

УДК 625.17:627.51 – 047.36

Сравнительная оценка методов мониторинга водных объектов, потенциально опасных для железнодорожного пути

С. Ю. ЗАВЬЯЛОВ

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»),
Москва, 129626, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена необходимость своевременного мониторинга потенциально опасных водных объектов для предотвращения чрезвычайных ситуаций и повышения уровня безопасности движения поездов.

Проведена сравнительная оценка визуального и дистанционных методов по таким параметрам, как оперативность получения данных, возможность автоматической интеграции с ЭВМ, точность измерений, стоимость оборудования, детализированная оценка исследуемого участка по имеющимся данным, необходимость присутствия человека при измерениях, получение данных в режиме реального времени, время актуализации данных. Во время мониторинга объектов выделено два вида измерений — в пиковые периоды и в повседневной ситуации и выполнена оценка различных методов мониторинга для каждого из них.

Данный подход позволил сделать вывод о целесообразности внедрения беспилотных летательных аппаратов при мониторинге водных объектов, находящихся в непосредственной близости к железнодорожному полотну. В краткосрочной перспективе можно предложить сочетание использования беспилотных летательных аппаратов с периодическим визуальным мониторингом.

Ключевые слова: железнодорожный путь; мониторинг потенциально опасных объектов; сравнительная оценка методов мониторинга; применение пилотных и беспилотных летательных аппаратов; аэрофотосъемка; спутниковые технологии

Введение. В работах [1, 2, 3] рассмотрено негативное влияние потенциально опасных водных объектов на железнодорожный путь. Эти объекты представляют наибольшую опасность в периоды паводка, сильных проливных дождей и весеннего снеготаяния (пиковые периоды). Для обеспечения безопасности движения во всех перечисленных случаях необходим усиленный мониторинг водных объектов.

Все существующие виды такого мониторинга можно разделить на две группы: визуальный мониторинг (специалист лично проверяет с помощью различных измерительных приборов характеристики объекта) и дистанционный (с помощью современной техники).

В процессе визуального мониторинга специалист выезжает на потенциально опасный объект и с помощью водомерной рейки или приборов поплавкового

типа замеряет глубину водоема и сравнивает ее с максимальной [4]. При этом также определяется уровень прибрежной растительности и изменение границ объекта (по сравнению с последним измерением) [5]. Этот способ измерения недостаточно точен, так как вышеуказанные приборы имеют довольно большую погрешность, а качество измерения зависит от погодных условий и от квалификации персонала. Кроме того, не всегда есть возможность добраться до объекта по различным причинам: отсутствует или разрушена подъездная дорога, нехватка сотрудников в пиковые периоды и так далее.

Анализ дистанционных методов мониторинга. Дистанционный метод не требует присутствия сотрудника на потенциально опасном объекте, а данные получают при помощи следующих технических средств:

- пилотной летательной техники (аэрофотосъемки);
- беспилотной летательной техники (квадрокоптеров, омниоптеров и прочих беспилотных и летательных аппаратов);
- дистанционного зондирования Земли (путем использования данных со спутников).

Рассмотрим особенности каждого способа.

Пилотные летательные аппараты (аэрофотосъемка).

Аэрофотосъемка — фотографирование территории с высоты от сотен метров до десятков километров при помощи аэрофотоаппарата, установленного на атмосферном летательном аппарате [6]. Существенным недостатком этого метода является необходимость получения разрешения на полет. Кроме того, стоимость техники, осуществляющей фотосъемку с хорошим разрешением, крайне высока.

Что касается дистанционного зондирования Земли со спутников, то в каждой такой системе должна задействоваться орбитальная группировка из нескольких десятков искусственных спутников Земли. Срок жизни каждого спутника ограничен несколькими годами, что требует регулярной «подпитки» группировок спутников все новыми космическими аппаратами. Стоимость спутников вместе с системами их вывода на орбиту составляет десятки миллионов долларов, при этом они являются изделиями одноразового

■ E-mail: zevus1987@mail.ru (С. Ю. Завьялов)

Таблица 1

Сравнительная оценка использования визуального метода, пилотных и беспилотных летательных аппаратов и снимков, полученных с помощью спутника

Table 1

Comparative evaluation of the use of the visual method, the pilot and unmanned aerial vehicles, and images obtained via satellite

