

spatial data infrastructure of the Russian Federation decree of the RF Government dated 21 August 2006] № 1157-р.

2. GOST R 53339 2009 «Dannyye prostranstvennyye bazovyye. Obschie trebovaniya» [«Spatial Data base. General requirements»]. M.: Standartinform, 2009. 11 p.

3. GOST R 52438 2005 «Geograficheskie informatsionnyye sistemy. Terminy i opredeleniya» [«Geographic information system. Terms and definitions»]. M.: Standartinform, 2006. 11 p.

---

УДК 004.4:519.6:574.5

А.А. Кадочников<sup>1</sup>, О.Э. Якубайлик<sup>2</sup>

## ПРОГРАММНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ БАСЕЙНА Р. ЕНИСЕЙ

***Резюме.** В работе рассматриваются вопросы формирования проблемно-ориентированной геоинформационной системы бассейна р. Енисей на основе междисциплинарных научных исследований. Создание системы, в которой будут собраны и систематизированы сведения о его речной сети, обеспечит возможность проведения анализа и моделирования гидрологических процессов, различных природных и природно-техногенных явлений, качественной и количественной оценки водных ресурсов, экологического состояния. Методической основой разработки является формируемая региональная система показателей устойчивого природопользования. Разработка создается в сервис-ориентированной парадигме на основе геопортальных технологий, средств интерактивной веб-картографии, системы распределенного хранения и обработки данных. Основное внимание в настоящей статье уделяется проблемам формирования программно-технологического обеспечения, особенностям реализации программных компонент веб-ГИС, вопросам эффективной обработки и представления геопространственных данных.*

***Ключевые слова:** геоинформационная система, бассейн р. Енисей, геопортал, геопространственные данные, веб-картография, веб-приложение, картографический сервис, тайловая подложка, веб-шаблон.*

**Введение.** Несмотря на то, что история ГИС насчитывает уже более полувека, интенсивное развитие геоинформационных технологий началось не более 20 лет назад, когда началось массовое использование персональных компьютеров и появились первые общедоступные полнофункциональные ГИС. Уже на первых этапах своего развития ГИС формировались как интегрированные программные комплексы, быстро реагирующие на изменения в области информационных технологий и ориентированные на решение широкого круга задач по обработке разнородной пространственной информации [1]. В последнее десятилетие, с развитием технологий Интернета «веб 2.0» – веб-сервисов и мешапов, асинхронной загрузки данных веб-страницей (AJAX), методов распространения информации на основе веб-синдикации (RSS, GeoRSS), сервисов кооперативного формирования данных пользователями, тегов, блогов и социальных сетей – начался новый этап эволюции ГИС, основанный на широком внедрении и использовании стандартов на пространственные данные, инфраструктуры пространственных данных [2–3]. Основные исследования и разработки связаны сегодня с технологиями создания распределенных ГИС – интерактивных онлайн-картографических сервисов и геопорталов, применении облачных вычислений и GRID-технологий для организации коллективного использования и обработки геопространственных данных [4–5]. В этом контексте геоинформационная система бас-

---

<sup>1</sup> Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, 660036, Россия, Академгородок 50/44, научн. сотр., канд. техн. н.; e-mail: scorant@icm.krasn.ru.

<sup>2</sup> Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, 660036, Россия, Академгородок 50/44, ст. научн. сотр., канд. физ.-мат. н.; e-mail: oleg@icm.krasn.ru.

сейна р. Енисей – программно-технологическое решение, основанное на последних достижениях в рассматриваемой предметной области, распределенная информационно-вычислительная система, формируемая на основе сервис-ориентированной парадигмы.

**Актуальность исследований.** Красноярский край отличается исключительным разнообразием и богатством природных условий и ресурсов, его территорию пересекает несколько природных зон: арктическая, тундра, тайга (большая часть), лесостепь и степь. По количеству рек, запасам водной энергии и длине водных путей Красноярский край занимает первое место в Российской Федерации. Основная часть его территории расположена в бассейне р. Енисей. Почти все реки края полноводны и играют важную хозяйственную роль в крае, многие пригодны для сплава и судоходства и обладают большими гидроэнергетическими ресурсами. Создание геоинформационной системы бассейна р. Енисей, в которой будут собраны и систематизированы сведения о его речной сети, обеспечит возможность проведения анализа и моделирования гидрологических и экологических процессов, различных природных и природно-техногенных явлений на территории Красноярского края, сформирует информационную основу для решения актуальных задач регионального управления.

