



Элементы модели оценки качества получаемых геосенсорными сетями пространственно-временных данных об атмосферных явлениях

Ю.В. Бельшева¹✉, О.Г. Гвоздев¹, А.В. Матерухин¹

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии,
Москва, Россия

✉ meteoinfo@list.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Бельшева Ю.В., Гвоздев О.Г., Матерухин А.В. Элементы модели оценки качества получаемых геосенсорными сетями пространственно-временных данных об атмосферных явлениях // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 157–167. DOI:10.30533/GiA-2025-027.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА пространственно-временные данные, оценка качества, атмосферное явление, геосенсорная сеть

АННОТАЦИЯ В статье рассматривается актуальная научно-техническая проблема разработки теоретических основ оценки качества получаемых геосенсорными сетями пространственно-временных данных об атмосферных явлениях. Показаны ограничения руководящих документов Всемирной метеорологической организации. Обоснована целесообразность использования мелкомасштабных сетей мониторинга для фиксации локальных метеорологических процессов, находящихся ниже предела разрешающей способности государственных систем наблюдения. Авторами сформулирована необходимость создания модели, применимой для внутренней (осуществляемой поставщиком данных) и внешней (осуществляемой потребителем данных) оценки качества в различных сценариях: на этапах разработки технологий, выбора поставщика, регулярного входного и выходного контроля. Предложена для последующего построения модели оценки качества данных от геосенсорных сетей совокупность из 26 элементов, учитывающих аспекты, обеспечиваемые как отдельным геосенсором и процессами измерений и обработки данных, реализованных внутри него, так и эмерджентными свойствами геосенсорной сети. Представленный подход учитывает не только инструментальную точность отдельных сенсоров, но и системные характеристики сети, включая пространственную однородность, временную регулярность и оперативность передачи данных. Сформулированы дальнейшие направления исследований и разработок в этом направлении.

1 Введение

Общепринятый подход к сбору данных о состоянии атмосферы основан на интеграции данных из трех типов источников: сети наземных метеорологических станций, метеорологических спутников и метеорологических радаров. Этот подход хорошо изучен, стандартизирован, отлажен и, как следствие, успешно обеспечивает покрытие обширных территорий. Однако его принципиальным непреодолимым ограничением является невозможность гарантировать такую плотность измерений в пространстве и времени, которая достаточна для мониторинга локальных атмосферных явлений и процессов с масштабом в диапазоне от десятков и сотен метров до нескольких километров, т. к. эти величины находятся ниже нижней границы разрешающей способности всех перечисленных методов.

В то же время без учета локальных отклонений невозможно совершенствование информационно-метеорологического сопровождения тех зависимых от метеорологических условий сфер и предприятий, которые составляют значительную часть хозяйственной деятельности человека (эксплуатация автомобильных и железнодорожных путей сообщения, авиация, тепло- и электроэнергетика, сельское хозяйство, городское управление и др.).

Преодоление этих ограничений возможно путем сгущения наземной наблюдательной сети. Это позволяют реализовать современные технологии сбора данных на основе сетей геосенсоров [1] — автономных устройств, оптимизированных по стоимости изготовления и эксплуатации для массовой установки, способных к измерению параметров окружения, определению собственного местоположения и передаче полученных данных в систему, осуществляющую их обработку, в режиме, близком к реальному времени.

В результате экспериментов с применением этого класса технологий для задач метеорологического мониторинга обнаружился ряд проблем, которые были отмечены в отчете¹ Всемирной метеорологической организации (ВМО):

- большой объем данных — отсутствие единых доступных рекомендаций или процедур по интерпретации и дальнейшей обработке данных;
- непрозрачность — отсутствие сведений о процедурах выполнения геосенсором измерений и первичной обработки данных, отсутствие их унификации, отсутствие сведений о причинах несоответствия данных другим источникам;
- отсутствие сведений о неопределенности выполняемых геосенсорами измерений.

Кроме того, некоторые авторы [1, 2] отмечают проблемы, связанные с консистентностью выполняемых измерений и высокой чувствительностью результата к вариациям измерительных процессов, в частности высоты установки датчиков.

