

УДК 004.67

В.А. Петрухина<sup>1</sup>, Н.И. Абасова<sup>1</sup>, В.М. Бердников<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения

## ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ГЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ОЦЕНОК СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ

**Аннотация.** Проблема предсказания климатических изменений, их влияние на человека является достаточно важной и актуальной в последнее время. В течении долгого времени разрабатывались механизмы и методики предсказания поведения климата в различных районах и областях нашей планеты. Из-за изменения климата, агрессивного воздействия человека на природу и других различных факторов методики, разработанные в середине XX века, становятся малоэффективными, а производить расчет с использованием нескольких методик трудоемко, но реализуемо. В статье рассмотрена технология обработки геоклиматических данных, с помощью которых производится формирование пространственно-распределенных прогностических оценок состояния атмосферы.

**Ключевые слова:** геоклиматические данные, оценки состояний, прогноз, нейронные сети, мониторинг

V. A. Petrukhina<sup>1</sup>, N. I. Abasova<sup>1</sup>, V.M.Berdnikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State Transport University

## GEOCLIMATIC DATA PROCESSING TECHNOLOGY FOR THE FORMATION OF SPATIALLY DISTRIBUTED PREDICTIVE ESTIMATES OF THE STATE OF THE ATMOSPHERE

**Abstract.** The problem of predicting climate change and its impact on humans is quite important and relevant in recent times. For a long time, mechanisms and methods for predicting the behavior of the climate in various regions and regions of our planet have been developed. Due to climate change, aggressive human impact on nature, and other various factors, the methods developed in the mid-twentieth century are becoming ineffective, and it is time-consuming but feasible to calculate using several methods. The article considers the technology of processing geoclimatic data, which is used to form spatially distributed predictive estimates of the state of the atmosphere.

**Keywords:** geoclimatic base, state estimates, forecasting task, neural network predictor, data monitoring

### Введение

Задача прогнозирования является одной из сложных задач применения данных. При этом ее актуальность не теряется, так как построение прогноза направлено на заблаговременное решение сложных проблем, которые могут возникнуть в любой сфере деятельности. В сфере гидроэнергетики и водохозяйства прогнозирование играет важную роль: в первую очередь, определение объемов притоков воды в водохранилища Ангарского каскада ГЭС, непосредственно влияющих на выработку электроэнергии.

Для формирования долгосрочных прогностических оценок притоков разработана специальная методика формирования климатических карт по исследуемым бассейнам водосбора, решающая следующие задачи:

1. Анализ распределения метео-показателей по бассейнам водосбора, континенту и мира в целом для различных периодов сезона и лет;
2. Обработка прогностических ансамблей данных, формируемых глобальными климатическими моделями CFS-2.

## Мониторинг и анализ геоклиматических данных

Для мониторинга, накопления и обработки результатов моделирования в ИСЭМ СО РАН разработаны специальные компоненты в системе ГеоГИПСАР, на основе которых имеется возможность оперативно формировать долгосрочные оценки по осадкам, температурам, давлению, геопотенциалу на территории бассейнов озера Байкал, Ангары и Енисея с их периодическим уточнением (через неделю, декаду, месяц, квартал).

На основе обработки прогностических ансамблей метеорологических показателей в рассматриваемом регионе формируются оценки притоков в водохранилища каскада в виде диапазонов вероятностных распределений. Итоговые прогностические сценарии определяются автоматизированной процедурой, включающей компоненты поиска годов-аналогов, отсечения маловероятных событий, обработки регрессионных зависимостей связей метеорологических показателей с расходами рек и уточнения их границ на основе экспертных оценок, формируемых другими моделями.

Для формирования геоклиматических карт при анализе данных разработан комплекс программ по интернет-мониторингу и анализу данных на языке LuaIsem с использованием графической системы Gnuplot:

1. Чтение файлов из интернет \*.nc;
2. Обновление местной базы Gi3 по новым файлам из NC2;
3. Оперативное формирование карт с аномалиями давления и температур.

