

*М. С. Васильев*Институт космифизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ
КАРТ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА, НАЗЕМНОГО
И СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА В ARCVIEW GIS**

Аннотация. В работе приводятся результаты научных работ автора (2004-2017 гг.), в которых применены возможности визуализации и анализа пространственно-временных карт по данным реанализа, наземного и спутникового мониторинга в ArcView GIS. В отличие от наземного и спутникового мониторинга, данные реанализа – это модельные глобальные поля метеорологических величин с использованием полных комплектов (доступных к моменту расчетов данных наблюдений) с различных платформ с использованием примитивных уравнений, метода интерполяции и ассимиляции. С момента появления общедоступных архивных данных (~ вторая половина 2000-х гг.) дистанционного зондирования и климатических моделей появилась возможность использовать широкий спектр анализируемых параметров с применением программ статистического анализа данных и геоинформационных систем (ГИС), т.е. таких компьютерных систем, которые позволяют эффективно работать с пространственно-распределенной информацией.

Наблюдаемые изменения глобального характера (рост приземной температуры воздуха), трансграничный перенос загрязняющих веществ и т.п. могут оказать существенное влияние, например на экологическую обстановку в арктических районах северного полушария. На обширной территории Якутии (3,1 млн. кв. км) при отсутствии достаточного количества и плотности расположения метеорологических станций, использование оперативных данных дистанционного зондирования и ГИС является наиболее актуальным в настоящее время. Безусловно, актуально так же создание единого центра гелиогеофизического мониторинга на территории Якутии, т.к. космическая погода (солнечно-земные связи) во многом ярко проявляется в арктическом и субарктическом поясе.

Автором работы создано программное обеспечение «Cloud Map Processing Script (CMPAS), CONVERT, MATRIX, AVERAGE», которое позволяет визуализировать данные дистанционного зондирования с пространственным разрешением 1 x 1 градус в ArcView GIS 3.2a.

Ключевые слова: геоинформационные системы, дистанционное зондирование, реанализ, лесные пожары, облачность, аэрозоль, влагосодержание, AERONET, ArcView, Якутия.

*М. S. Vasiliev*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy, SB RAS,
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia**Visualization and analysis of spatial-time cards according to reanalyze data,
ground-term and satellite monitoring in Arcview GIS**

Abstract. The paper presents the results of the author's scientific works (2004–2017), which describe the possibilities of visualizing and analyzing space-time maps from reanalysis, ground-based and satellite monitoring in ArcView GIS. Unlike ground and satellite monitoring, the reanalysis data are model global fields of meteorological quantities using full sets (available at the time of calculating observational data) from various

ВАСИЛЬЕВ Михаил Семенович – м.н.с. Института космифизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН – обособленного подразделения ФГБУН ФИЦ ЯНЦ СО РАН; ст. преп., СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: m.s.vasiliev@ikfia.ysn.ru

VASILIEV Mikhail Semenovich – Junior Researcher, Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy, SB RAS, Federal Research Centre “YSC SB RAS”; Senior Lecturer, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.

E-mail: m.s.vasiliev@ikfia.ysn.ru

platforms using primitive equations, interpolation and assimilation method. Since the advent of publicly available archival data (~ second half of 2000s) of remote sensing and climate models, it has become possible to use a wide range of analyzed parameters using statistical data analysis programs and geoinformation systems, i.e. such computer systems that allow you to work effectively with spatially distributed information.

Observable changes of a global nature (increase in surface air temperature), transboundary transport of pollutants, etc. can have a significant impact, for example, on the environmental situation in the arctic regions of the northern hemisphere. In the vast territory of Yakutia (3.1 million sq. km.), in the absence of a sufficient number and density of meteorological stations, the use of operational remote sensing data and geographic information systems is the most relevant at present. Of course, it is also important to create a single center for heliogeophysical monitoring in the territory of Yakutia, since space weather (solar-terrestrial relations) is largely manifested in the arctic and subarctic belt.