Значимость создания комплексной геоинформационной системы бассейна р. Енисей также обусловлена существенными изменениями в структуре, составе и пространственном распределении гидробиологических и ихтиологических сообществ в р. Енисей, которые произошли за последние 30–40 лет. Зарегулирование стока, загрязнение бытовыми и промышленными отходами, последствия нерационального промысла привели к значительному сокращению запасов ценных видов рыб и ухудшению их воспроизводства.

Формирование проблемно-ориентированной базы данных по рассматриваемой теме и организация доступа к ее информационным ресурсам через Интернет на основе современных стандартов и сервисов придаст новый импульс региональным исследованиям и разработкам научных, отраслевых и образовательных организаций края как в области информационных и телекоммуникационных технологий, так и в естественных науках (география, геоэкология, гидробиология, метеорология, и проч.), предоставит возможность их использования для решения фундаментальных и практических региональных задач [6].

**Используемые методы и подходы.** Проектирование и разработка геоинформационной веб-системы бассейна р. Енисей ведется на основе современных подходов к созданию распределенных информационных систем, с учетом актуальных достижений и тенденций в рассматриваемой области науки и технологий. Предъявляемые к создаваемой системе требования позволяют ее охарактеризовать как современную сервис-ориентированную систему корпоративного уровня на основе облачных технологий [7, 8]. Для реализации поставленных задач используются стандартные и оригинальные специализированные JavaScript-библиотеки функций (фреймворки), которые работают во всех современных веб-браузерах, обладают необходимыми функциональными возможностями – от операций элементами объектной модели документа DOM до поддержки асинхронных HTTP-запросов (AJAX), обработки событий, визуальных эффектов (сочетание работы с тайме-рами JavaScript и стилями CSS), служебными функциями (поиск, обработка строк, и т.д.), и проч. [9, 10]. Построение сервис-ориентированных веб-приложений на основе специализированных фреймворков стало стандартом де факто примерно с 2010 г., однако – это очень динамично развивающиеся технологии, исследования далеки от завершения, тем более – в области создания веб-ГИС, где готовые решения практически отсутствуют [11].

Геоинформационное обеспечение проекта базируется на современных международных стандартах – программных и пользовательских интерфейсах для получения и предоставления геопространственных данных на основе общепринятых стандартных протоколах OGC (WMS, WMTS, WFS, и проч.); ведущих программных библиотеках и компонентах свободных ГИС с открытым исходным кодом (MapServer, OpenLayers, GDAL/OGR, GeoExt, GeoWebCache, и проч.). Использование свободного программного обеспечения с открытым исходным кодом

обеспечивает гибкие возможности настройки и модернизации создаваемого программного кода, не говоря уже о бесплатности базового системного программного обеспечения [12, 13].

Уникальной отличительной особенностью геоинформационной веб-системы должен стать метод динамического формирования картографического представления данных на веб-сервере и возможности интерактивного картографического веб-интерфейса пользователя. Изображение карты, формируемое в окне стандартного веб-браузера, создается сервером как многослойная комбинация выбранного пользователем тематического набора данных и фоновой подложки на основе мультимасштабной карты, мозаики спутниковых снимков или стороннего сервиса (Яндекс. Карты, OpenStreetMap, 2ГИС, Google Maps, Росреестр, и проч.). Интерактивность интерфейса пользователя предусматривает возможность получения семантической (табличной) информации щелчком мыши по объекту на карте (рис. 1).

**Визуализация данных по объектам интерактивной веб-карты.** Программные инструменты создаваемой системы позволяют просматривать информацию во всплывающем окне в HTML-формате при запросе на веб-карте с помощью щелчка мыши. Информацию можно получить:

- по объектам отдельного слоя, размещенного в каталоге ресурсов системы;
- по объектам некоторых или всех слоев карты, зарегистрированной в каталоге;
- по координате с помощью информационного сервиса «адресный поиск».

