

# МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

и школа молодых ученых по измерениям, моделированию  
и информационным системам для изучения окружающей среды

избранные труды

# ENV IRO MIS 20



## INTERNATIONAL CONFERENCE

and Early Career Scientists School on Environmental Observations,  
Modeling and Information Systems

selected papers

## Enviromis 2020 organizers

Institute of Monitoring of Climatic and  
Ecological Systems SB RAS

Institute of Numerical Mathematics RAS

Moscow Center for Basic and Applied  
Mathematics

Ugra State University

## Организаторы Enviromis 2020

Институт мониторинга климатических  
и экологических систем СО РАН

Институт вычислительной математики РАН

Московский центр фундаментальной  
и прикладной математики

Югорский государственный университет

## WCEDAI 2020 organizers

Institute of Monitoring of Climatic  
and Ecological Systems SB RAS

Research Computing Center  
of Moscow State University

Institute of Numerical Mathematics RAS

Magdeburg-Stendal University  
of Applied Sciences

Potsdam Institute  
for Climate Impact Research

## Организаторы WCEDAI 2020

Институт мониторинга климатических  
и экологических систем СО РАН

Научно-исследовательский вычислительный  
центр МГУ

Институт вычислительной математики РАН

Магдебург-Стендальский университет  
прикладных наук

Потсдамский институт по исследованию  
влияния климатических изменений

## Thanks

The conference  
is supported by RFBR,  
grant № 20-05-22040

## Благодарности за поддержку

Мероприятие проведено  
при финансовой поддержке РФФИ,  
проект № 20-05-22040

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Научно-практический журнал *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление* № 6, 2019 г.
2. *Погода и подробный прогноз погоды от Гидрометцентра России.* – URL: <https://meteoinfo.ru/> (дата обращения 10.04.2020)
3. Швер Ц.А. *Атмосферные осадки на территории СССР / Ц.А. Швер – Л: Гидрометеиздат, 1976, с. 300.*

# Spatial distribution and features of genesis of mesoscale convective complexes over the south-east of Western Siberia

<sup>1</sup>Koshikova T.S., <sup>1,2</sup>Zhukova V.A., <sup>1,2</sup>Pustovalov K.N., <sup>2</sup>Kuzhevskaya I.V., <sup>1,2</sup>Nagorskiy P.M.

<sup>1</sup>Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>Tomsk State University, Tomsk, Russia

E-mail: [tkoshikova@gmail.com](mailto:tkoshikova@gmail.com), [jukowa.vera2017@yandex.ru](mailto:jukowa.vera2017@yandex.ru), [const.pv@yandex.ru](mailto:const.pv@yandex.ru), [ivk@ggf.tsu.ru](mailto:ivk@ggf.tsu.ru), [npm\\_sta@mail.ru](mailto:npm_sta@mail.ru)

The spatial distribution of the MCC and the heterogeneity of their characteristics are estimated using data from artificial Earth satellites. As a result of the analysis, two foci with the highest repeatability of MCC were identified. The first repeatability maximum is observed over the northwestern slopes of the Altai Mountains, the Salair Range and the Baraba Lowland, and the second is observed over the south of the Omsk Region. It was found that the hearth of repeatability of the MCC over the north-west of the Altai Mountains is represented by intra-mass cases, and the hearth above the Salair ridge and the Baraba lowland are frontal. The characteristics of the MCC were calculated and clustered. As a result of clustering over the south of Western Siberia, 4 classes of MCC were distinguished.

Acknowledgements: This work was supported by the grant of the President of the Russian Federation (МК-489.2020.5).

