений. Например, в Игарке в 2005 г. минимальная температура воздуха 17 раз опускалась ниже -50 °С.

Число случаев с положительными экстремумами после 2005 г. значительно возросло (см. рис. 1, в, з). Так, в Ачинске с 1965 по 1979 г. число случаев, когда температура входила в градацию от 30 до 35 °С, составляло 73, а с 2005 по 2019 г. — 101. Текущие изменения в теплый период года могут снизить производительность труда, вызывая проблемы с концентрацией внимания, тепловые удары, обострения хронических заболеваний и т. д.

Учет рисков климатических изменений важен в долгосрочном планировании социально-экономического развития на всех уровнях управления.

Промышленные предприятия имеют климатическую уязвимость. В частности, это касается производств на открытом воздухе, таких как добыча сырья, транспортные перевозки. В зоне повышенного риска от опасных природных явлений находятся объекты бесперебойного энергоснабжения. Согласно [20], Красноярский край находится в самой высокой зоне риска для населения от опасных явлений (индекс составляет 0,67–1). При этом риск в добывающей промышленности оценивается в 20 %, а в энергетике — 40 %.

Расчет индекса климатической уязвимости за весь исследуемый период показал, что на территории Красноярского края он изменяется от 13 (м/с Волочанка) до 32 (м/с Тутончаны) (рис. 2). Очаг максимальных значений индекса расположен в северо-восточной части Красноярского края (метеостанции Агата, Тутончаны, Кислокан). На севере и юге Красноярского края индекс климатической уязвимости не превышает 20.

Оценив вклад каждой метеорологической величины в общий индекс уязвимости, можно заключить, что наибольшее влияние оказывает ветер (см. таблицу). В целом его вклад равен 58 %. Исключение составляют метеорологические станции, расположенные в южных районах Красноярского края (Тасеево, Красноярск, Усть-Уса и Оленья Речка), где климатическая уязвимость формируется за счет значительной амплитуды температуры воздуха. В общем для рассматриваемой территории вклад температуры воздуха составляет 36 %. Доля атмосферного давления в климатической уязвимости края не превышает 9 % (м/с Волочанка).

Сравнительный анализ вкладов различных метеорологических факторов в индекс климатической уязвимости показал их существенную изменчивость. Например, на м/с Игарка в период с 1965 по 1979 г. определяющую роль в формировании климатической уязвимости играл ветер: на его долю приходилось 68,9 %. В последние годы основной вклад в уязвимость климатических условий Игарки вносит температура воздуха (вклад 52,3 %). Аналогичное перераспределение характерно примерно для трети исследуемых метеостанций (Янов Стан, Северо-Енисейский, Енисейск, Богучаны, Ачинск и Усть-Уса), большая часть которых расположена в северных районах Красноярского края.

В целом за период 2005–2019 гг. влияние температуры воздуха увеличилось на 10 % по сравнению с периодом 1965–1979 гг., а роль ветра в формировании уязвимости климата уменьшилась.

Расчет индекса климатической уязвимости по данным за разные временные интервалы также указывает на уменьшение его значений в последние десятилетия, т. е. на смягчение степени воздействия на климатические условия и уменьшение подверженности системы к изменению климата. Особенно выражена эта тенденция на метеорологических станциях Агата, Тутончаны, Северо-Енисейский и Минусинск, где значение индекса климатической уязвимости уменьшилось на 8–10 пунктов