Таким образом, создание систем, основанных на сетях геосенсоров, требует разработки модели оценки качества, позволяющей оценить пространственно-временные данные, собираемые отдельными геосенсорами и их сетями.

2 Материалы и методы

Под моделью оценки качества данных в рамках этой работы понимается совокупность элементов — количественных и качественных характеристик данных, способов их оценки, их соотношений и способа получения интегральной количественной оценки качества данных. Соответственно, качество

¹ GAW Report No. 293. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.scribd.com/document/763892290/GAW-293-report-en> (дата обращения: 17.10.2024).

данных — степень соответствия совокупности собственных характеристик заявленным требованиям².

Требуемая модель должна быть применима по меньшей мере в четырех сценариях [3].

А. Для внутренней оценки качества, выполняемой поставщиком данных:

- 1) целевая модель оценки качества, ориентированная на проектирование процессов сбора и обработки данных и осуществляющих их устройств;
- 2) модель оценки качества для регулярного выходного контроля качества данных.

Б. Для внешней оценки качества, выполняемой потребителем данных:

- 1) целевая модель оценки качества, ориентированная на выбор поставщика данных;
- 2) модель оценки качества для регулярного входного контроля качества данных.

Модель также должна учитывать следующие аспекты:

- 1) специфику потоков пространственно-временных данных:
 - временных рядов данных;
 - пространственных данных;
 - потоковых данных;
- 2) специфику данных о состоянии атмосферы.

Текущие руководящие принципы ВМО по контролю качества данных о пространственных явлениях в атмосфере³ не удовлетворяют поставленным требованиям, т. к. не учитывают современное состояние технологий построения геосенсоров и геосенсорных сетей, а также сфокусированы на процессах поставщиков данных, не уделяя достаточно внимания запросам потребителя данных [4]; поставщики данных оценивают качество продукта через его соответствие требованиям, в то время как для потребителей важна его применимость и полезность для решения поставленной задачи [5], а, согласно статье [6], ВМО вообще не определяет конкретную процедуру по оценке параметров качества пространственно-временных данных.

Целью данной работы является идентификация элементов для построения модели оценки качества (элементы качества), отвечающей описанным требованиям. Такие элементы могут быть как универсальными, значимыми и применимыми для всех целевых сценариев, так и ограниченно используемыми — отдельными сторонами (поставщиком или потребителем) либо в рамках отдельных целевых сценариев.

3 Результаты и обсуждение

3.1 Элементы качества данных

Для любых процессов сбора и обработки данных характерна необходимость обеспечения синтаксической корректности данных и сопутствующих процессов их формирования и обработки: выбора, корректного и систематического использования форматов представления данных, обеспечения их целостности при хранении и передаче, гарантирования уникальной идентификации и т. д.

² ГОСТ Р 57773-2017 (ИСО 19157:2013). Пространственные данные. Качество данных. М.: Стандартинформ, 2017. 138 с.

³ Zahumensky I. Guidelines on Quality Control Procedures for Data from Automatic Weather Stations. Geneva: World Meteorological Organization, 2004. 10 p.

На сегодняшний день теоретическая и технологическая проработка этих вопросов, выполненная исследователями в области информатики и геоинформатики, находится на высоком уровне. В рамках данной статьи элементы качества, связанные с этими аспектами, рассматриваться не будут.

В качестве основополагающих элементов качества предлагается использовать признаки, сформулированные в рамках концепции открытых данных^{4,5}:

(Q1) *Первичность* — степень близости детализации данных к первоисточнику, отсутствие агрегации или модификации.

(Q2) *Машиночитаемость* — степень пригодности для автоматической обработки с использованием общедоступных программных средств.

3.2 Элементы качества данных первичных измерений состояния атмосферы

Элементы качества данных первичных измерений, обеспечиваемые отдельными геосенсорами или датчиками в их составе, в рамках данной работы рассматриваются с позиции информационных систем, осуществляющих их сбор, обработку и формирование информационных продуктов на их основе. С этой точки зрения можно выделить устоявшийся перечень элементов качества^{6,7,8} [7–11], который был переосмыслен и дополнен авторами для достижения цели данного исследования:

(Q3) *Точность* — степень, в которой оценочное значение приближается к истинному.