The author has created the software «Cloud Map Processing Script (CMPAS), CONVERT, MATRIX, AVERAGE», which allows visualization of remote sensing data with a spatial resolution of 1 x 1 degree in ArcView GIS 3.2a.

Keywords: geographic information systems, remote sensing, reanalysis, forest fires, cloudiness, aerosol, moisture content, AERONET, ArcView, Yakutia.

Введение

Известно, что географические информационные системы появились в 60-х годах XX столетия как средство отображения в памяти компьютерных объектов, расположенных на поверхности Земли (первые ГИС были разработаны ведомствами СССР и США). В 1970-х годах ГИС начали использовать в мирных целях: для печати и редактирования карт на бумаге, а так же вывода координатно-привязанных данных на экран монитора. В России ГИС широкое распространение получили в конце 1980-х – начале 1990-х гг. В настоящее время ГИС индустрия с большим потенциалом отрасли активно эволюционирует, развивается и изменяется. С успехом ГИС применяется во многих областях народного хозяйства, а геоинформационные технологии широко используются в кадастре природных ресурсов, земельном кадастре, экологии, в сфере работы с недвижимостью и т.д. Наиболее прост и гибок процесс создания карт в ГИС, чем в традиционных методах ручного и автоматического картографирования. Материалом для анализа и моделирования геопространства в ГИС являются бумажные карты, данные дистанционного зондирования, аэрологические и космические снимки, съемка на местности и т.п.

ГИС-технологии позволяют объединять традиционные операции при работе с базами данных (например, запрос и статистический анализ), что преимущественно при полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа. В целом возможность визуализации и пространственного анализа карт в ГИС дают этой системе преимущество для ее применения в широком спектре задач. Задачи эти связаны не только с анализом и прогнозом явлений и событий окружающего мира, но и выделением причинно-следственных связей, а также их возможных последствий.

В настоящей работе представлены результаты научных работ автора, в которых использована визуализация и пространственно-временной анализ карт метеорологических величин в ArcView Gis 3.2a, полученных по данным реанализа, наземного и спутникового мониторинга.

Результаты применения ArcView GIS в научных целях

Автором данной работы во второй половине 2000-х годов была создана программа на языке программирования СИ++ «Cloud Map Processing Script (CMPAS), CONVERT, MATRIX, AVERAGE» и в 2012 г. в соавторстве им получено свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ (Роспатент) [1]. Данная программа позволяет структурировать данные дистанционного зондирования Земли с пространственным разрешением 1 x 1 градус, полученных с различных платформ и в дальнейшем преобразовывать их в формат dbf для загрузки и чтения в ArcView GIS 3.2a. Во многих научных исследованиях автором для визуализации, пространственно-временного анализа и выявления причинно-следственных связей природных систем, разработанная программа и ArcView широко используются.

В работе [2] проведено исследование влияния солнечно-земных связей на облачный покров в северо-восточной части Евразийского материка по данным дистанционного зондирования.

На рис. 1 показано, что прослеживается высокая плотность облаков над горными массивами, наблюдается минимальная облачность над Монголией и северным Китаем. Следует отметить понижение облачности в Центральной Якутии (в междуречье рек Вилюя и Алдана) с низкими значениями вокруг г. Якутска в минимуме солнечной активности (СА). В максимуме СА наблюдается рост облачного покрова, что может быть обусловлено изменением траекторий циклонов и антициклонов. В зависимости от экстремумов СА можно наблюдать и анализировать широтное смещение облачного покрова.