Характеристики	Оценка методов мониторинга — качественная (количественная)			
	Визуальный	Пилотные летательные аппараты	Беспилотные летательные аппараты	Спутниковые снимки
Оперативность получения данных	Низкая (1)	Средняя (2)	Средняя (2)	Высокая (3)
Возможность автоматической интеграции с ЭВМ	Нет (0)	Есть (0)	Есть (1)	Есть (1)
Точность измерений	Низкая (1)	Высокая (3)	Высокая (3)	Средняя (2)
Стоимость оборудования	Низкая (3)	Средняя (2)	Средняя (2)	Высокая (1)
Детализированная оценка исследуемого участка по имеющимся данным	Отсутствует (1)	Зависит от установленной аппаратуры (2)	Есть (3)	Зависит от установленной аппаратуры (2)
Необходимость присутствия человека при измерениях	Есть (0)	Есть (0)	Нет (1)	Нет (1)
Время актуализации данных	Среднесрочно (2)	Краткосрочно (3)	Краткосрочно (3)	Долгосрочно (1)
Получение данных в режиме реального времени	Нет (0)	Есть (1)	Есть (1)	Нет (0)
Общая количественная оценка (без учета значимости характеристик)	8	13	16	11

применения и после завершения срока своей работы превращаются в «космический мусор» или сгорают в атмосфере. Ремонту они не подлежат.

Чтобы из космоса вести фото- и киносъемку или наблюдать за каким-либо объектом, нужны 24 спутника, но и тогда информация от них будет поступать один раз в час, поскольку спутник находится над объектом наблюдения всего 15 – 20 мин, а затем уходит из зоны его видимости и возвращается на то же место, совершив оборот вокруг Земли. Объект же за это время уходит из заданной точки, поскольку Земля вращается, и снова оказывается в ней только через 24 ч, т. е. снимок можно получить только один раз в сутки. В отличие от спутника высотный беспилотный летательный аппарат сопровождает точку наблюдения постоянно. При этом наблюдение ведется не с космических, а со стратосферных высот, что позволяет повысить его качество и применить более легкую и дешевую аппаратуру. Проработав на высоте около 20 км (при детализированном мониторинге достаточно высоты до 1 км) более 24 ч, он возвращается на базу, а ему на смену в небо уходит другой. Еще одна машина находится в резерве. Таким образом достигается огромная экономия, поскольку беспилотные самолеты на порядок дешевле спутников [7, 8].

Безусловно, все перечисленные методы имеют свои достоинства и недостатки.

Сравнительная оценка методов дистанционного мониторинга. Для сравнительной оценки методов дистанционного мониторинга (табл. 1) мной предлагается выбрать следующие характеристики:

- оперативность получения данных;
- возможность автоматической интеграции с ЭВМ;
- точность измерений;
- стоимость оборудования;
- детализированная оценка исследуемого участка по имеющимся данным;
- необходимость присутствия человека при измерениях;
- получение данных в режиме реального времени;
- время актуализации данных.

Каждая характеристика оценивается по четырехбалльной шкале (от 0 до 3). Балльные оценки в табл. 1 определены исходя из анализа данных, представленных в статьях [7 – 9], посвященных методам дистанционного мониторинга наземных объектов и авторского опыта в этой области.

В рамках сравнительного анализа рассматриваемых методов, в частности, следует обратить внимание на то, что при использовании визуального метода

время актуализации данных отсчитывается от момента выезда специалиста на объект до момента получения данных специалистами, которые будут их анализировать. При использовании беспилотных летательных аппаратов время отсчитывается от момента запуска аппарата и до получения цифровых данных «на земле». При применении спутниковых технологий время рассчитывать сложнее. В связи с изменениями в постановлении Российской Федерации №326 от 28 мая 2007 г. [10], в которых говорится о возможности получения свободного доступа к спутниковым снимкам определенного разрешения, время получения данных может рассчитываться как минимум двумя способами: как время, затраченное на поиск снимка в Интернете, или как время от момента получения данных со спутника до обработки полученной информации сотрудниками соответствующих служб. Так как для проведения мониторинга необходима актуальная информация в хорошем разрешении, то время получения снимка следует рассчитывать по второму варианту. Снимок одной и той же территории, как отмечено выше, один спутник может сделать лишь раз в сутки.

Среди перечисленных характеристик сравниваемых методов особо остановимся на необходимости присутствия человека при измерениях, так как в повседневной ситуации эта характеристика не так важна,

а в пиковый (экстремальный) период — крайне значима. Это объясняется тем, что присутствие на опасном водном объекте в экстремальные периоды крайне опасно для человека.