(Q4) *Точность пространственно-временной координации* — степень близости координат в пространстве и времени к истинным значениям в момент измерения⁹.

(Q5) *Сходимость* — степень близости результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях.

(Q6) *Воспроизводимость* — степень близости результатов измерений, выполняемых в различных условиях: в различное время, в различных местах, разными методами и средствами.

(Q7) *Согласованность* — степень сопоставимости результатов измерений одного параметра в различные моменты времени и различных параметров в один момент времени [9–11].

(Q8) *Полнота* — степень наличия необходимых измерений (покрытие целевого объема).

(Q9) *Полнота в предметной области*¹⁰ — степень покрытия измерениями показателей, присущих исследуемому процессу или явлению [12, 13].

4 Открытые данные // Правительство России: официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://government.ru/open_data/ (дата обращения: 02.11.2024).

5 Open Government Data Principles. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://public.resource.org/8_principles.html (дата обращения: 05.11.2024).

6 ГОСТ Р 57773-2017 (ИСО 19157:2013). Пространственные данные. Качество данных. М.: Стандартинформ, 2017. 138 с.

7 ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения. М.: Стандартинформ, 2009. 32 с.

8 ГОСТ Р ИСО 22514-7-2024. Статистические методы. Управление процессами. Часть 7. Воспроизводимость процессов измерений. М.: Российский институт стандартизации, 2024. 50 с.

9 Fekpe E.S., Windholz T., Beard K., et al. Quality and Accuracy of Positional Data in Transportation // National Cooperative Highway Research Program. Report 506. Washington: Transportation Research Board, 1998. 108 p.

10 Под предметной областью может пониматься предметная область поставщика данных или потребителя данных. В первом случае предполагается покрытие множества параметров, принципиально доступных для измерения, во втором — множества параметров, необходимых для решения поставленной задачи.

(Q10) *Полнота в рамках одного временного ряда* (формируемого одним геосенсором) — доля фактически выполненных измерений от целевого количества измерений^{11,12,13}.

(Q11) *Полнота между временными рядами* (формируемыми различными геосенсорами) — доля показателей, измерения которых могут выполняться данным геосенсором, от общего множества показателей, измеряемых геосенсорной сетью.

(Q12) *Избыточность* — степень наличия избыточных измерений — измерений сверх необходимого минимума, позволяющих за счет дальнейшей обработки повысить качество получаемого результата.

(Q13) *Наличие сведений о неопределенности измерений* — наличие в наборе данных каждого измерения сведений о количественной оценке неопределенности каждой из измеренных величин.

Важно отметить, что при решении задачи геодезирования измерения в составе потоков пространственно-временных данных не должны рассматриваться как статистически независимые¹⁴ [14].

3.3 Элементы качества потоков пространственно-временных данных

Элементы качества потоков пространственно-временных данных включают в себя показатели, обеспечиваемые главным образом эмерджентными свойствами геосенсорной сети.

Авторами предлагается следующий перечень элементов качества [15, 16]:

(Q14) *Частота измерений* — количество измерений, выполняемых одним геосенсором за единицу времени.

(Q15) *Однородность частоты измерений* — отклонение частоты измерения одного геосенсора от целевой.

(Q16) *Пространственно-временная плотность измерений* — количество измерений, выполняемых всей геосенсорной сетью в заданной области пространства за единицу времени.

(Q17) *Пространственная однородность измерений* — отклонение количества измерений в единицу времени в различных областях пространства в рамках покрытия геосенсорной сети.

(Q18) *Временная однородность измерений* — отклонение количества измерений в одной области пространства в рамках покрытия геосенсорной сети за различные интервалы времени.

(Q19) *Временная регулярность измерений* — степень соответствия моментов времени выполнения измерений целевой временной сетке.

(Q20) *Пространственная полнота измерений* — степень покрытия измерениями целевой области пространства.

(Q21) *Временная полнота измерений* — степень покрытия измерениями целевого интервала времени.

11 Codd E.F. Relational Database: A Practical Foundation for Productivity // Communications of the ACM. 1982. Vol. 25. No. 2. P. 109–117.