Природные явления, например, извержение вулкана, лесные пожары, песчаные бури и т.п., генерируют атмосферный аэрозоль, интенсивно рассеивающий и поглощающий солнечное излучение, и приводят к характерной изменчивости прозрачности атмосферы для каждого региона и периода времени по-разному. Результаты сетевых актинометрических наблюдений за период 1956-1970 гг. [3] позволили охарактеризовать режим прозрачности атмосферы для различных регионов на территории СССР и выявить тенденции в изменении прозрачности атмосферы, а также роль различных факторов ослабления прямой солнечной радиации. Однако, в силу недостаточной исследованности прозрачности атмосферы в местах отсутствия (малого количества или плотности расположения) актинометрических станций и солнечных фотометров, определяющих такой параметр атмосферы как аэрозольную оптическую толщину (АОТ), регулярное наблюдение за изменением состояния атмосферы является сложной и актуальной задачей.

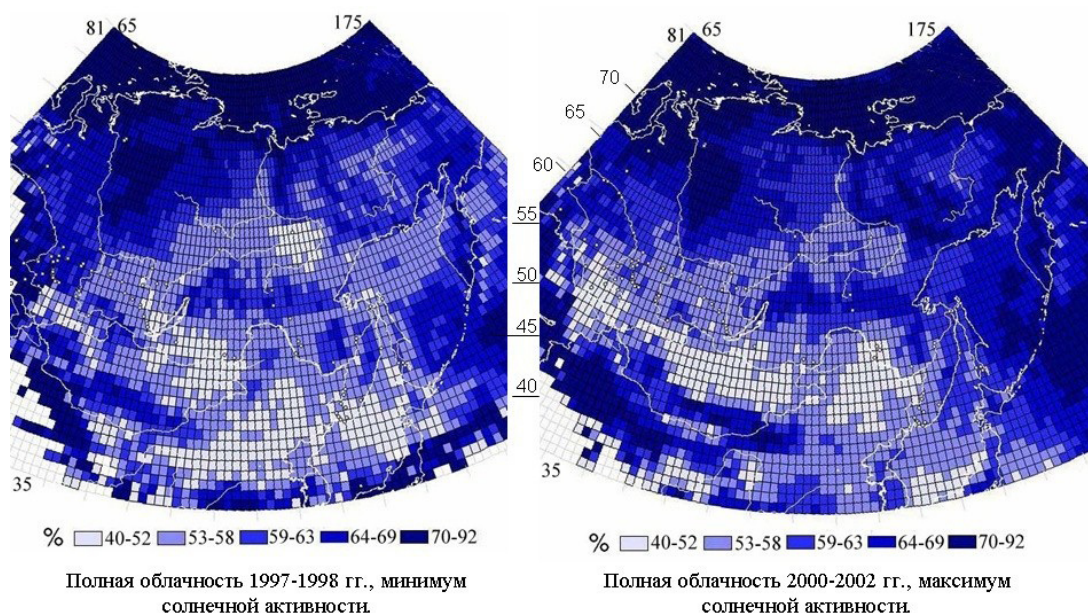


Рис. 1. Карты полной облачности над северо-восточной частью Евразийского материка по данным AVHRR/NOAA.

В работе [4] по данным наземных наблюдений АОТ за период 2004-2014 гг. проведена классификация (типизация) прозрачности атмосферы над центральной частью Якутии, а годовой ход среднемесячных значений АОТ сопоставлен с данными спутникового мониторинга (рис. 2). Установлено, что дни со значениями АОТ, относящимися к III классу прозрачности атмосферы («грязная» атмосфера), составляли в среднем 25-30 % общего числа дней измерения АОТ. Анализ годового хода среднемесячных значений АОТ по данным наземного и спутникового мониторинга указывает на согласованность между этими данными. Данные находятся в пределах максимальной погрешности измерения полученных с помощью солнечного фотометра (порядка $\pm 0,02$). С этой точки зрения, на обширной территории Якутии при отсутствии данных АОТ полученных на основе солнечных фотометров сети АЭРОНЕТ (AErosol RObotic NETwork, <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>), применение спутникового мониторинга можно считать целесообразным. Однако стоит отметить, что использование данных MODIS (Terra, Aqua) над

рассматриваемым регионом обосновано лишь в бесснежный период, так как над снежной поверхностью отмечаются наибольшие погрешности в определении АОТ.