Под характеристикой «получение данных в режиме реального времени» следует понимать видеосвязь непосредственно с места событий («в прямом эфире»), что позволит своевременно контролировать уровень опасности и его изменение как в положительную, так и в негативную сторону.

Для выбора предпочтительного метода мониторинга целесообразно ввести степень значимости каждой характеристики для двух различных ситуаций: повседневной (обычной) и пиковой (экстремальной) (табл. 2).

Для системной оценки методов мониторинга водных объектов, потенциально опасных для железнодорожного транспорта, можно предложить комплексный показатель $K_{\text{ММВО}}$, определяемый с учетом значимости характеристик методов по формуле

$$K_{\text{ММВО}} = \sum_{i=1}^n \left(O_i \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \right), \quad (1)$$

где O_i — оценка i -й характеристики для рассматриваемого метода; n — число характеристик; α_i — значимость i -й характеристики.

Таблица 2

Оценка рассматриваемых методов с учетом веса каждой характеристики для пикового и обычного периодов

Table 2

Evaluation of considered methods taking into account the value of each characteristic for normal and peak periods

Наименование критерия	Значимость характеристики		Оценка визуального метода в пиковые моменты (обычно)	Оценка пилотных летательных аппаратов в пиковые моменты (обычно)	Оценка беспилотных летательных аппаратов в пиковые моменты (обычно)	Оценка снимков со спутника в пиковые моменты (обычно)
	в пиковые моменты	в обычных ситуациях				
Оперативность получения данных	1	0,9	0,19 (0,17)	0,38 (0,35)	0,38 (0,35)	0,58 (0,52)
Возможность автоматической интеграции с ЭВМ	0,5	0,7	0 (0)	0 (0)	0,1 (0,13)	0,1 (0,13)
Точность измерений	0,7	1	0,13 (0,19)	0,4 (0,58)	0,4 (0,58)	0,27 (0,38)
Стоимость оборудования	0,3	0,8	0,17 (0,46)	0,11 (0,31)	0,11 (0,31)	0,06 (0,15)
Детализированная оценка исследуемого участка по имеющимся данным	0,4	0,5	0,08 (0,1)	0,15 (0,19)	0,23 (0,29)	0,15 (0,19)
Необходимость присутствия человека при измерениях	0,8	0,4	0 (0)	0 (0)	0,15 (0,08)	0,15 (0,08)
Время актуализации данных	0,9	0,6	0,35 (0,23)	0,52 (0,35)	0,52 (0,35)	0,17 (0,11)
Получение данных в режиме реального времени	0,6	0,3	0 (0)	0,11 (0,06)	0,11 (0,06)	0 (0)
Комплексный показатель	—	—	0,92 (1,15)	1,67 (1,84)	2,00 (2,15)	1,48 (1,56)

Значимость характеристик методов мониторинга предлагается устанавливать для каждого из периодов мониторинга на основе трехэтапного алгоритма.

На первом этапе выбирается характеристика, наиболее значимая для данного периода мониторинга, которая будет играть роль «точки отсчета». (Значение «точки отсчета» при выработке прикладных оценок и решений раскрыто лауреатом Нобелевской премии Д. Канеманом в работе [11].)

На втором этапе все остальные характеристики упорядочиваются по убыванию их значимости, исходя из качественных («более значима — менее значима») попарных сравнений.

На третьем этапе каждой характеристике приписывается количественная оценка значимости. Наиболее значимая характеристика («точка отсчета») получает оценку «1», а оценки значимости остальных характеристик определяются в долях единицы (с шагом 0,1), исходя из экспертного сравнения уровня значимости данной характеристики с наиболее значимой.

Следует отметить, что как последовательность, так и количественная значимость характеристик существенно меняются в зависимости от периода мониторинга.

Так, если в обычных ситуациях важнейшей характеристикой является точность измерений, то в пиковый период — оперативность получения данных. Стоимость оборудования — одна из наиболее важных характеристик при обычных наблюдениях (значимость — 0,8) и наименее важная в пиковые периоды (значимость — 0,3).

Выбор метода, предпочтительного для организации мониторинга потенциально опасных водных объектов, осуществляется по критерию максимизации комплексного показателя:

$$K_{\text{ММВО}} \rightarrow \max. \quad (2)$$

Выводы. Исходя из результатов оценки, приведенных в табл. 1 и 2, предпочтительным методом мониторинга потенциально опасных водных объектов (как в обычные, так и в пиковые периоды) является использование беспилотных летательных аппаратов. Это свидетельствует о системных преимуществах данного метода и говорит о целесообразности внедрения беспилотных летательных аппаратов при мониторинге водных объектов, находящихся в непосредственной близости к железнодорожному полотну.