### Формирование прогностических карт на основе глобальной модели CFS-2

CFS-2 (Climate Forecast System) – система, разработанная в Центре моделирования окружающей среды EMC (Environmental Modeling Center), который входит в международную организацию NCEP (National Centers for Environmental Prediction). На ее основе ежедневно уточняются прогностические ансамбли состояния атмосферы и океана с временным интервалом от нескольких часов до 9 месяцев для всего земного шара. Используемый в модели ансамблевый подход позволяет формировать вероятностные оценки состояния атмосферы на длительную перспективу. Это полностью связанная модель, представляющая взаимодействие между атмосферой Земли, океанами, сушей и морским льдом. Данная модель функционирует в NCEP с марта 2011 года и предоставляет прогностические данные по всему земному шару для общего пользования.

В таблице 1 указаны наиболее используемые параметры для прогнозирования геоклиматических данных с указанием слоев атмосферы для изобарических поверхностей (1000, 850, 500 ГПа).

Таблица 1. Параметры системы CFSv2

| Обозначение параметра | Название параметра                                       | Ед. измерения            | Уровень/слой   |
|-----------------------|--|--------------------------|----------------|
| chi200                | Потенциал скорости                                       | При 200 ГПа              | на поверхности |
| chi850                | Потенциал скорости                                       | При 850 ГПа              | на поверхности |
| sprat                 | Конвективная скорость осаджения                          | [кг / м <sup>2</sup> /с] | на поверхности |
| csdlf                 | Нисходящий длинноволновой солнечный поток при ясном небе | [Вт / м <sup>2</sup> ]   | на поверхности |
| csdsf                 | Нисходящий солнечный поток                               | [Вт / м <sup>2</sup> ]   | на поверхности |

|        |  |                          |  |
|--------|--|--------------------------|--|
|        | при ясном небе   |                          |  |
| dlwsfc | Нисходящий длинноволновой рад. поток                   | [Вт / м <sup>2</sup> ]   | На поверхности                             |
| dswsfc | Нисходящий коротковолновой рад. поток                  | [Вт / м <sup>2</sup> ]   | На поверхности                             |
| gflux  | Тепловой поток грунта                                  | [Вт / м <sup>2</sup> ]   | на поверхности                             |
| icecon | Ледяной покров   | [Пропорция]              | На поверхности                             |
| icethk | Толщина льда   | [м]                      | На поверхности                             |
| Lhtfl  | Скрытый тепловой чистый поток (результатирующий поток) | [Вт / м <sup>2</sup> ]   | На поверхности                             |
| Nddsf  | Ближний ИК-диффузный нисходящий солнечный поток        | [Вт/м <sup>2</sup> ]     | На поверхности                             |
| Prate  | Скорость выпадения осадков                             | [кг / м <sup>2</sup> /с] | На поверхности                             |
| Pwat   | Осадочная вода   | [кг / м <sup>2</sup> ]   | Вся атмосфера (рассматривается как 1 слой) |
| Q2m    | Удельная влажность                                     | [кг/кг]                  | 2 м над землей                             |
| Shtfl  | Чувствительный тепловой чистый поток                   | [Вт / м <sup>2</sup> ]   | На поверхности                             |
| Snohf  | Тепловой поток фазового перехода снега                 | [Вт / м <sup>2</sup> ]   | На поверхности                             |
| Soilm1 | Влажность почвы  | [кг / м <sup>2</sup> ]   | 0-2 с под землей                           |
| Soilm2 | Влажность почвы  | [кг / м <sup>2</sup> ]   | на поверхности                             |
| Soilm3 | Влажность почвы  | [кг / м <sup>2</sup> ]   | на поверхности                             |
| Soilm4 | Влажность почвы  | [кг / м <sup>2</sup> ]   | на поверхности                             |
| Tmax   | Максимальная температура                               | [К]                      | 2 м над землей                             |
| Tmin   | Минимальная температура                                | [К]                      | 2 м над землей                             |
| Ulwsfc | Восходящий длинноволновый рад. поток                   | [Вт / м <sup>2</sup> ]   | На поверхности                             |
| Ulwtoa | Восходящий длинноволновый рад. поток                   | [Вт / м <sup>2</sup> ]   | В верхних слоях атмосферы                  |
| Uswsfc | Восходящий коротковолновый рад. поток                  | [Вт / м <sup>2</sup> ]   | На поверхности                             |
| Uswtoa | Восходящий коротковолновый рад. поток                  | [Вт / м <sup>2</sup> ]   | В верхних слоях атмосферы                  |
| Vddsf  | Видимый диффузный нисходящий солнечный поток           | [Вт / м <sup>2</sup> ]   | На поверхности                             |
| Weasd  | Водный эквивалент накопленной глубины снега            | [кг / м <sup>2</sup> ]   | На поверхности                             |