Предусмотрено несколько режимов работы картографического веб-приложения. Базовый механизм предполагает использование универсальной формы информационного всплывающего окна, в котором вся атрибутивная информация по выбранному объекту слоя отображается в виде обычной таблицы, вне зависимости от ее содержания. Альтернативный метод визуализации данных по объектам карты использует систему шаблонов и внешних сервисов. Для его активации необходимо в метаданных слоя или карты указать необходимость использования шаблона или внешнего сервиса, настроить соответствующие параметры, создать и сохранить в метаданных используемый шаблон.

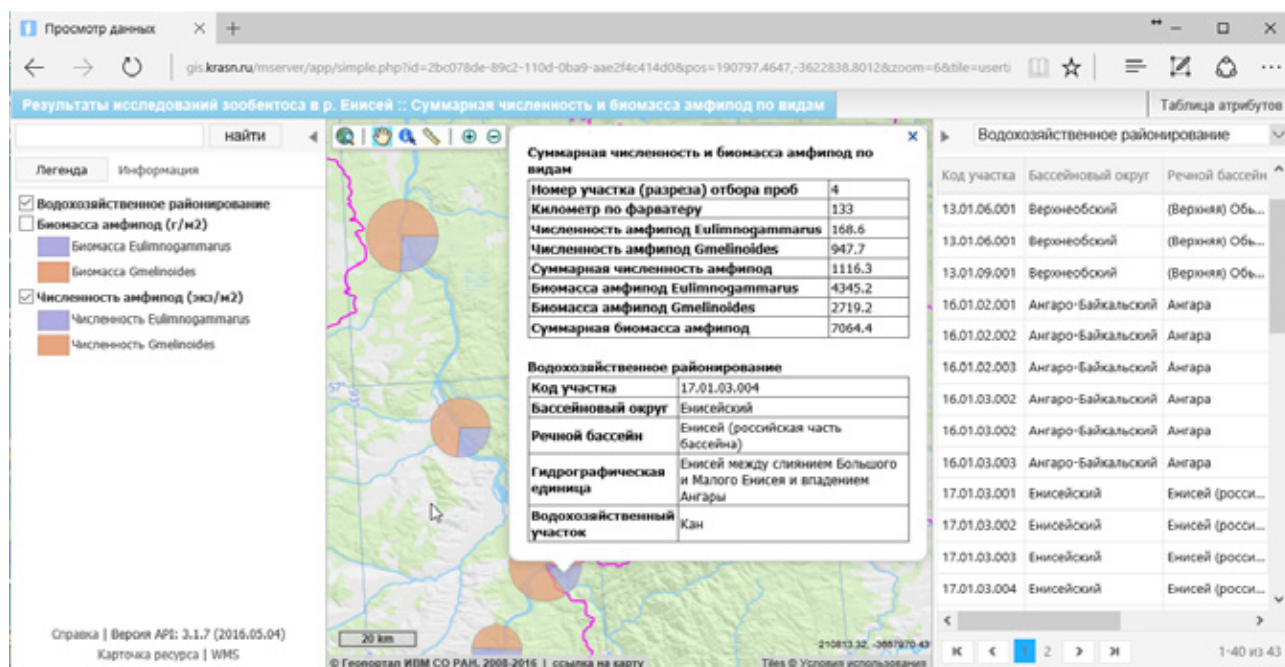


Рис. 1. Интерфейс пользователя геоинформационной веб-системы бассейна р. Енисей

Программная реализация подсистемы работы с шаблонами выполнена на основе компилирующего обработчика шаблонов с открытым исходным кодом TWIG, который обеспечивает эффективное сочетание статического HTML кода и динамического контента. Шабло-

ны позволяют изменять порядок и форму вывода атрибутивных данных по объектам в слоях карты, включая различное стилевое оформление – цвет, параметры шрифтов, и т.д. (рис. 2).

```

<table class=«infoMapTable»>
  {% for layer in 0..layers|length-1%}
  {% set ind = layers|length - loop.index%}
  {% if layers|length > 0%}
    {% if loop.first == false%}
      <tr><td>&nbsp;</td></tr>
    {% endif%}
  <tr><td><b>{{ layers[ind].title }}</b></td></tr>
  {% endif%}
  <tr><td>
    <table class=«infoTable»>
      {% for attr in layers[ind].attributes%}
      {% set di = loop.index-1%}
      <tr>
        <td width="70%"><b>{{ attr }}</b></td>
        {% for dt in layers[ind].data%}
          <td>{{ dt[di]|round(3, 'floor')}}</td>
        {% endfor%}
      </tr>
      {% endfor%}
      {% if layers[ind].attributes|length == 0%}
        <tr><td>Пустой результат</td></tr>
      {% endif%}
    </table>
  </td></tr>
  {% endfor%}
</table>