12 Motro A. Integrity = Validity + Completeness // ACM Transactions on Database Systems. 1989. Vol. 14. No. 4. P. 480–502.

13 Motro A., Rakov I. Not All Answers Are Equally Good: Estimating the Quality of Database Answers // Flexible Query Answering Systems / ed. by T. Andreasen, H. Christiansen, H.L. Larsen. New York: Springer, 1997. P. 1–21.

14 Tobler W.R. A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region // Economic Geography. 1970. Vol. 46. P. 234–240.

(Q22) *Своевременность* — отношение актуальности к интервалу времени, в течение которого данные остаются актуальными¹⁵.

(Q23) *Оперативность* — задержка между моментом выполнения измерения и моментом, когда данные измерений становятся доступными для пользователя [17].

3.4 Потребительские элементы качества

В зависимости от уровня технической и предметной квалификации, технической обеспеченности, сложности выполняемых процессов и уровня рисков в них потенциальные потребители могут выдвинуть дополнительные требования к качеству данных геосенсорных сетей и сервисов на их основе.

(Q24) *Техническая доступность* — доля времени (как правило, за год), в течение которого должна быть обеспечена работоспособность сервиса¹⁶.

(Q25) *Организационно-техническая доступность* — количество ресурсов со стороны потребителя данных на выполнение организационных и технических мероприятий, необходимое для обеспечения доступа к данным¹⁷.

(Q26) *Ограниченность использования данных* — совокупность обстоятельств организационной, правовой или технической природы, накладывающих ограничения на возможные сценарии использования, обработки, публикации данных, формирования производных продуктов и других потенциально возможных действий на их основе или с их использованием.

Кроме перечисленного для потребителя могут быть важны аспекты, связанные с происхождением данных, репутацией их поставщика, опытом эксплуатации сервисов другими потребителями и многое другое. Однако данные аспекты не входят в научно-технический контекст рассматриваемой проблемы, хотя и должны учитываться при практическом внедрении решений на основе геосенсорных сетей.

Важно отметить, что, несмотря на стремление обеспечить высокое качество данных, нельзя пренебрегать возможностью задействовать и те данные, которые не отвечают высоким современным стандартам качества. Так, без их задействования были бы чрезвычайно ограничены возможности долгосрочных климатических исследований [18].

Таким образом, помимо средств оценки и обеспечения качества вновь собираемых данных следует развивать теоретический и технологический аппарат, позволяющий интегрировать измерения самого разного уровня.

4 Выводы

В работе предложена совокупность элементов для последующего построения модели оценки качества данных от геосенсорных сетей, при этом указанные элементы учитывают аспекты, которые обеспечиваются как отдельным геосенсором и процессами измерений и обработки данных, реализованных внутри него, так и эмерджентными свойствами геосенсорной сети. Дальнейшие работы авторов будут посвящены формированию целостной модели оценки качества данных от геосенсорных сетей, для чего необходима систематизация

15 Ballou D., Wang R.Y., Pazer H., et al. Modeling Information Manufacturing Systems to Determine Information Product Quality // Management Science. 1998. Vol. 44. No. 4. P. 462–484.

16 Weygant P.S. Clusters for High Availability: A Primer of HP Solutions. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001. 296 p.

17 Wang R.Y., Strong D.M. Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers // Journal of Management Information Systems. 1996. Vol. 12. No. 4. P. 5–33.


и формализация способов количественной оценки предложенных элементов качества и процедуры интегральной оценки качества данных на основе этих показателей.

БЛАГОДАРНОСТИ Результаты получены в рамках государственного задания № FSFE-2022-0002 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.