С учетом необходимости использования при этом дорогостоящего оборудования и сложных технологий получения данных в ближайшей перспективе

представляется целесообразным сочетание использования беспилотных летательных аппаратов с периодической проверкой визуальным мониторингом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завьялов С. Ю. Технологии мониторинга и защиты железнодорожного пути от внешних воздействий при взаимодействии с окружающей средой // Геодезия, геоинформатика и навигация — XXI век: тезисы международной конференции. М.: МИИТ, 2012. С. 120 — 122.
2. Железнов М. М., Завьялов С. Ю. Оперативный мониторинг потенциально опасного взаимодействия железной дороги с окружающей средой // Железнодорожный транспорт на современном этапе развития: сб. трудов молодых ученых ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. М. М. Железнова, Г. В. Гогричиани. М.: Интекст, 2013. С. 214 — 218.
3. Железнов М. М., Завьялов С. Ю. Космический мониторинг потенциально-опасного взаимодействия железной дороги с окружающей средой в сложных климатических условиях // Сборник материалов V международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», ИрГУПС, 31 марта — 4 апреля 2014 г. В 2 т. Иркутск: ИрГУПС, 2014. С. 180 — 183.
4. Корнеев П. В., Лозовая С. Ю., Лозовой Н. М. Способы повышения эффективности мониторинга водных объектов на примере измерения уровня воды в водоемах // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 12. С. 273 — 277.
5. Железнодорожный путь / Т. Г. Яковлева [и др.]. М.: Транспорт, 1999. 405 с.
6. Инженерная геодезия / А. А. Визгин [и др.]. М.: Высшая школа, 1985. 352 с.
7. Цеппева Т. П., Поздышева Е. М., Поштаренко А. Г. Анализ применения беспилотных комплексов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. трудов. Вып. 39. Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2008. С. 149 — 154.
8. Зинченко О. Н. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования. URL: <http://www.rascurs.ru/?page=681> (дата обращения: 15.01.2016).
9. Повалишников Е., Ефимова Л., Головлева В. Применение методов дистанционного зондирования для мониторинга водных объектов в пределах ООПТ // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013. Т. 2. № 11 (58). С. 99 — 107.
10. Постановление Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2014 года № 1254 «О внесении изменений в Положение о получении, использовании и предоставлении геопространственной информации». М., 2014. 2 с.
11. Kahneman D. Thinking, Fast and Slow. Publ. N. Y.: Farrar, Straus and Giroux, 2011. 512 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

ЗАВЬЯЛОВ Сергей Юрьевич, аспирант АО «ВНИИЖТ», младший научный сотрудник аппарата Объединенного ученого совета ОАО «РЖД», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 1.02.2016 г., принята к публикации 10.03.2016 г.

Comparative evaluation of methods of monitoring of water objects, potentially dangerous for the railway track

S. Yu. ZAVYALOV

Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russia

Abstract. The article discusses the need for timely monitoring of potentially hazardous water objects to prevent emergency situations and improve safety of trains. There are several ways of monitoring, which can be divided into two types: visual (expert personally check potentially dangerous objects and conducts measurements) and remote. If the remote method of investigation involved various technical tools that allow to study the behavior of the object (its geometric characteristics and change over time) without the personal presence of a specialist on it. These tools include the unmanned aerial vehicles: drones, quadcopters, omnicopters; pilot aircrafts: light aircraft piloted by a pilot, as well as data obtained by aerial photography and remote sensing of the Earth by satellites.

For comparison purposes of the listed methods the following parameters have been chosen: efficiency of data acquisition, possibility of automatic integration into the computer, accuracy of measurements, equipment cost, the detailed assessment of the studied site according to the available data, need of presence of the specialist at measurements, data acquisition in real time, time for data updating. During monitoring of objects two types of measurements are allocated — during the peak periods and in a daily situation, and the assessment of different methods of monitoring for each of them is executed. At the first evaluation stage a characteristic which is the most significant for this period of monitoring is chosen, which will play a role of "reference point", at the second stage all other characteristics are arranged on decrease of their importance, proceeding from qualitative ("is more significant — is less significant") paired comparisons, at the third stage the quantitative assessment of the importance is attributed to each characteristic. The most significant characteristic ("reference point") receives an assessment "1", and estimates of the importance of other characteristics are defined in unit shares, proceeding from expert comparison of a significance value of this characteristic with the most significant. After that the total size of an assessment for each method is defined.