```

**Рис. 2.** TWIG-шаблон для отображения данных картографического веб-приложения

Еще один способ вывода информации основан на использовании (подключении) внешнего сервиса. В этом случае параметром слоя/карты является гиперссылка на сторонний скрипт с параметром, через который передается набор атрибутивных данных. Предполагается, что результатом работы такого скрипта является текст произвольного содержания в формате HTML. Указанный способ позволяет создавать сложные варианты ответа на запрос по карте, с применением других сторонних сервисов и баз данных. Скрипты могут запускаться как с сайта самого веб-приложения, так и с других сайтов и серверов в локальной и внешних сетях [14, 15].

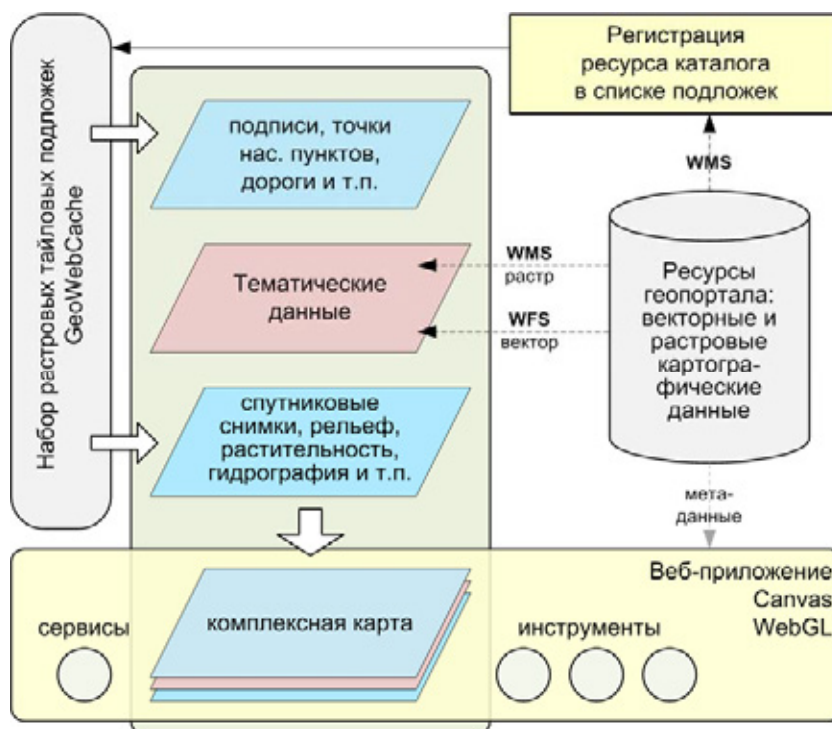
Механизм работы программного блока для визуализации данных по объектам выглядит следующим образом. При выполнении информационного запроса по векторным объектам на веб-карте формируется массив атрибутивных данных по всем слоям карты (для которых существует такая возможность, определенная оператором системы) в виде индексированного или ассоциативного массива. Затем, в зависимости от настроек картографического веб-приложения, возможны два варианта:

- атрибутивная информация передается в виде массива в веб-приложение, где формируется HTML-код результата запроса;
- на основе массива атрибутивных данных формируется результат в HTML-формате и передается в веб-приложение.

В результате информация отображается в окне браузера пользователя в месте, определенном разработчиком. При отображении результата запроса во всплывающем окне у оператора существует дополнительная возможность, позволяющая управлять размером информационного окна, что бывает необходимо для некоторых атрибутивных данных. Они могут выбираться автоматически, с учетом предельных размеров окна, либо явно определяться дизайнером карты, который устанавливает минимальные и максимальные допустимые размеры ширины или высоты.