- БИБЛИОГРАФИЯ**
1. Kim G.-H., Lee D.-G., Shin S.-S., et al. Effects of Urban Green Using the Integrated Meteorological Sensors // Proceedings of the Spring Meeting of Korean Meteorological Society. Jeju, 2014. P. 120–121.
 2. Winning Jr.T.E., Illston B.G., Ferris M.M., et al. An Overview of the Oklahoma City Urban Micronet Test Facility // Proceedings of the American Meteorological Society 14th Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation, January 14–18, 2007. San Antonio, 2007. P. 1–5.
 3. Devillers R., Jeansoulin R. Spatial Data Quality: Concepts // Fundamentals of Spatial Data Quality / ed. by R. Devillers, R. Jeansoulin. Newport Beach: Wiley-ISTE, 2006. P. 31–42. DOI:10.1002/9780470612156.ch2.
 4. Boin A.T., Hunter G.J. Do Spatial Data Consumers Really Understand Data Quality Information? // Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences. Lisbon, 2006. P. 215–224.
 5. Devillers R., Gervais M., Bedard Y., et al. Spatial Data Quality: From Metadata to Quality Indicators and Contextual End-User Manual // Proceedings of the OEEPE/ISPRS Joint Workshop on Spatial Data Quality Management, March 21–22, 2002. Istanbul, 2002. P. 45–55.
 6. Alerskans E., Lussana C., Nipen T., et al. Optimizing Spatial Quality Control for a Dense Network of Meteorological Stations // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2022. Vol. 39. Iss. 7. P. 973–984. DOI:10.1175/JTECH-D-21-0184.1.
 7. Sicari S., Rizzardi A., Cappiello C., et al. Toward Data Governance in the Internet of Things // New Advances in the Internet of Things. Studies in Computational Intelligence. 2018. Vol. 715. P. 59–74. DOI:10.1007/978-3-319-58190-3_4.
 8. Kemper D., Iggena T., Toenjes R., et al. Valid.IoT: A Framework for Sensor Data Quality Analysis and Interpolation // Proceedings of the 9th ACM Multimedia Systems Conference (MMSys'18). New York: Association for Computing Machinery, 2018. P. 294–303. DOI:10.1145/3204949.3204972.
 9. Buelvas J.H., Múnera D., Gaviria N. DQ-MAN: A Tool for Multidimensional Data Quality Analysis in IoT-Based Air Quality Monitoring Systems // Internet of Things. 2023. Vol. 22. P. 100769. DOI:10.1016/j.iot.2023.100769.
 10. Buelvas J., Múnera D., Tobón V. Data Quality in IoT-Based Air Quality Monitoring Systems: A Systematic Mapping Study // Water, Air, & Soil Pollution. 2023. Vol. 234. No. 4. P. 248. DOI:10.1007/s11270-023-06127-9.
 11. Meritxell G., Sierra B., Ferreira S. On the Evaluation, Management and Improvement of Data Quality in Streaming Time Series // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 81458–81475. DOI:10.1109/access.2022.3195338.
 12. Herfort B., Lautenbach S., Porto de Albuquerque J., et al. A Spatio-Temporal Analysis Investigating Completeness and Inequalities of Global Urban Building Data in OpenStreetMap // Nature Communications. 2023. Vol. 14. P. 3985. DOI:10.1038/s41467-023-39698-6.
 13. Weiß I., Vogel-Heuser B. A Metric and Visualization of Completeness in Multi-Dimensional Data Sets of Sensor and Actuator Data Applied to a Condition Monitoring Use Case // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. Iss. 11. P. 5022. DOI:10.3390/app11115022.
 14. Груздев А.Н. Учет автокорреляции в задаче линейной регрессии на примере анализа общего содержания NO₂ в атмосфере // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55, № 1. С. 73–82. DOI:10.31857/S0002-351555173-82.
 15. Бельшева Ю.В., Матерухин А.В. Проблема оценки качества пространственно-временных данных, получаемых от системы метеорологических наблюдений // Приложение к журналу Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». Сборник статей по итогам научно-технической конференции. 2020. № 11. С. 149–151.

16. Курлов А.В., Матерухин А.В. Анализ требований к качеству пространственно-временных данных в задачах территориального планирования // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2022. Т. 66, № 4. С. 59–68. DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-4-59-68.
17. Lehner W., Klein A. How to Optimize the Quality of Sensor Data Streams // Fourth International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology. Cannes/La Bocca: IEEE, 2009. P. 13–19. DOI:10.1109/ICCGI.2009.10.
18. Petrovic P. Selection of Data Sets by Quality and Its Role in Climate Research // Detecting and Modelling Regional Climate Change / M. Brunet, D. Lopez Bonillo (eds.). Berlin: Springer, 2001. P. 21–29. DOI:10.1007/978-3-662-04313-4_3.