Для примера на рис. 3 представлена карта распределения АОТ над территорией Якутии и очагов горения лесного массива в августе 2013 г. по данным спектро радиометра MODIS. Как видно, в западной и юго-западной части Якутии наблюдаются наибольшие значения АОТ ($>0,7$). Увеличение АОТ может быть связано с наличием дымового аэрозоля, так как спутниковый мониторинг в то же время детектировал очаги горения лесного массива.

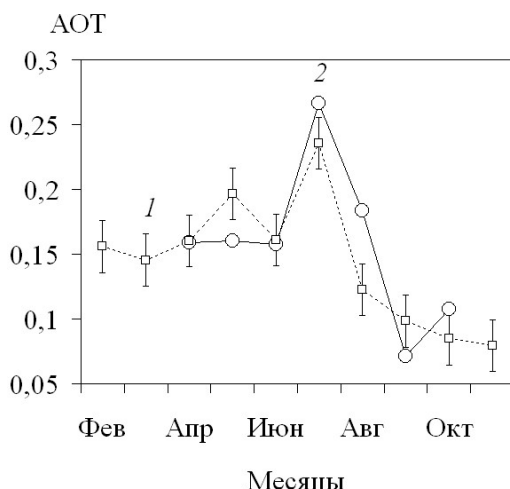


Рис. 2. Годовой ход среднемесячных значений АОТ за период 2004-2014 гг. над центральной частью Якутии по данным наземного (1, данные CIMEL CE-318) и спутникового мониторинга (2, данные MODIS/Terra, Aqua).

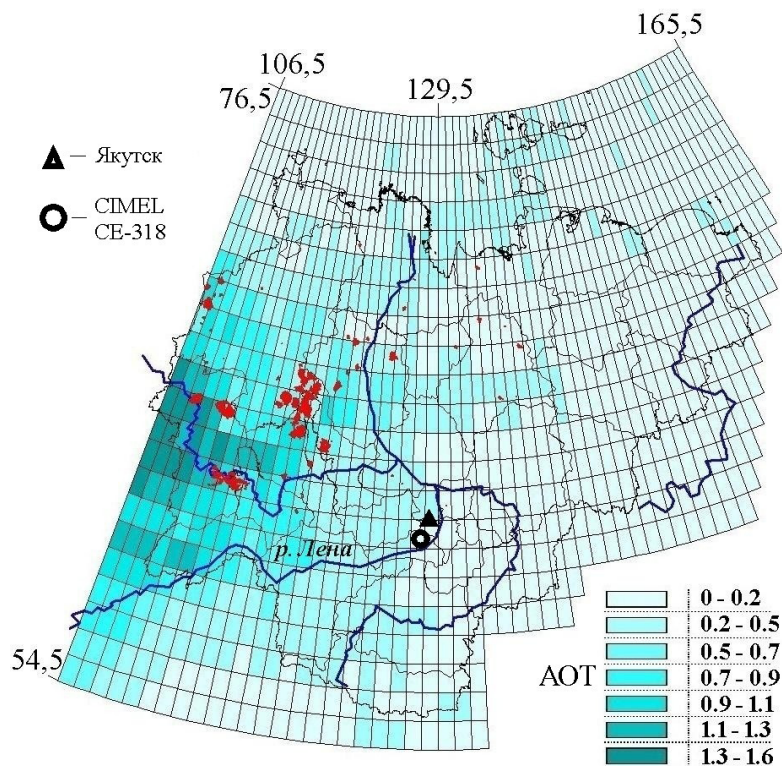


Рис. 3. Карта распределения АОТ над территорией Якутии с широтно-долготным разрешением 1° и очагов горения лесного массива (точки красного цвета) в августе 2013 г. по данным MODIS (Terra, Aqua).