Составление прогнозов происходит по выбранному участку местности. Для точного прогноза используется множество факторов, влияющих на результат прогнозирования. Для формирования, например, погодных данных используется климатическая база с указанием в ней года, месяца, температурных данных, данных влажности, давления и пр.

Для эффективности обработки множества прогностических ансамблей в системе ГеоГИПСАР разработан специализированный формат CFS по агрегированным за сутки значениям различных показателей. Наиболее важными для оценки водности параметрами являются интенсивность осадков, температура воздуха, давление, геопотенциал.

Для формирования прогностических распределений выбранного параметра для конкретного региона используются абсолютные и относительные показатели в виде

$$P(k, t) = \{ \bar{p}_{ij}, i = 1, \dots, N_x, j = 1, \dots, N_y \} :$$

$$\bar{P}_{ij}(k) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \bar{p}_{ij}(k, t) \text{ – для абсолютных величин,}$$

$$\bar{P}_{ij}(k) = \frac{\sum_{k=1}^K c_k p_{ij}(k)}{\sum_{k=1}^K c_k} \quad 0 \leq c_k \leq 1 \quad \text{– для относительных величин,}$$

Где:  $p_{ij}$  – геоклиматический параметр,  $t$  – показатель времени,  $N_x$  – координата широты,  $N_y$  – координата долготы.

Сбор фактических глобальных показателей позволяет увидеть динамику изменения природообусловленных факторов в глобальном масштабе, что содействует созданию точной статистики данных по показателям, распределенных по сетке земного шара (по высоте, скорости и т.д.). Сбор точечных показателей направлен на отбор данных в кругу определенных координат, которые необходимо задать пользователю.

На основе обработки прогностических ансамблей метеорологических показателей в рассматриваемом регионе формируются оценки притоков в водохранилища каскада в виде диапазонов вероятностных распределений. Итоговые прогностические сценарии определяются автоматизированной процедурой, включающей компоненты поиска годов-аналогов, отсекающие маловероятных событий, обработки регрессионных зависимостей связей метеорологических показателей с расходами рек и уточнения их границ на основе экспертных оценок, формируемых другими моделями.

### **Описание программы формирования прогностических распределений на основе глобальной модели**

Формирование прогностических карт – это один из важнейших этапов, направленных на оценку водности. Данный этап выполняется с помощью автоматизированных программ, включающих прогнозирование параметров. На рис. 1 изображен процесс работы программ для формирования геоклиматических карт. На вход программа получает следующие данные:

- а) файлы CFS, сформированные из файлов формата NC, полученных с помощью интернет-мониторинга данных системы CFSv2;
- б) прогностический показатель, для которого необходимо построение геоклиматических карт;
- в) входные даты, для которых необходимо получить прогноз по определенным показателям;
- г) количество ансамблей, по которым происходит отбор актуальных данных, на основании которых в дальнейшем производится прогноз;

д) координаты области прогнозирования, с помощью которых обеспечивается наглядное представление выходных данных.

При формировании выходных данных программа руководствуется параметрами интерполяции данных, методами формирования прогнозов и методикой отборов прогностических ансамблей. Компоненты формирования прогностических карт работают на сформированных Lua-скриптах, а также на системе ГеоГИПСАР.

На выходе программа выдает актуальные прогностические карты абсолютных и относительных показателей различных геоклиматических параметров, графики динамики изменения показателей, а также графики вероятностного распределения.