## REFERENCES:

1. Chernokulsky A.V., Bulygina O.N., Mokhov I.I. Recent variations of cloudiness over Russia from surface daytime observations // *Environ. Research Letters.* – 2011. – V. 6, № 3. – P. 035202.
2. Vel'tishchev N.F., Stepanenko V.M. *Mezometeorologicheskie processy.* – M.: MGU, 2006. – 101 s.
3. Asmus V.V., Krovotynceev V.A., Milekhin O.E., Solov'ev V.I., Uspenskij A.B. *Ispol'zovanie sputnikovyyh dannyh DZZ dlya resheniya zadach gidrometeorologii i monitoringa okruzhayushchej sredy // Vo-prosy elektromekhaniki. Trudy VNIEM.* – 2008. – T. 105. – S. 6–16.
4. Maddox R.A. Mesoscale convective complexes // *Bull. Am. Meteorol. Soc., 1980.* – V. 61. – P. 1374–1387.
5. Velasco, I. and J. M. Fritch: Mesoscale convective complexes in the Americas // *J. Geoph. Res.* – 1987. – V. 93, No. D8, – P. 9561–9613.
6. Koshikova T.S., Zhukova V.A., Kuzhevskaya I.V. *Ocenka parametrov mezomasshtabnyh konvektivnyh kompleksov na osnove sputnikovyyh i aerologicheskikh dannyh // Geosfernye issledovaniya.* – 2019. – №2. – S.86–97.7. *LAADS Web [Электронный ресурс].* – URL: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/> (дата обращения: 20.04.2020).
7. Qu J.J. *Earth Science Satellite Remote Sensing. V. 1: Science and Instruments / J.J. Qu, W. Gao, M. Kafatos, R.E. Murphy, V.V. Salomonson.* – Beijing: Tsinghua University Press and Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg, 2006. – 418 p.
8. *EOSDIS Worldview [Электронный ресурс].* – URL: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (дата обращения: 25.04.2020).
9. *Gidrometcentr Rossii. Sinopticheskie karty [Электронный ресурс].* – URL: <https://meteoinfo.ru/mapsynop> (дата обращения: 20.05.2020).

# Пространственное распределение и особенности генезиса мезомасштабных конвективных комплексов над юго-востоком Западной Сибири

<sup>1</sup>Кошикова Т.С., <sup>1,2</sup>Жукова В.А., <sup>1,2</sup>Пустовалов К.Н., <sup>2</sup>Кужевская И.В., <sup>1,2</sup>Нагорский П.М.

<sup>1</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

E-mail: tkoshikova@gmail.com, jukowa.vera2017@yandex.ru, const.pv@yandex.ru, ivk@ggf.tsu.ru, npm\_sta@mail.ru

Во второй половине XX – начале XXI вв. в регионах Северной Евразии, отмечалось увеличение доли конвективных облаков [1]. Сохранение данной тенденции приведёт к дальнейшему увеличению повторяемости таких опасных явлений, как град, интенсивные ливни, шквалы и др. Наиболее опасными проявлениями конвективной облачности являются мезомасштабные конвективные системы, в частности мезомасштабные конвективные комплексы (МКК) [2]. Обнаруживаются МКК с помощью радиолокационных наблюдений и изображений, получаемых с искусственных спутников земли (ИСЗ). На территории юга Западной Сибири практически отсутствует радиолокационная сеть (МРЛ, ДМРЛ), что не позволяет использовать их в данном исследовании. На основе применения систем космического мониторинга обнаруживаются признаки возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС), ведётся мониторинг ЧС, оценивается ущерб [3].

Согласно [4], МКК – это комплекс кучево-дождевых облаков, объединённых общей наковальной квазивальной формы, инфракрасные изображения которой имеют следующие характеристики. Площадь более или менее непрерывного облачного покрова с температурой верхней границы ниже  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$  составляет не менее  $105\text{ км}^2$ , а площадь внутреннего района с температурой верхней границы ниже  $-52\text{ }^{\circ}\text{C}$  не менее  $5 \times 104\text{ км}^2$ . Указанные размеры сохраняются в течение 6 ч и более. МКК можно встретить в разных географических регионах [2-5], в том числе и в Западной Сибири [6]. Однако в умеренных широтах их размеры могут существенно уступать описанным в [4], определённым для тропических регионов.

Целью данной работы является оценка пространственного распределения МКК и неоднородности их характеристик с помощью данных ИСЗ.

Исходными данными для исследования послужили RGB-изображения облачности [7] и продукты второго уровня обработки MODATML2 и MYDATML2 (разрешение  $5 \times 5\text{ км}$ ) [8], полученные по данным спектрорадиометра MODIS. Спектрорадиометр MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) один из ключевых приборов на КА «Терра» и «Аква» [9]. Дополнительно привлекались синоптические карты с фронтальным анализом [10].