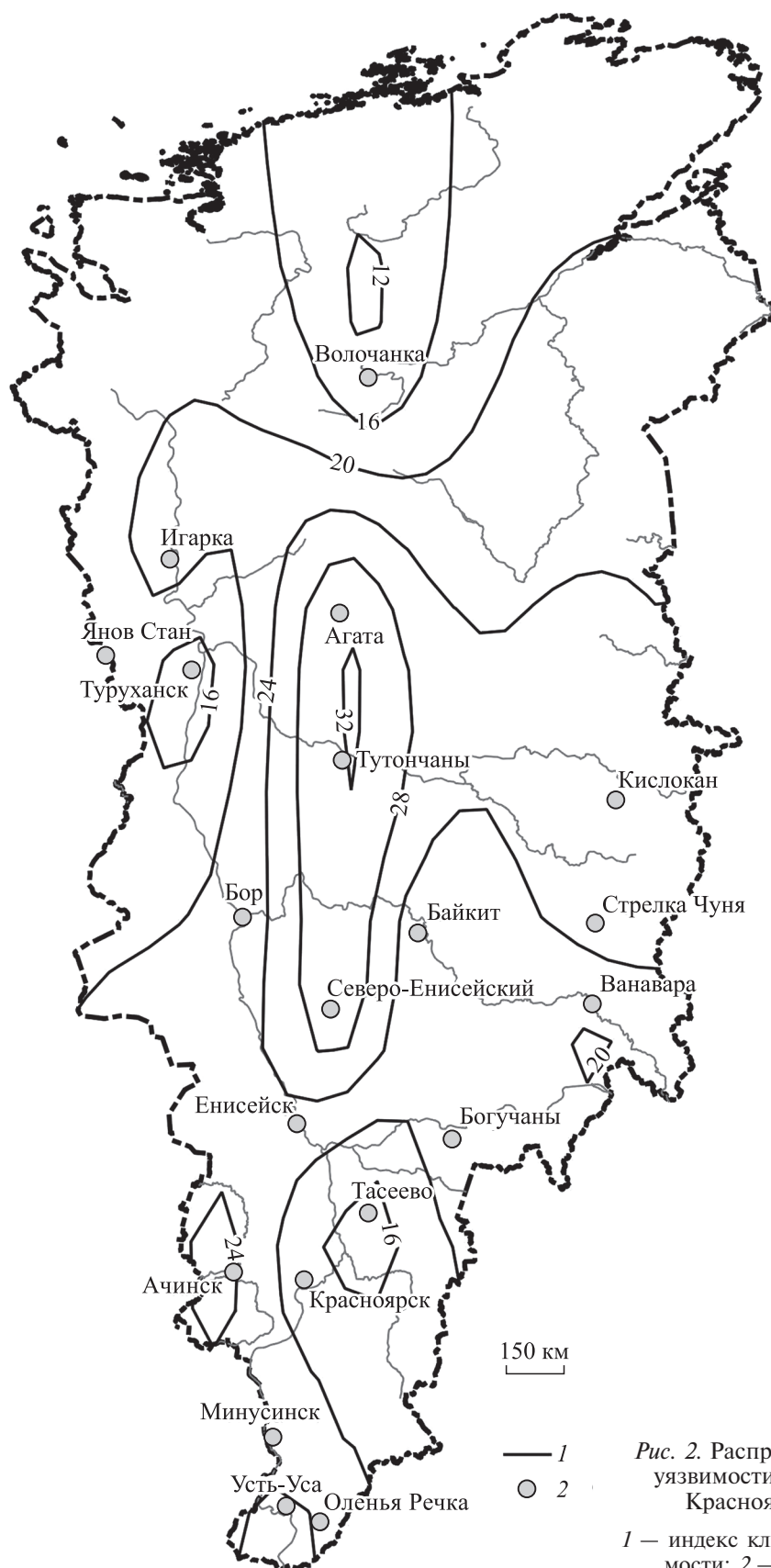


Рис. 2. Распределение индекса уязвимости по территории Красноярского края.

1 — индекс климатической уязвимости; 2 — метеостанции.

Вклад метеорологических величин (%) в общий индекс климатической уязвимости, рассчитанный за различные периоды

Название метеорологической станции	1965–2019 гг.			1965–1979 гг.			2005–2019 гг.		
	температура	давление	ветер	температура	давление	ветер	температура	давление	ветер
Волочанка	33,5	8,2	58,4	31,7	8,4	59,4	35,0	8,0	57,0
Игарка	27,5	4,9	67,6	25,6	5,5	68,9	52,3	8,0	39,7
Агата	14,7	3,4	81,9	14,4	3,7	81,8	29,6	6,0	64,4
Туруханск	56,0	7,5	36,5	53,8	8,6	37,5	57,0	6,6	36,4
Янов Стан	36,2	5,6	58,2	37,1	6,8	56,1	53,7	7,1	39,2
Тутончаны	21,5	3,3	75,2	22,6	3,7	73,7	34,8	5,3	60,0
Кислокан	21,4	4,1	74,4	23,6	4,8	71,6	33,0	5,9	61,1
Бор	40,6	4,9	54,5	47,0	5,7	47,3	50,5	6,0	43,5
Стрелка Чуня	24,0	4,1	71,9	26,4	5,1	68,5	28,7	4,7	66,6
Байкит	38,7	4,9	56,4	33,8	5,0	61,3	39,1	4,8	56,1
Северо-Енисейский	34,8	3,6	61,7	23,7	4,5	71,8	56,0	6,0	38,0
Ванавара	35,1	5,3	59,5	35,1	5,7	59,2	36,0	5,5	58,4
Енисейск	36,5	4,6	58,9	38,8	5,1	56,1	54,7	6,9	38,4
Богучаны	36,3	4,6	59,0	38,1	5,3	56,5	52,9	6,9	40,3
Тасеево	51,3	7,1	41,6	43,9	6,1	50,0	47,9	6,9	45,1
Ачинск	37,0	4,3	58,7	41,1	4,9	54,0	55,7	6,5	37,8
Красноярск	48,0	6,2	45,8	49,4	6,6	44,0	52,7	6,8	40,6
Минусинск	28,1	4,5	67,4	26,2	4,2	69,6	41,2	6,9	51,9
Усть-Уса	61,3	6,0	32,8	41,9	6,2	51,9	65,9	6,6	27,5
Оленья Речка	51,6	5,7	42,8	41,9	6,2	51,9	48,3	5,9	45,8