На рис. 4 представлен годовой ход максимальных значений АОТ (III класс) по данным солнечного фотометра и очагов горения лесного массива в Якутии за период 2004-2017 гг. Видно (рис. 4), что наблюдается хорошая корреляционная связь $R=0,6$ при критических значениях $r_{\text{крит.}}=0,48$ с уровнем достоверности $P=99\%$. При этом значение коэффициента детерминации указывает на зависимость максимальных значений АОТ (III класс) от очагов горения лесного массива (дымового аэрозоля) в пределах 40 %. Данная зависимость может быть выше. Например, 19.04.2009 г. при наличии максимального значения АОТ=0,526 на территории Якутии не наблюдались очаги горения лесного массива. За период 16-19 апреля 2009 г. лесопожарная активность наблюдалась в соседних регионах (рис. 5). Видно (рис. 5), что траектории распространения воздушных масс смога (дымы от очага горения за 17 апреля) на высоте 1 км по данным модели HYSPLIT (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>) непосредственно охватили месторасположение солнечного фотометра.

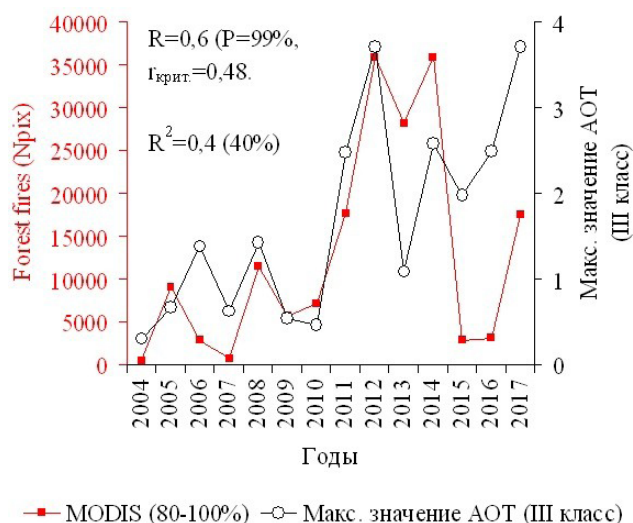


Рис. 4. Годовой ход максимальных значений АОТ (III класс – «грязная» атмосфера) и очагов горения лесного массива (данные спектро радиометра MODIS с уровнем достоверности 80-100 %) в Якутии за период 2004-2017 гг.

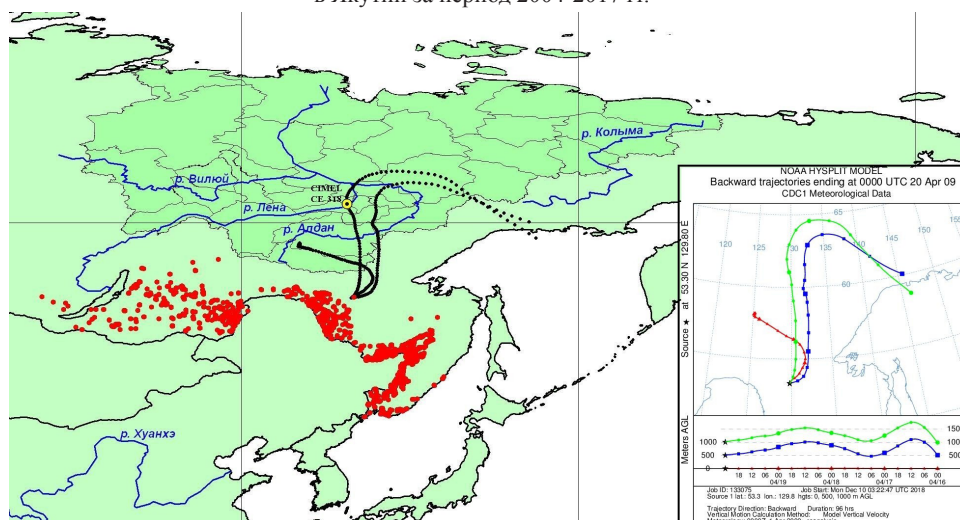


Рис. 5. Карта лесных пожаров (MODIS/Terra, Aqua – точки красного цвета) на территории России за период 16-19 апреля 2009 г. Точками черного цвета с трехчасовым интервалом по времени отмечены траектории распространения воздушных масс смога (дымы от очага горения за 17 апреля) на высоте 0, 500 и 1000 м по данным модели HYSPLIT. Цветовая градация траекторий воздушных масс по высоте представлена во вкладке в правом нижнем углу рисунка.