Исследование проводилось для территории юга Западной Сибири (Омская, Томская, Новосибирская и Кемеровская области, Алтайский край, республика Алтай), за апрель-сентябрь 2010–2019 гг.

На первом этапе на основе спутниковых изображений осуществлялось визуальное дешифрирование конвективных комплексов (в том числе МКК), поперечное сечение которых превышает 50 км. Всего за период 2010–2019 гг. было дешифрировано более 460 таких случаев. Были выделены временные интервалы прохождения отобранных конвективных комплексов над территорией исследования и определены координаты их центров. На основе синоптических карт [10] дешифрированные случаи конвективных комплексов были разделены на две группы: фронтальные и внутримассовые.

На основе информации прохождения и координатах конвективных комплексов были отобраны файлы MODATML2/MYDATML2 [7], содержащие двумерные массивы данных (ячейки которых имеют размеры  $5 \times 5\text{ км}$ ) с облачными продуктами, следующие из которых были использованы в данной работе: оптическая толщина облачности – Cloud Optical Thickness (*COT*); эффективный радиус облачных частиц – Cloud Effective Radius (*CER*); высота верхней границы облачности – Cloud Top Height (*CTH*); интегральное влагосодержание – Cloud Water Path (*CWP*); давление на верхней границе облака – Cloud Top Pressure (*CTP*); температура на верхней границе облака – Cloud Top Temperature (*CTT*).

На втором этапе исследования осуществлялась автоматизированная формализация дешифрированных случаев конвективных комплексов по следующей разработанной авторами методике. На основе данных облачных продуктов MODIS строилась маска, состоящая из пикселей  $5 \times 5\text{ км}$ , для каждого из которых выполнялись условия:  $CTT \leq 200\text{ К}$  ( $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) [3],  $COT \leq 30$ . Для каждого случая рассчитывалась площадь маски посредством вычисления суммы всех пикселей в пределах маски и умножения её на площадь одного пикселя ( $25\text{ км}^2$ ). Также вычислялись длины хорд маски вдоль широты ( $l_{\text{lat}(i)}$ ) и долготы ( $l_{\text{lon}(i)}$ ) как произведения суммы пикселей вдоль меридиана и параллели соответственно и размера пикселя ( $5\text{ км}$ ). Значения  $l_{\text{lat}}$  и  $l_{\text{lon}}$ , соответствующие 95-перцентилю, принимались в качестве протяжённостей всего конвективного комплекса вдоль широты и долготы –  $L_{\text{lat}}$  и  $L_{\text{lon}}$ . Кроме того, на основе значений продуктов *CTH*, *CWP*, *CER*, *CTT*, *CTP* в пикселях, попадающих внутрь маски, рассчитывались средние

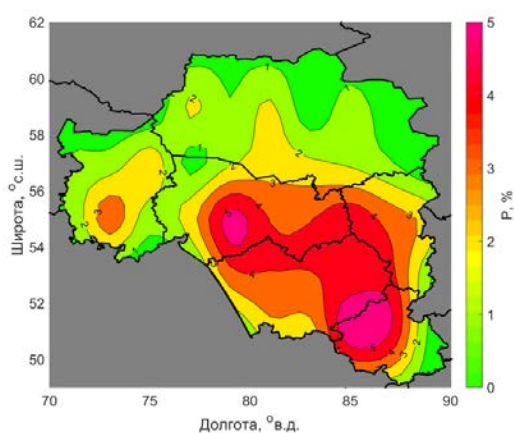
значения высоты верхней границы, интегрального влагосодержания, эффективного радиуса частиц, температуры и давления на верхней границе МКК.

Для исключения из дальнейшего рассмотрения небольших конвективных комплексов, размеры которых не позволяют считать их МКК, проводилась дополнительная фильтрация случаев, в ходе которой исключались конвективные комплексы, площадь маски которых меньше пороговой площади ( $S_n$ ). Применялись два варианта  $S_n$ :

- 1) 5000 км<sup>2</sup> (1/20 от пороговой площади определённой для тропических регионов [4]);
- 2) 10000 км<sup>2</sup> (1/10 от пороговой площади определённой для тропических регионов [4]).

