

УДК 504.064

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОДОЕМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Дмитрий А. Шлагов<sup>1, \*</sup>

<sup>1</sup> Новокузнецкий филиал (институт) Кемеровского государственного университета, Россия, 654041, г. Новокузнецк, ул. Циолковского, 23  
\* wessmoke@mail.ru

Поступила в редакцию 08.11.2017. Принята к печати 06.12.2017.

**Ключевые слова:** загрязнение, водный бассейн, экологическая безопасность, ГИС-технологии, теория графов, математическая модель

**Аннотация:** В работе рассматриваются: определение источников и уровня загрязнения водоемов и водных бассейнов, с использованием ГИС-технологий. Описаны: структура системы; используемые аппаратные и программные средства, а также математическая модель, с помощью которой проводится исследование вклада в загрязнение гидросферы предприятиями и жилищно-коммунальным комплексом населенных пунктов. Описанная система позволяет выявлять предприятия, которые сильнее прочих загрязняют окружающую среду, и применять управленческие решения по регулированию процессов по устранению отходов на этих предприятиях. Также в более крупном масштабе система позволяет муниципалитетам отслеживать общий уровень загрязненности агломерации, что позволит принимать более взвешенные решения, например, по постройке новых предприятий. Дальнейшая работа по данному направлению исследований позволит создать интеллектуальную систему, которая может прогнозировать загрязнения водоемов в разные временные интервалы и выявлять, как зависит экологическая ситуация в одном регионе от прочих регионов РФ.

**Для цитирования:** Шлагов Д. А. Определение степени загрязненности водоемов с использованием ГИС-технологий // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле. 2017. № 3. С. 72–75. DOI: 10.21603/2542-2448-2017-3-72-75.

Загрязнение водоемов является одной из важнейших проблем современности. Грязная и вредная вода влияет на все экосистемы напрямую или опосредованно. Некачественная вода затрудняет развитие сельского хозяйства – отрасли, которая обеспечивает человечество продуктами питания; вызывает различные заболевания.

Обеспечение экологической безопасности водоемов во многом затрудняется высокой латентностью преступлений против окружающей среды, т. к. трудно установить причастность тех или иных предприятий или физических лиц к загрязнению водоемов и водных бассейнов [1].

Отслеживание загрязненности водоемов является одной из возможных мер по предотвращению деградации водных ресурсов. Для решения данной задачи разработана информационная система, позволяющая определить очаги загрязнения водоемов; проанализировать состояние водных ресурсов в регионах и разработать мероприятия по предотвращению дальнейшего загрязнения.

На сегодняшний день ведутся работы по созданию тематических геоинформационных систем (ГИС) различных предметных областей [2]. Направленность ГИС определяет структуру системы и состав программных модулей, входящих в раздел специализированного программного обеспечения. Однако любая ГИС включает в себя средства сбора, хранения и анализа данных и средства визуализации [3]. В основу предлагаемой нами ГИС вошли инструментальные средства QGIS, т. к. она имеет свободную лицензию и поддержку периодически обновляемых плагинов [4].

Средства сбора представляют собой приборы анализа химического состава воды. Все показания фиксируются и хранятся в темпоральной и реляционной базах данных.

Анализ выполняется серверным программным обеспечением, которое через определенные промежутки времени связывается с темпоральной базой данных; запрашивает и оценивает количество вредных веществ; вычисляет изменение этих значений с момента прошлого измерения и обновляет реляционную базу, которая хранит пространственно-атрибутивные характеристики объектов в ГИС [5].

Визуализация результатов проведенного анализа реализована с использованием карты-подложки исследуемого региона с нанесенными на нее слоями и отмеченными важными точками, имитирующими предприятия, источники чистой воды и так далее, и линиями, которые изображают реки. Поскольку исследуемый объект представляет собой многослойную структуру с различными пространственно-атрибутивными характеристиками, описываемая ГИС имеет несколько слоев [6].

В первом слое системы отмечены предприятия, так или иначе участвующие в изменении экологической ситуации водной среды, а в частности предприятия, сбрасывающие отходы в реки. На другом слое наносятся крупные города или области, подлежащие изучению экологической ситуации. Третий слой содержит реки, протекающие в рассматриваемом регионе, с указанием истоков и устьев.