**Формирование картографического изображения.** Одной из особенностей разработки является способ построения картографического изображения на веб-сервере как комбинации геопространственных данных из различных источников, с возможностями тонкой настройки параметров. Основой для генерируемого картографического изображения являются векторные и растровые слои данных, зарегистрированные в каталоге ресурсов геоинформационной веб-системы. Они могут быть дополнены данными информационно-справочного типа – тайловыми подложками с топографической основой, мозаиками спутниковых изображений, цифровыми моделями рельефа, и проч. Также можно использовать данные сторонних картографических веб-сервисов – Яндекс. Карты, Google Maps, OpenStreetMap, 2ГИС, Росреестр, и т.д. [16-18]. Формируемая комплексная карта в результате представляет собой «слоеный пирог» данных, полученных из собственных ресурсов веб-системы и сторонних источников (рис. 3).

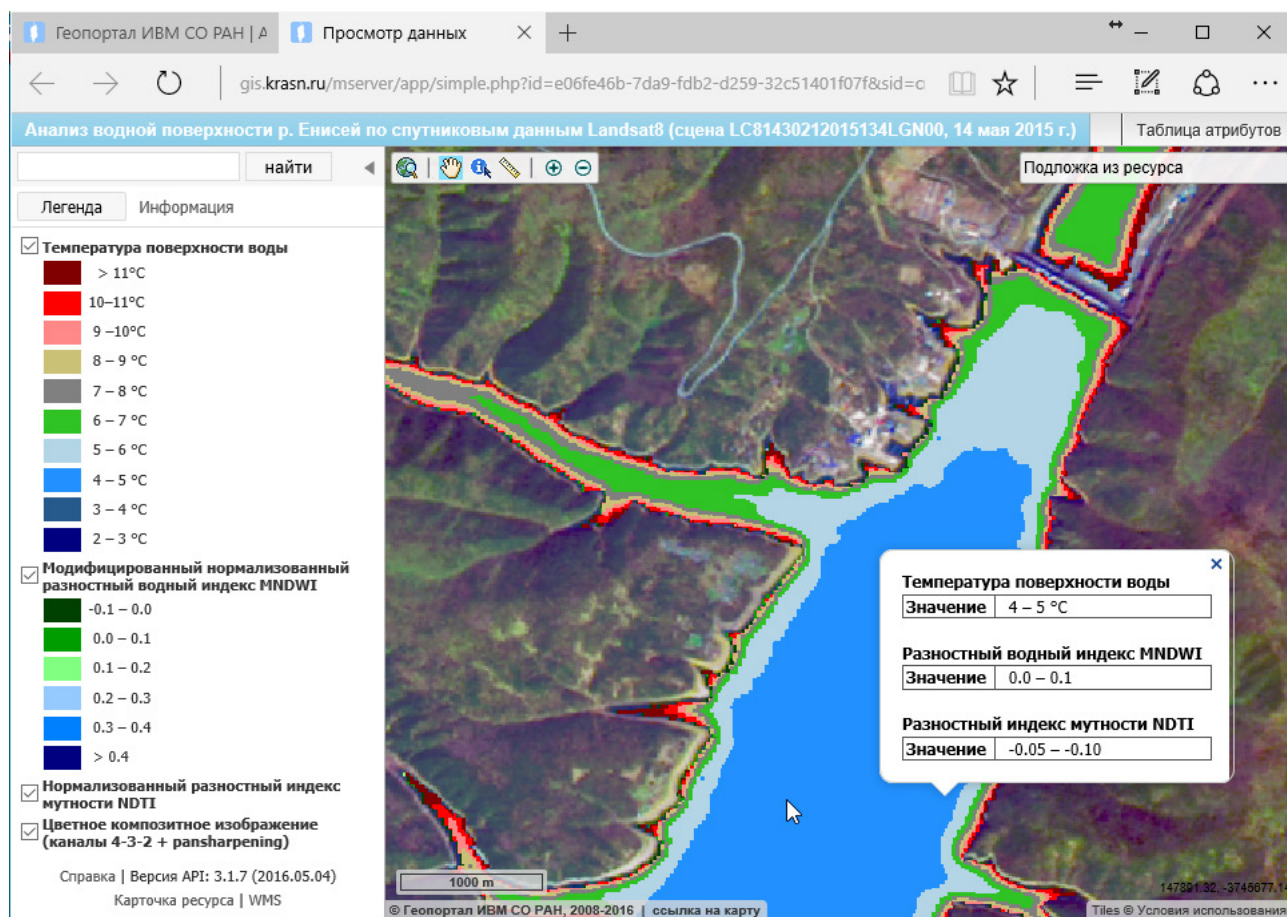
Разработанное программное обеспечение обеспечивает возможность представления картографической информации в виде комплексной карты на стороне клиентского веб-приложения с различными комбинациями тайловых подложек и тематических растровых данных (слоев): тематический слой может отображаться над тайловым слоем (преимущественно растровые данные и полигональные объекты: спутниковые снимки, растительность, гидрография, рельеф и т.п.), под тайловым слоем (преимущественно подписи, линейные и точечные объекты: населенные пункты, дороги, название объектов на карте, речная сеть и т.п.) и между двумя тайловыми слоями. Также предусмотрена возможность просмотра тематических данных в тайловом формате с другими тайловыми подложками из набора доступных на геопортале с ограничением по проекции выбранного слоя. Создан набор функций, связанных с преобразованием картографических проекций, который выполняется клиентским веб-приложением, с целью ускорения работы портала и уменьшении нагрузки на сервер; для этого используется специализированная библиотека, основанная на программном обеспечении с открытым исходным кодом Proj4JS. Перечисленные функциональные возможности востребованы в реализации различных веб-ГИС приложений. В частности, в рамках настоящего проекта по созданию геоинформационной веб-системы бассейна р. Енисей предполагается использовать представленные решения для визуализации данных по речной сети и результатам вычисления водосборных бассейнов притоков р. Енисей [19–20].