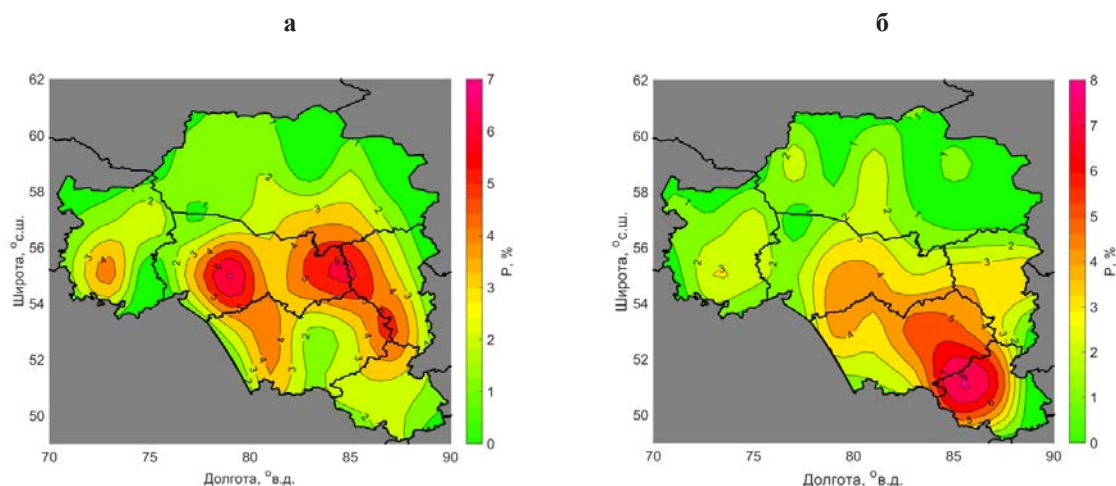
На основе описанной выше методики за десятилетний период отобрано 279 случаев при  $S_n = 5000$  км<sup>2</sup> и 91 случай при  $S_n = 10000$  км<sup>2</sup>. Каждая из категорий отобранных случаев МКК подразделялась на фронтальные и внутримассовые. В дальнейшем описании рассматривались только случаи МКК, отобранные при  $S_n = 5000$  км<sup>2</sup>.

Произведён расчёт количества МКК, приходящегося на ячейки 2°×2° по широте и долготе, как в целом по всем случаям, так и отдельно по фронтальным и внутримассовым. На основе произведённых расчётов были построены сглаженные распределения повторяемости (в % от общего количества) по территории исследования МКК различного генезиса (рис. 1), а также отдельно фронтального и внутримассового происхождения (рис. 2).



**Рис. 1.** Сглаженное распределение повторяемости всех отобранных случаев МКК на юго-востоке Западной Сибири.

Согласно рис. 1, наибольшая повторяемость МКК наблюдается на юго-востоке Западной Сибири, в частности, над северо-западными склонами Алтайских гор, Салаирским кряжем и Барабинской низменностью. Второй более слабый максимум отмечается над югом Омской области. Кроме того, можно отметить, что над поймой р. Обь и Обским водохранилищем отмечается некоторое снижение повторяемости МКК, а над юго-западом Томской области (восточной частью Васюганского болота) – увеличение. Анализ повторяемости мезомасштабных конвективных комплексов фронтального и внутримассового происхождения по отдельности (рис. 2) показал, что очаг повторяемости МКК над северо-западом Алтайских гор представлен, главным образом, внутримассовыми случаями, а очаги над Салаирским кряжем и Барабинской низменностью – фронтальными.



**Рис. 2.** Сглаженное распределение повторяемости МКК фронтального (а) и внутримассового (б) происхождения на юго-востоке Западной Сибири.

Перейдём к рассмотрению характеристик МКК. В таблице 1 представлены значения, соответствующие 5-, 50- и 95-перцентильям, некоторых параметров МКК, как в целом по всем случаям, так и отдельно фронтального и внутримассового происхождения.