по сравнению с интервалом 1965–1979 гг., соответствующего периоду ввода в эксплуатацию большинства крупных промышленных объектов Красноярского края.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практически вся хозяйственная структура Красноярского края ориентирована на секторы экономики с очень низким адаптационным потенциалом. Ограниченные технологические, финансовые

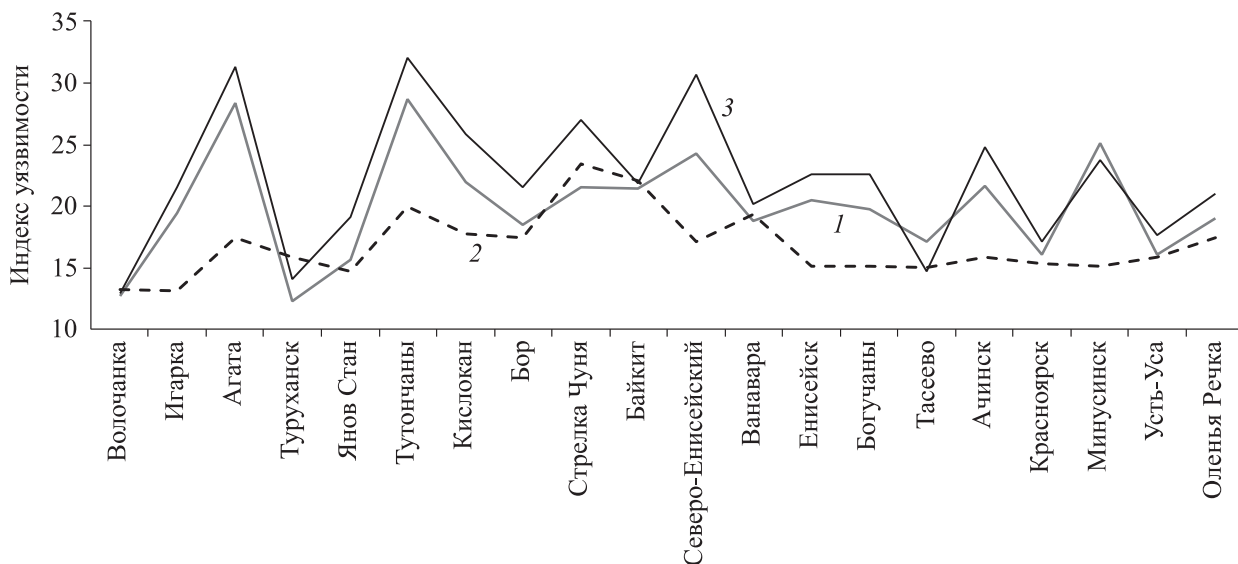


Рис. 3. Изменение индексов климатической уязвимости на территории Красноярского края, рассчитанных за различные временные интервалы.

1 — 1965–1979 гг.; 2 — 2005–2019 гг.; 3 — 1965–2019 гг. (общий период).

и другие ресурсы ставят население региона в исключительную зависимость от успешности мер по смягчению изменений климата. В связи с этим анализ, понимание и характеристика природно-климатических угроз и уязвимости территории призваны помочь в определении решений и действий по минимизации климатических рисков.

Индекс климатической уязвимости территории Красноярского края изменяется в пределах от 13 до 32 (рис. 3). Наиболее подверженные климатическим изменениям территории расположены в северо-восточной части региона. В последние годы степень воздействия на климатические условия региона уменьшается, особенно на метеостанциях Агата, Тутончаны, Северо-Енисейский и Минусинск.