Важное условие функционирования и достоверности разработанной ГИС является достаточность покрытия средствами сбора информации о гидросфере исследуемого региона. Установка подобных приборов (датчиков) на пересечении границы агломерации крупных городов и близлежащих рек, течение которых направлено «от» центра рассматриваемой области, позволит измерить примерное загрязнение на выходе. Установка таких же при-

боров в точках пересечения границ области и рек, чье течение направлено в «центр» рассматриваемой области, даст возможность измерить загрязнение на входе.

На рисунке показан пример визуализации размещения источников загрязнения и места расположения приборов для анализа химического состава воды. В качестве подложки выступает электронная карта интересующего региона, взятая из Google Maps [7]. Красными точками обозначены предприятия (КМК и Аглофабрика), зелеными – места установки приборов анализа химического состава воды.

Данные о загрязнении водоемов на входе и выходе из области можно использовать для определения вклада в загрязнение близлежащих водоемов отдельными предприятиями (в масштабе населенного пункта) или города в целом – в масштабе субъекта федерации или региона.

В основе специализированного программного обеспечения используется разработанная математическая модель, описывающая перемещение загрязненных вод в пределах интересующей области. В предлагаемой программе используется ориентированный граф [8], вершины которого являются источниками загрязнения (городское жилищно-коммунальное хозяйство, промышленные объекты), источники чистой воды (горные озера, артезианские скважины и прочее) или устья рек. Ребра взвешенного графа представляют собой реки, направленные от истока к устью и проходящие через источники загрязнения. Если в реке имеется несколько датчиков загрязненности, то можно разделить одно ребро, представляющее реку, на несколько. Соединяющими вершинами в данном

случае будут места расположения приборов для анализа химического состава воды.

Каждое ребро или вершина имеет набор атрибутов, используемых для наглядности или в расчетах, – например объем водопереноса, средний уровень нефтепродуктов или объем сброса соединений фтора и азота в водоемы предприятиями. Атрибуты и пространственные координаты вершин и ребер хранятся в реляционной базе данных.

Каждое состояние модели имеет отметку времени, в которое оно было зафиксировано. Это позволяет рассмотреть дополнительные сезонные явления, к примеру таяние снегов весной или осенние паводки, и изучить их влияние на гидросферу региона.

Разработанная специализированная ГИС позволяет производить поиск наиболее загрязненных бассейнов и выделение самых злостных загрязнителей, что позволит своевременно выставлять им штрафные и налоговые санкции по поддержанию природоохранных мероприятий. На основе полученных данных появляется возможность своевременного принятия управленческих решений по предотвращению загрязнений водоемов и деградации водных ресурсов [9].

Дальнейшие исследования проводятся на основе полученной модели. В качестве отдельной подсистемы планируется реализовать прогнозирование уровня загрязненности водных бассейнов. Результатом исследований по созданию специализированной ГИС может стать интеллектуальная информационная система по выработке комплекса мероприятий по улучшению геоэкологической обстановки водного бассейна в регионе [10].



Рис. Визуализация Центрального района города Новокузнецка  
 Fig. Visualization of the Central district of the city of Novokuznetsk

## Литература

1. Остроумов С. А. Проблемы экологической безопасности источников водоснабжения // Экологические системы и приборы. 2006. № 5. С. 17–20.
2. Степанов Ю. А. Структура региональной геоинформационной системы при ведении выемочных работ угледобывающих предприятий // Геоинформатика. 2012. № 1. С. 36–41.
3. Степанов Ю. А., Бурмин Л. Н. Специализированная ГИС для моделирования процессов горного предприятия // Геоинформатика. 2015. № 1. С. 3–8.
4. Документация программного комплекса QGIS. Режим доступа: <http://www.qgis.org/ru/docs/index.html> (дата обращения: 13.09.2017).
5. Степанов Ю. А., Бурмин Л. Н. Об одном из способов хранения и анализа пространственно-атрибутивных данных угледобывающего предприятия // Информация и Космос. 2015. № 4. С. 113–117.
6. Капралов Е., Кошкарёв А., Тикунов В., Лурье И., Семин В., Серапинас Б., Сидоренко В., Симонов А. Геоинформатика: в 2 кн. М.: Academia, 2010.
7. Бесплатный картографический сервис Google Maps. Режим доступа: <https://www.google.ru/maps> (дата обращения: 10.09.2017).
8. Дистель Р. Теория графов: [пер. с англ.]. Новосибирск: Издательство института математики, 2002. 336 с.
9. Степанов Ю. А., Корчагина Т. В. Экспертная система для экологического анализа и выработки природоохранных мероприятий // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2007. № 3. С. 26–28.
10. Степанов Ю. А., Корчагина Т. В., Дмитриев Ю. В. Модель управления состоянием экосистемы при воздействии техногенеза // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2007. № 6. С. 87–88.