**Таблица 1.** Значения, соответствующие 5-, 50- и 95-перцентильям, некоторых параметров МКК различного генезиса.

	Площадь, $\times 10^3 \text{ км}^2$	Высота верхней границы, км	Интегральное влажностное содержание, $\text{кг}/\text{м}^2$	Эффективный радиус облачных частиц, мкм
Все случаи МКК	5,2/8,3/17,1	9,2/10,6/12,1	1,0/1,3/1,5	23/26/29
Фронтальные МКК	5,3/9,2/18,4	9,3/10,6/12,0	1,0/1,3/1,5	22/26/29
Внутримассовые МКК	5,2/7,9/15,9	9,0/10,7/12,1	1,0/1,3/1,5	23/27/29

В целом для всех исследуемых случаев МКК площадь в среднем (медиана) составляет  $8,3 \cdot 10^3 \text{ км}^2$ , а её минимальное и максимальное значения (при доверительной вероятности 95 %) составляют  $5,2 \cdot 10^3$  и  $17,1 \cdot 10^3 \text{ км}^2$  соответственно. Высота МКК, как правило, изменяется от 9,2 до 12,1 км, а её медианное значение равно 10,6 км. Интегральное влагосодержание для МКК на юге Западной Сибири составляет в среднем  $1,3 \text{ кг}/\text{м}^2$  и изменяется от 1 до  $1,5 \text{ кг}/\text{м}^2$ . Медианные, минимальные и максимальные (при доверительной вероятности 95 %) эффективного радиуса облачных частиц в МКК составляют 23, 26 и 29 мкм соответственно. Сравнение характеристик МКК фронтального и внутримассового происхождения показывает, что внутримассовые МКК по площади значительно меньше фронтальных, однако их высота верхней границы и размеры облачных частиц, в целом, больше чем у фронтальных.

Далее рассчитанные значения параметров МКК ( $L_{\text{lon}}$ ,  $L_{\text{lat}}$ ,  $S$ ,  $CTH$  и  $CWP$ ,  $CER$ ) были определены как признаковое пространство для кластеризации по методике итерационных алгоритмов  $k$ -mean. В основе алгоритма лежит принцип разбиения множества элементов векторного пространства на заранее известное число кластеров  $k$ . Действие алгоритма таково, что он стремится минимизировать среднее квадратичное отклонение внутри каждого кластера. На каждой итерации заново вычисляется математический центр масс для каждого кластера, полученного на предыдущем шаге, затем векторы разбиваются на кластеры вновь в соответствии с тем, какой из новых центров оказался ближе по выбранной метрике. Алгоритм завершается, в случае если на очередной итерации не происходит изменения в составе кластеров. На начальном этапе принимали в качестве центров самые отдаленные друг от друга объекты.

В результате кластеризации были выделены 4 класса МКК над югом Западной Сибири:

- Класс 1: небольшие невысокие маловодные (фронтальных/внутримассовых: 27/30 %);
- Класс 2: крупные невысокие маловодные (фронтальных/внутримассовых: 23/11 %);
- Класс 3: небольшие высокие водные (фронтальных/внутримассовых: 36/49 %);
- Класс 4: крупные высокие водные (фронтальных/внутримассовых: 13/10 %).

Второй класс представлен преимущественно фронтальными МКК, а третий класс – внутримассовыми. Для первого и четвертого классов соотношение МКК различного генезиса сопоставимое. Рассчитаны статистические характеристики некоторых параметров МКК, относящихся к различным классам (табл. 2).

**Таблица 2.** Значения, соответствующие 5-, 50- и 95-перцентильям, некоторых параметров МКК различных классов.

Классы МКК	Площадь, $\times 10^3 \text{ км}^2$	Высота верхней границы, км	Интегральное влажностное содержание, $\text{кг}/\text{м}^2$	Эффективный радиус облачных частиц, мкм
Класс 1	5,1/6,8/9,5	9,0/10,1/11,0	1,0/1,1/1,3	23/25/27
Класс 2	9,2/13,1/18,2	8,5/10,4/11,8	1,0/1,2/1,4	22/25/27
Класс 3	5,3/7,6/11,8	9,4/10,8/12,0	1,2/1,3/1,5	25/27/30
Класс 4	9,6/14,9/22,4	10,9/11,7/12,2	1,3/1,4/1,6	24/27/30

Работа поддержана грантом Президента РФ (МК-489.2020.5).