Очевидно, что результаты исследований климата не исчерпывают потребностей адаптации. Необходимо диалог между климатологами и субъектами адаптации, способствующий применению информации о климате при планировании и корректировке адаптационных мер.

Исследование выполнено в рамках государственного задания (№ госрегистрации темы АААА–А17–117041910172–4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **GFCS. Global Framework for Climate Services** [Электронный ресурс]. — <https://gfcs.wmo.int> (дата обращения 09.09.2020).
2. **Framework Convention Climate Change. Conference of the Parties. Twenty-first session Paris, 30 November to 11 December 2015** [Электронный ресурс]. — <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf> (дата обращения 09.09.2020).
3. **Сендайская рамочная программа по снижению риска бедствий на 2015–2030 гг.** [Электронный ресурс]. — https://www.unisdr.org/files/43291_russiansendaiframeworkfordisasterri.pdf (дата обращения 09.09.2020).
4. **Климатическая доктрина Российской Федерации** [Электронный ресурс]. — <http://www.president.kremlin.ru/news/6365> (дата обращения 09.09.2020).
5. **Национальный стандарт Российской Федерации. Адаптация к изменениям климата. Принципы, требования и руководящие указания** [Электронный ресурс]. — <http://docs.cntd.ru/document/1200167738> (дата обращения 09.09.2020).
6. **Кобышева Н.В., Акентьева Е.М., Галюк Л.П.** Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере. — СПб.: Изд-во «Кириллица», 2015. — 214 с.
7. **Влияние климатических рисков и устойчивое развитие финансового сектора Российской Федерации.** Доклад для общественных консультаций [Электронный ресурс]. — https://cbr.ru/Content/Document/File/108263/Consultation_Paper_200608.pdf (дата обращения 10.09.2020).
8. **Smit B., Wandel J.** Adaptation, adaptive capacity and vulnerability // *Global Environmental Change*. — 2006. — V. 16, N 3. — P. 282–292.
9. **Кобышева Н.В.** Методика экономического обоснования адаптационных мероприятий, связанных с изменением и изменчивостью климата // *Труды ГГО*. — 2014. — Вып. 574. — С. 5–38.
10. **Nelson D.R., Adger W.N., Brown K.** Adaptation to environmental change: contributions of a resilience framework // *Annual Review of Environment and Resources*. — 2007. — N 32. — P. 395–419.
11. **Smit B., Pilifosova O.** Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity // *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. IPCC Working Group II*. — Cambridge: Cambridge University Press, 2001. — P. 877–912.
12. **Yohe G., Tol R.S.J.** Indicators for social and economic coping capacity: moving toward a working definition of adaptive capacity // *Global Environmental Change*. — 2002. — N 12. — P. 25–40.
13. **Jones R., Mearns L.** Assessing future climate risks // *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures*. — Cambridge, UK, New York, USA: Cambridge University Press, 2005. — P. 119–143.
14. **Carter T.R., Jones R.N., Lu X., Bhadwal S., Conde C., Mearns L.O., O'Neill B.C., Rounsevell M.D.A., Zurek M.B.** New assessment methods and the characterization of future conditions // *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. — Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. — P. 133–171.
15. **Оганесян В.В.** Методика расчета климатической уязвимости территории на основе безразмерных климатических индексов // *Тр. Гидрометцентра России*. — 2017. — Вып. 266. — С. 158–165.
16. **Сайт Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды** [Электронный ресурс]. — <http://meteo.ru> (дата обращения 10.09.2020).
17. **Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям, ИТМ11-2016 «Производство алюминия».** — М.: Росстандарт, Бюро НДТ, 2016. — 156 с.

18. Колесова С.Б., Насыров А.М., Полозов М.Б. Влияние температурного фактора на оборудование и технологические процессы добычи нефти // Экспозиция. Нефть. Газ. — 2018. — № 2 (62). — С. 42–45.
19. Доклад о научно-методических основах для разработки стратегии адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета) / Под. ред. В.М. Катцова, Б.Н. Порфирьева. — СПб.; Саратов: Амирит, 2020. — 120 с.
20. Москвичев В.В., Тридворнов А.В. Зонирование территории Красноярского края по степени природного, техногенного и комплексного рисков чрезвычайных ситуаций // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева. — 2008. — № 2 (19). — С. 29–33.

Поступила в редакцию 20.09.2020

После доработки 05.10.2020

Принята к публикации 09.10.2020