## DETERMINATION OF THE WATER POLLUTION BY USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM TECHNOLOGIES

Dmitrii A. Shlagov<sup>1, @</sup>

<sup>1</sup> Kemerovo State University (Novokuznetsk branch), 23, Tsiolkovsky St., Novokuznetsk, Russia, 654041  
@wessmoke@mail.ru

Received 08.11.2017. Accepted 06.12.2017.

**Keywords:** pollution, water, environmental safety, GIS, graph theory, mathematical model.

**Abstract:** The current paper deals with the determination of the sources and level of water pollution by using GIS-technologies. It describes the structure of the system, hardware and software, as well as a mathematical model, which examines the polluting impact of local enterprises, households and communal complex settlements. The system described makes it possible to identify enterprises that pollute the environment more than others, and to apply management decisions to regulate waste disposal processes at these enterprises. Also, at larger scale, the system allows municipalities to monitor the overall level of pollution in the agglomeration, which will allow them to make better decisions on the construction of new enterprises. A further research will create a smart system that will be able to predict the pollution of water bodies at different time intervals and identify how the ecological situation in one region depends on other regions of the Russian Federation.

**For citation:** Shlagov D. A. Opredelenie stepeni zagriaznennosti vodoemov s ispol'zovaniem GIS-tekhnologii [Determination of the Water Pollution by Using Geographic Information System Technologies]. *Bulletin of Kemerovo State University. Series: Biological, Engineering and Earth Sciences*, no. 3 (2017): 72–75. DOI: 10.21603/2542-2448-2017-3-72-75.

## References

1. Ostroumov S. A. Problemy ekologicheskoi bezopasnosti istochnikov vodosnabzheniia [Problems of ecological safety of sources of water supply]. *Ekologicheskie sistemy i pribory = Ecological Systems and Devices*, no. 5 (2006): 17–20.
2. Stepanov Iu. A. Struktura regional'noi geoinformatsionnoi sistemy pri vedenii vyemochnykh работ ugledobyvaiushchikh predpriatii [Structure of a regional geographic information system when conducting extraction works of the coal-mining enterprises]. *Geoinformatika = Geoinformatika*, no. 1 (2012): 36–41.
3. Stepanov Iu. A., Burmin L. N. Spetsializirovannaia GIS dlia modelirovaniia protsessov gornogo predpriatiiia [Spetsializirovannaia GIS dlia modelirovaniia protsessov gornogo predpriatiiia]. *Geoinformatika = Geoinformatika*, no. 1 (2015): 3–8.
4. *Dokumentatsiia programmogo kompleksa QGIS* [Documentation of the program QGIS complex]. Available at: <http://www.qgis.org/ru/docs/index.html> (accessed 13.09.2017).

5. Stepanov Iu. A., Burmin L. N., Ob odnom iz sposobov khraneniia i analiza prostranstvenno-atributivnykh dannykh ugledobyvaiushchego predpriiatiia [About one of ways of storage and the analysis of spatial and attributive data of the coal-mining enterprise]. *Informatsiia i Kosmos = Information and Space*, no. (2015): 113–117.
6. Kapralov E., Koshkarev A., Tikunov V., Lur'e I., Semin V., Serapinas B., Sidorenko V., Simonov A. *Geoinformatika* [Geoinformatics]. Moscow: Academia, 2010.
7. *Besplatnyi kartograficheskii servis Google Maps* [Free cartographical Google service of Maps]. Available at: <https://www.google.ru/maps> (accessed 10.09.2017).
8. Distel' R. *Teoriia grafov* [Graph theory]. Novosibirsk: Izdatel'stvo instituta matematiki, 2002, 336.
9. Stepanov Iu. A., Korchagina T. V. Ekspertnaia sistema dlia ekologicheskogo analiza i vyrobotki prirodookhrannykh meropriiatiit [Expert system for the ecological analysis and development of nature protection actions]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, no. 3 (2007): 26–28.
10. Stepanov Iu. A., Korchagina T. V., Dmitriev Iu. V. Model' upravleniia sostoianiem ekosistemy pri vozdeistvii tekhnogeneza [Model of ecosystem management under the influence of tekhnogenesis]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, no. 6 (2007): 87–88.