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Chernokulsky A.V., Bulygina O.N., Mokhov I.I. Recent variations of cloudiness over Russia from surface daytime observations // *Environ. Research Letters* – 2011 – V. 6, № 3. – P. 035202.
2. Вельтищев Н.Ф., Степаненко В.М. Мезометеорологические процессы. – М.: МГУ, 2006. – 101 с.

3. Асмус В.В., Кропотынцева В.А., Милехин О.Е., Соловьев В.И., Успенский А.Б. Использование спутниковых данных ДЗЗ для решения задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды // *Вопросы электромеханики. Труды ВНИЭМ.* – 2008. – Т. 105. – С. 6–16.
4. Maddox R.A. Mesoscale convective complexes // *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 1980. – V. 61. – P. 1374–1387.
5. Velasco, I. and J. M. Fritch: Mesoscale convective complexes in the Americas // *J. Geoph. Res.* – 1987. – V. 93, No. D8, – P. 9561–9613.
6. Кошикова Т.С., Жукова В.А., Кузевская И.В. Оценка параметров мезомасштабных конвективных комплексов на основе спутниковых и аэрологических данных // *Геосферные исследования.* – 2019. – №2. – С.86–97.
7. EOSDIS Worldview [Электронный ресурс]. – URL: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (дата обращения: 25.04.2020).
8. LAADS Web [Электронный ресурс]. – URL: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/> (дата обращения: 20.04.2020).
9. Qu J.J. *Earth Science Satellite Remote Sensing. V. 1: Science and Instruments* / J.J. Qu, et al. – Beijing: Tsinghua University Press and Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg, 2006. – 418 p.
10. Гидрометцентр России. Синоптические карты [Электронный ресурс]. – URL: <https://meteo-info.ru/mapsynop> (дата обращения: 20.05.2020).

## Special aspects of snow cover formation in Siberia

Martynova Yu.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

E-mail: [FoxyJ13@gmail.com](mailto:FoxyJ13@gmail.com)

Recently, there are a number of studies on the behavior of snow cover (SC). In some, the attention of researchers is concentrated on the territory of Eurasia as a whole. For example, it has been shown that in general for Eurasia, the duration of the cold season and duration of the period with a stable SC decrease [1, 2]. Other studies, considering individual regions, rely on datasets previously selected as the best, but for a large territory [3–5]. There are also works devoted to the comparison of various datasets of SC [6, 7]. However, such comparisons were carried out for rather large territories.

In this study, the attention is focused on the period of SC formation in Western and Eastern Siberia. The interannual variation of the SC formation characteristics was estimated for these regions.

The SC data was taken from the NOAA satellite data archive on the snow cover of the globe for the period 1979–2019 (Rutgers University, Global Snow Lab, <https://climate.rutgers.edu/snowcover/>) with a weekly time resolution. The analysis of the behavior of the SC area was carried out for part of the territory of Western Siberia (WS), namely 70E–90E 50N–70N, as well as for the entire WS territory, 60E–90E 50N–70N, and for Western and Eastern Siberia (WES) together, 60E–120E 50N–70N.

The territory of Siberia (WS, ES, WES), by the definition of many scientists, is a “hot spot”, that is, this territory is very responsive to ongoing climate changes and vice versa, small changes (disturbances) in this territory can cause relatively large climatic changes here and in the surrounding areas. The geographic location of the WS (and WES) determines its sharply continental climate. A significant distance from the oceans with pronounced temperature currents determines the stability of seasonal climatic conditions with minimal variability (in comparison with land areas bordering on different ocean currents). Thus, in studies of climate and its changes, the territory of the WS (WES) can be considered as a kind of indicator of the state and climate change.

The interannual variation of the duration of the SC formation period, start and end dates were considered. Also, weeks with the most intensive growth of the SC area were identified. Comparison of three Siberian regions showed both similarities and significant differences in interannual behavior of the considered parameters.