Заключение

Таким образом, в работе показано, что ГИС позволяют не только визуализировать пространственно-распределенную информацию, но и выполнять задачи связанные с анализом причинно-следственных связей.

Над обширной территорией Якутии при малом количестве и плотности расположения метеорологических станций применение ГИС программ и данных дистанционного зондирования Земли целесообразно. С успехом ГИС в Якутии могут применяться в областях народного хозяйства, и в полной мере использованы Министерством экологии, природопользования и лесного хозяйства РС (Я) в качестве дополнения территориальной системы экологического мониторинга.

Литература

1. Соловьев В.С., Васильев М.С. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 20126103912 «Cloud Map Processing Script (CMPAS), CONVERT, MATRIX, AVERAGE», выдан Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (Роспатент) 10 января 2012 г. Правообладатель: Учреждение Российской академии наук Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН.
2. Васильев М.С., Соловьев В.С., Варламова Е.В., Будищев А.А. Исследование влияния солнечно-земных связей на облачный покров в Северной Азии по данным дистанционного зондирования // ИТНОЭ – 2008. Всероссийская научная конференция «Информационные технологии в науке, образовании и экономике». Материалы конференции, часть II, 10-14 ноября 2008 г. – Якутск: Изд-во Якутский государственный университет. – 2008. – С. 18–21.
3. Пивоварова З.И. Радиационные характеристики климата СССР. – Л. Гидрометеиздат. – 1977. – 335 с.
4. Васильев М.С. Состояние прозрачности атмосферы над центральной частью Якутии по данным солнечного фотометра за период 2004-2014 гг. / М.С. Васильев, С.В. Николашкин, Р.Н. Бороев // Метеорология и гидрология. – 2017. – № 11. – С. 14-20.

References

1. Solov'ev V.S., Vasil'ev M.S. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 20126103912 «Cloud Map Processing Script (CMPAS), CONVERT, MATRIX, AVERAGE», vydan Federal'noj sluzhboj po intellektual'noj sobstvennosti, patentam i tovarnym znakam (Rospatent) 10 janvarja 2012 g. Pravoobladatel': Uchrezhdenie Rossijskoj akademii nauk Institut kosmofizicheskikh issledovanij i aeronomii im. Ju.G. Shafera SO RAN.
2. Vasil'ev M.S., Solov'ev V.S., Varlamova E.V., Budishhev A.A. Issledovanie vlijaniya solnechno-zemnyh svjazej na oblachnyj pokrov v Severnoj Azii po dannym distancionnogo zondirovaniya // ITNOJe – 2008. Vserossijskaja nauchnaja konferencija «Informacionnye tehnologii v nauke, obrazovanii i jekonomike». Materialy konferencii, chast' II, 10-14 nojabrja 2008 g. Jakutsk: Izd-vo Jakutskij gosudarstvennyj universitet. – 2008. – С. 18–21.
3. Pivovarova Z.I. Radiacionnye harakteristiki klimata SSSR – L. Gidrometeoizdat. – 1977. – 335 s.
4. Vasil'ev M.S. Sostojanie prozrachnosti atmosfery nad central'noj chast'ju Jakutii po dannym solnechnogo fotometra za period 2004-2014 gg. / M.S. Vasil'ev, S.V. Nikolashkin, R.N. Borojev // Meteorologija i gidrologija. – 2017. – № 11. – С. 14-20.