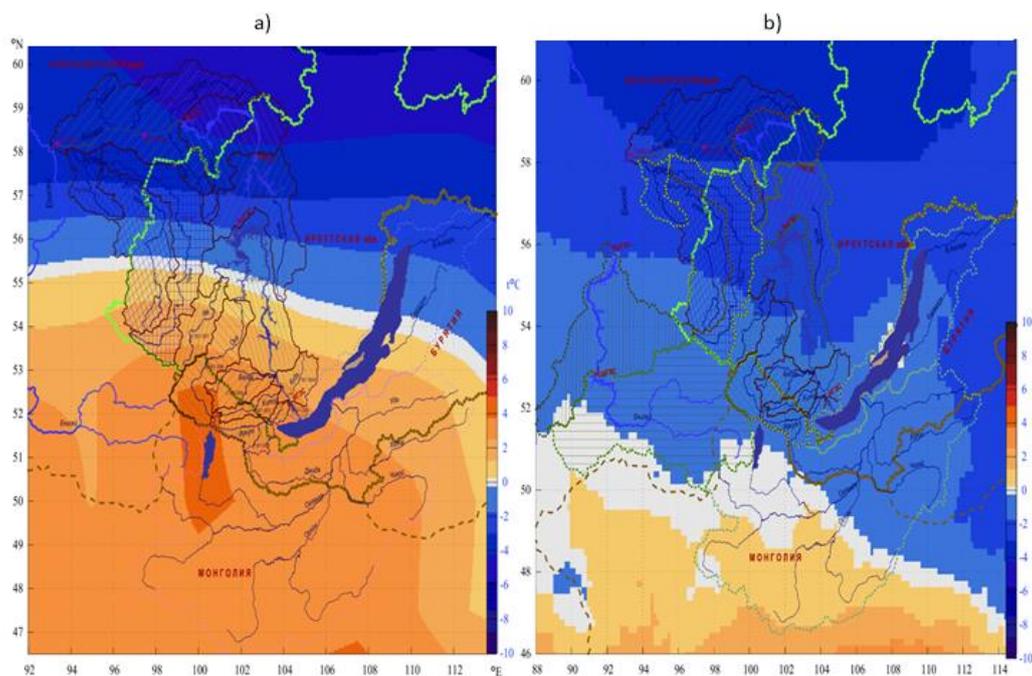
**Рис. 1. Схема работы программы формирования геоклиматических карт**

### Примеры применения

На рисунке 2 можно увидеть, насколько точно формируется прогностическая карта Прогнозный показатель представлен как наиболее успешный результат работы скрипта для построения прогностических карт. Для сравнения даны а) аналитическая карта, построенная по фактическим данным и б) прогностическая карта, построенная на основе глобальной климатической системы, – за январь (01-31).01.2021 г. Для точности исследования входные даты брались одинаково относительно месяца прогнозирования.

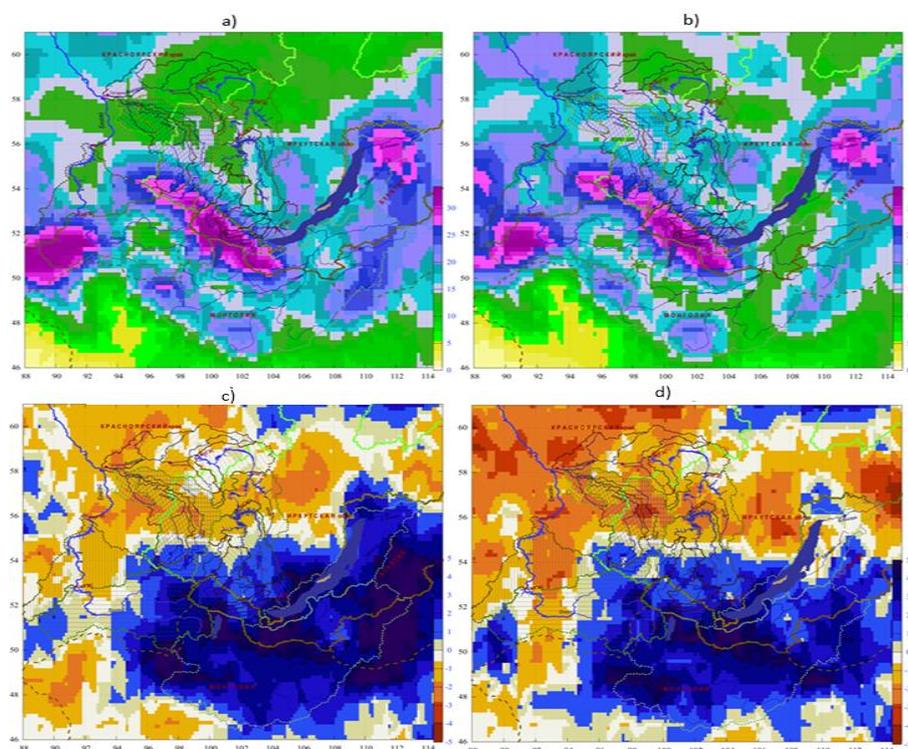
Дата начального прогнозного ансамбля была взята 01.12.2020. Для выбора средних показателей была выбрана дата 15.12.2020. Количество ансамблей было выбрано 90, а для вычисления среднего значения – 30.