АВТОРЫ **Бельшева Юлия Владимировна**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра информационно-измерительных систем, факультет геоинформатики
и информационной безопасности
 0009-0002-5785-3904

Гвоздев Олег Геннадьевич

 gvozdev@miigaik.ru
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра информационно-измерительных систем, факультет геоинформатики
и информационной безопасности
канд. техн. наук
 0000-0002-1917-3206

Матерухин Андрей Викторович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра информационно-измерительных систем, факультет геоинформатики
и информационной безопасности
д-р техн. наук
 0000-0002-9576-9925

Поступила 13.01.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



Elements of a Quality Assessment Model for Spatial and Temporal Data on Atmospheric Phenomena Obtained via Geosensor Networks

Yulia V. Belysheva¹✉, Oleg G. Gvozdev¹, Andrey V. Materukhin¹

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
✉ meteoinfo@list.ru

CITATION Belysheva YuV, Gvozdev OG, Materukhin AV. Elements of a Quality Assessment Model for Spatial and Temporal Data on Atmospheric Phenomena Obtained via Geosensor Networks. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 157–167. DOI:10.30533/GiA-2025-027.

KEYWORDS spatio-temporal data, quality assessment, atmospheric phenomena, geosensor network


ABSTRACT The paper addresses the relevant scientific and technical problem of developing theoretical foundations for the quality assessment of spatio-temporal data on atmospheric phenomena obtained via geosensor networks. The limitations of current World Meteorological Organization guidelines are demonstrated. The study substantiates the necessity of employing small-scale monitoring networks to capture local meteorological processes that fall below the resolution limits of national observation systems. The authors formulate the requirement for a model applicable to both internal (provider-side) and external (consumer-side) quality assessment across various scenarios: technology design, supplier selection, and regular input/output control. A framework consisting of 26 elements is proposed for the subsequent construction of a data quality assessment model. These elements incorporate both the aspects provided by individual geosensors and their internal measurement and processing functions, as well as the emergent properties of the entire geosensor network. The proposed approach accounts for both the instrumental accuracy of individual sensors and systemic network characteristics, including spatial uniformity, temporal regularity, and data timeliness. Finally, future research and development directions in this field are outlined.

ACKNOWLEDGEMENTS The results were obtained within the framework of the state assignment No. FSFE-2022-0002 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.