This approach led to the conclusion of the feasibility of the introduction of unmanned aerial vehicles in the monitoring of water objects which are in close proximity to the railway track. In the short prospect it is possible to offer a combination of use of unmanned aerial vehicles with periodic visual monitoring.

Keywords: railway track; monitoring of potentially hazardous objects; comparable assessment of monitoring methods; application of pilot and unmanned aerial vehicles; aerial photo and video shooting; satellite technologies

REFERENCES

1. Zavyalov S. Yu. *Tekhnologii monitoringa i zashchity zheleznodorozhnogo puti ot vneshnikh vozdeystviy pri vzaimodeystvii s okruzhayushchey sredoy* [Technologies of monitoring and protection of railway track from external influences when interacting with the environment. Geodesy, geoinformatics and navigation — XXI Century. Proceedings of International Conference]. Moscow, MIIT Publ., 2012, pp. 120 – 122.
2. Zheleznov M. M., Zavyalov S. Yu. *Operativnyy monitoring potentsial'no opasnogo vzaimodeystviya zheleznoy dorogi s ok-*

ruzhayushchey sredoy [Real-time monitoring of potentially dangerous interaction with the railway environment]. Rail transport at the present stage of development. Coll. works of young scientists of JSC "VNIIZhT" (Railway Research Institute). Moscow, Intext, 2013, pp. 214 – 218.

3. Zheleznov M. M., Zavyalov S. Yu. *Kosmicheskiy monitoring potentsial'no-opasnogo vzaimodeystviya zheleznoy dorogi s okruzhayushchey sredoy v slozhnykh klimaticheskikh usloviyakh* [Space monitoring of potentially dangerous interaction between the railway and the environment in difficult climatic conditions. Collection of materials of the V International Scientific and Practical Conference "Transport infrastructure of Siberian region" (March — April 2014) in 2 volumes]. Irkutsk, IrGUPS Publ., 2014, pp. 180 – 183.

4. Korneev P. V., Lozovaya S. Yu., Lozovoy N. M. *Sposoby povysheniya effektivnosti monitoringa vodnykh ob'ektov na primere izmereniya urovnya vody v vodoemakh* [Ways to improve the efficiency of monitoring of water objects on the example of water level measurement in reservoirs]. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya*, 2015, no. 12, pp. 273 – 277.

5. T. G. Yakovleva, N. I. Karpushchenko, S. I. Klinov, N. N. Putrya, M. P. Smirnov. *Zheleznodorozhnyy put'* [Railway track]. Moscow, Transport Publ., 1999, 405 p.

6. Vizgin A. A., Gan'shin V. N., Kougiya V. A., Kupchinov I. I., Khrenov L. S. *Inzhenernaya geodeziya* [Engineering geodesy]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1985, 352 p.

7. Tseplyaeva T. P., Pozdysheva E. M., Poshtarenko A. G. *Analiz primeneniya bespilotnykh kompleksov*. Otkrytye informatsionnye i komp'yuternye integrirovannye tekhnologii. Sb. nauch. tr. [Analysis of the use of unmanned systems. Public information and computer integrated technologies. Collection of scientific works]. Kharkov, National aerial-cosmic institute "KhAI" Publ., 2008, vol. 39, pp. 149 – 154.

8. Zinchenko O. N. *Unmanned aerial vehicle: the application for the purpose of aerial photography for mapping* (February, 15, 2016). Available at <http://www.racurs.ru/?page=681> (in Russ.).

9. Povalishnikova E., Efimova L., Golovleva V. *Primenenie metodov distantsionnogo zondirovaniya dlya monitoringa vodnykh ob'ektov v predelakh OOPT* [The use of remote sensing techniques for monitoring of water objects within Special Protected Natural Areas]. *Aktual'nyye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2013, vol. 2, no. 11, pp. 99 – 107.

10. Russian Federation Government Resolution of November 27, 2014 № 1254 "On Amendments to the Regulations on the receipt, use and provision of geospatial information". Moscow, 2014, 2 p. (in Russ.).

11. Kahneman D. *Thinking, Fast and Slow*. Publ. N. Y.: Farrar, Straus and Giroux, 2011, 512 p.

ABOUT THE AUTHOR

ZAVYALOV Sergey Yur'evich,
Post-graduate, junior researcher in Joint Scientific Council of JSC RZD, JSC "VNIIZhT"

Received 1.02.2016

Accepted 10.03.2016

■ E-mail: zevus1987@mail.ru (S. Yu. Zavyalov)