В верхней части (88,52;113,61) прогностическая карта отличается от фактической в среднем на 2-3<sup>0</sup>С. В нижней части (88,46;113,52) наблюдаются отклонения в 2-3<sup>0</sup>С. Но даже при таких отклонениях температурную тенденцию можно увидеть с достаточной точностью.



**Рисунок 2. Сравнение фактических и прогнозных данных**

На текущий момент одним из наиболее важных для прогнозирования периодов является июль 2021 г, результаты прогноза которого можно было увидеть уже в марте 2021 г. На рисунке 3 представлен прогноз показателя интенсивности осадков на период (01-30).07.2021 г. Можно увидеть, что при изменении количества ансамблей идет изменение прогноза. Наибольшее влияние ансамбли оказывают на относительный показатель при прогнозе. При этом аналитический показатель остается практически неизменным.



**Рисунок 3. Геоклиматическая карта режима осадков для июля 2021 г.: абсолютного показателя интенсивности осадков по 15 ансамблям от 08.03.2021(а), по 10 ансамблей от 05.03.2021 г.(б); для относительных показателей по 15 ансамблям от 21.03.2021 (с), 10 ансамблей от 26.03.2021 г. (d).**

## **Заключение**

Специализированные компоненты в ИСЭМ СО РАН наиболее эффективно используются для прогнозирования геоклиматических данных, оценки водности в бассейнах водохранилищ ГЭС, определения прогностических сценариев притоков воды в водохранилища ГЭС.

Планируется введение новых важных параметров в систему для наиболее точного прогнозирования. Увеличение количества параметров в системе не всегда может дать положительный результат. Необходим отбор данных, коррелирующих с прогнозируемым параметром. Так для оценки водности наиболее подходящими для введения в систему параметрами могут быть ледяной покров, осадочная вода, влажность почвы.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Абасов Н.В., Бережных Т.В., Никитин В.М., Осипчук Е.Н. Методика формирования долгосрочных прогностических сценариев водности и температурных режимов // Сборник докладов междунар. конф. «Энергетика 21 века: Устойчивое развитие и интеллектуальное управление» (7-11 сентября 2020 г.), Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2020. С. 100-101.

2. Абасов Н.В., Бережных Т.В., Резников А.П. Долгосрочное прогнозирование природообусловленных факторов в энергетике /Системные исследования проблем энергетики. - Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 2000, -С.415-429.

3. Абасов Н.В., Ветрова В.В., Технология обработки геоклиматических данных // Труды XII Байкальской Всероссийской конф. «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Часть II. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2007. С. 85-91.

4. Абасов Н.В. О развитии прогностической системы ГИПСАР на основе Lua-компонентов // Тр. XVI Байкальской Всерос. конф. «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Т.3. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2011. С. 212-217.

5. Абасов Н.В., Бережных Т.В., Ветрова В.В. Долгосрочное прогнозирование гидроэнергетического потенциала каскада ГЭС в условиях изменения климата // Известия РАН, Энергетика, 2012, №1, С. 49-57.

6. Roberto Ierusalimschy, RI., 2016. Programming in Lua forth edition. Lua.org, pp: 310.

7. Roberto Ierusalimschy, RI., 2013. Programming in Lua Third Edition. Rio de Janeiro: Lua.org, pp: 366.

8. Suranjana Saha, Shrinivas Moorthi, Hua-Lu Pan, Xingren Wu, Jiande Wang, Sudhir Nadiga, Patrick Tripp, Robert Kistler, John Woollen, David Behringer, Haixia Liu, Diane Stokes, Robert Grumbine, George Gayno, Jun Wang, Yu-Tai Hou, SS.SL., 2020. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. Amer. Meteor. Soc., pp: 44.