- REFERENCES**
1. Kim GH, Lee DG, Shin SS, et al. Effects of Urban Green Using the Integrated Meteorological Sensors. *Proceedings of the Spring Meeting of Korean Meteorological Society*. Jeju; 2014: 120–121.
 2. Winning JrTE., Illston BG, Ferris MM, et al. An Overview of the Oklahoma City Urban Micronet Test Facility. *Proceedings of the American Meteorological Society 14th Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation, January 14–18, 2007*. San Antonio; 2007: 1–5.
 3. Devillers R, Jeansoulin R. Spatial Data Quality: Concepts. *Fundamentals of Spatial Data Quality*. R. Devillers, R. Jeansoulin (ed.). Newport Beach: Wiley-ISTE; 2006: 31–42. DOI:10.1002/9780470612156.ch2.
 4. Boin AT, Hunter GJ. Do Spatial Data Consumers Really Understand Data Quality Information? *Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*. Lisbon; 2006: 215–224.
 5. Devillers R, Gervais M, Bedard Y, et al. Spatial Data Quality: From Metadata to Quality Indicators and Contextual End-User Manual. *Proceedings of the OEEPE/ISPRS Joint Workshop on Spatial Data Quality Management, March 21–22, 2002*. Istanbul; 2002: 45–55.
 6. Alerskans E, Lussana C, Nipen T, et al. Optimizing Spatial Quality Control for a Dense Network of Meteorological Stations. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2022;39(7): 973–984. DOI:10.1175/JTECH-D-21-0184.1.
 7. Sicari S, Rizzardi A, Cappiello C, et al. Toward Data Governance in the Internet of Things. *New Advances in the Internet of Things. Studies in Computational Intelligence*. 2018;715: 59–74. DOI:10.1007/978-3-319-58190-3_4.
 8. Kemper D, Iggena T, Toenjes R, et al. Valid.IoT: A Framework for Sensor Data Quality Analysis and Interpolation. *Proceedings of the 9th ACM Multimedia Systems Conference (MMSys'18)*. New York: Association for Computing Machinery; 2018: 294–303. DOI:10.1145/3204949.3204972.
 9. Buelvas JH, Múnera D, Gaviria N. DQ-MAN: A Tool for Multidimensional Data Quality Analysis in IoT-Based Air Quality Monitoring Systems. *Internet of Things*. 2023;22: 100769. DOI:10.1016/j.iot.2023.100769.
 10. Buelvas J, Múnera D, Tobón V. Data Quality in IoT-Based Air Quality Monitoring Systems: A Systematic Mapping Study. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2023;234: 248. DOI:10.1007/s11270-023-06127-9.
 11. Meritxell G, Sierra B, Ferreira S. On the Evaluation, Management and Improvement of Data Quality in Streaming Time Series. *IEEE Access*. 2022;10: 81458–81475. DOI:10.1109/access.2022.3195338.
 12. Herfort B, Lautenbach S, Porto de Albuquerque J, et al. A Spatio-Temporal Analysis Investigating Completeness and Inequalities of Global Urban Building Data in OpenStreetMap. *Nature Communications*. 2023;14: 3985. DOI:10.1038/s41467-023-39698-6.
 13. Weiß I, Vogel-Heuser B. A Metric and Visualization of Completeness in Multi-Dimensional Data Sets of Sensor and Actuator Data Applied to a Condition Monitoring Use Case. *Applied Sciences*. 2021;11(11): 5022. DOI:10.3390/app11115022.
 14. Gruzdev AN. Uchet avtokorrelyatsii v zadache lineinoi regressii na primere analiza obshchego sodержaniya NO₂ v atmosfere [Accounting for Autocorrelation in the Linear Regression Problem on the Example of Analyzing the Total NO₂ Content in the Atmosphere]. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2019;55(1): 73–82. (In Russian). DOI:10.31857/S0002-351555173-82.
 15. Belysheva JuV, Materuhin AV. Problema otsenki kachestva prostranstvenno-vremennykh dannykh, poluchaemykh ot sistemy meteorologicheskikh nablyudenii [The Problem of Assessing the Quality of Spatio-Temporal Data from a Meteorological Observing System]. *Prilozhenie k zhurnalu Izvestiya vuzov. Geodezija i ajerofotosemka. Sbornik statej po itogam nauchno-tehnicheskoi konferencii*. 2020;11: 149–151. (In Russian).
 16. Kurlov AV, Materuhin AV. Analiz trebovaniy k kachestvu prostranstvenno-vremennykh dannykh v zadachakh territorial'nogo planirovaniya [Analysis of Spatial and Temporal Data Quality Requirements in Spatial Planning Tasks]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2022;66(4): 59–68. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-4-59-68.

17. Lehner W, Klein A. How to Optimize the Quality of Sensor Data Streams. *Fourth International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology*. Cannes/La Bocca: IEEE; 2009: 13–19. DOI:10.1109/ICCGI.2009.10.
18. Petrovic P. Selection of Data Sets by Quality and Its Role in Climate Research. *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Brunet M, Lopez Bonillo D (eds.). Berlin: Springer; 2001: 21–29. DOI:10.1007/978-3-662-04313-4_3.


AUTHORS **Yulia V. Belysheva**

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Information and Measurement Systems, Faculty of Geoinformatics
and Information Security
 0009-0002-5785-3904

Oleg G. Gvozdev

 gvozdev@miigaik.ru
Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Information and Measurement Systems, Faculty of Geoinformatics
and Information Security
PhD in Engineering
 0000-0002-1917-3206

Andrey V. Materukhin

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Information and Measurement Systems, Faculty of Geoinformatics
and Information Security
Dr. of Sci. (Engineering)
 0000-0002-9576-9925

Submitted: January 13, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.