## **REFERENCES**

1. Abasov N. In., Bereznyj T. V., Nikitin V. M., Osipchuk E. N. Methods of forming long-term prognostic scenarios of water availability and temperature regimes // Collection of reports of the international. Conf. "The energy of the 21st century: Sustainable development and smart management" (7-11 September 2020), Irkutsk: ISEM SB RAS, 2020. P. 100-101.

2. Abasov N. In., Bereznyj T. V., Reznikov A. P. Long-term forecasting prirodookhrannykh factors in energy System research energy issues. - Novosibirsk: Nauka. Sib. izd. firm RAS, 2000, - p. 415-429.

3. Abasov N. V., Vetrova V. V., Technology of processing geoclimatic data // Proceedings of the XII Baikal All-Russian Conference "Information and mathematical technologies in science and management". Part II. – Irkutsk: ISEM so ran, 2007. S. 85-91.

4. Abasov N. In. On the development of a predictive system GIPSER based on Lua-components // Tr. XVI all-Russian Baikal. Conf. "Information and mathematical technologies in science and management." Vol. 3. – Irkutsk: ISEM so ran, 2011. P. 212-217.

5. Abbasov N. V., Berezhnykh T. V., Vetrova V. V. Long-term forecasting of hydroelectric power potential of the HPP cascade in the conditions of climate change // Izvestiya RAS, Energetika, 2012, No. 1, pp. 49-57.

6. Roberto Ierusalimschy, RI., 2016. Programming in Lua forth edition. Lua.org, pp: 310.

7. Roberto Ierusalimschy, RI., 2013. Programming in Lua Third Edition. Rio de Janeiro: Lua.org, pp: 366.

8. Suranjana Saha, Shrinivas Moorthi, Hua-Lu Pan, Xingren Wu, Jiande Wang, Sudhir Nadiga, Patrick Tripp, Robert Kistler, John Woollen, David Behringer, Haixia Liu, Diane Stokes, Robert Grumbine, George Gayno, Jun Wang, Yu-Tai Hou, SS.SL., 2020. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. Amer. Meteor. Soc., pp: 44.

### **Информация об авторах**

*Петрухина Валерия Александровна* – студентка магистратуры, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [lera.petruhina@mail.ru](mailto:lera.petruhina@mail.ru)

*Абасова Наталья Иннокентьевна* – доцент кафедры «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [ani24n@mail.ru](mailto:ani24n@mail.ru)

*Бердников Владислав Максимович* – студент-магистрант, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [berdvm98@gmail.com](mailto:berdvm98@gmail.com)

### **Authors**

*Valeriya Aleksandrovna Petruhina* - student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [lera.petruhina@mail.ru](mailto:lera.petruhina@mail.ru)

*Natalia Innokentyevna Abasova* - Associate Professor of the Department "Information Systems and Information Protection", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [ani24n@mail.ru](mailto:ani24n@mail.ru)

*Vladislav Maksimovich Berdnikov* - student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [berdvm98@gmail.com](mailto:berdvm98@gmail.com)

### **Для цитирования**

Петрухина В.А. Технология обработки геоклиматических данных для формирования пространственно-распределенных прогностических оценок состояния атмосферы [Электронный ресурс]/ В.А. Петрухина, Н. И. Абасова, В.М. Бердников // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2021. – №2(12) – Режим доступа:

<http://mnv.ircgups.ru/toma/212-2021>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 23.06.2021)

#### **For citation**

Petruhina V.A., Abasova N. I., Berdnikov V.M. *Tehnologiya obrabotki geoklimaticheskoyh dannyh dlya formirovaniya prostranstvenno-raspredeleennykh prognosticheskikh otsenok sostoyaniya atmosfery* [Geoclimatic data processing technology for the formation of spatially distributed predictive estimates of the state of the atmosphere]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2021, no. 2. [Accessed 23/06/21]