**Рис. 3.** Комбинация пространственных данных при формировании картографического изображения геоинформационной веб-системы

Визуализация веб-карты на стороне клиента в веб-браузере пользователя возможна в двух режимах: в виде растрового или векторного изображения; она основана на функциональных возможностях JavaScript-библиотеки OpenLayers. В случае с векторными изображениями вся информация по тематическому слою размещается на стороне клиента веб-браузера – это приводит к мгновенной реакции системы на запросы пользователя, но накладывает ограничения на размеры информации, т.к. современные веб-браузеры не могут обрабатывать многомегабайтные слои геоданных. Выбор режима представления данных осуществляет дизайнер карты, в зависимости от сложности, объема отображаемых исходных пространственных данных.

Растровые тематические слои пространственных данных предусматривают вывод информации не только по цвету пикселя, но и по описанию (классу в легенде) объектов, которое было задано оператором при создании тематической карты (классификации). Такой инструмент расширяет возможности при отображении карт температур, почв, растительности, различных разностных спектральных индексов, других тематических карт> построенных на основе обработки данных дистанционного зондирования (рис. 4).



**Рис. 4.** Веб-интерфейс визуализации результатов анализа характеристик водной поверхности р. Енисей по спутниковым данным Landsat

**Выводы.** История создания региональных геоинформационных систем в значительной степени связана с прогрессом Интернет-технологий, методами распространения геоданных через компьютерную сеть. Проблемно-ориентированные онлайн-ГИС первого поколения (начало 2000-х) имели ограниченные возможности, как правило, не предлагая ничего кроме визуализации заранее подготовленных карт. Современный уровень программно-технологического обеспечения систем рассматриваемого класса основан преимущественно на достижениях последних 10 лет – это современные методы построения веб-приложений на основе методов асинхронного обмена данными AJAX и других технологий «веб 2.0», использо-

вания DHTML для динамического изменения контента, внедрения технологий создания веб-системы на основе специальных программных инструментов – JavaScript-фреймворков, стандартов Open Geospatial Consortium (OGC) обмена пространственными данными через Интернет, онлайн-картографических сервисов и геопорталов, и т.д. Проектирование и разработка рассматриваемой веб-ГИС ведется на основе указанных подходов. Ее создание повысит уровень доступности информационных ресурсов по бассейну р. Енисей для научно-образовательного сообщества, поможет интенсифицировать междисциплинарные исследования значительной части территории Сибири на основе принципов устойчивого развития.

***Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке гранта 16-47-240517 Российского фонда фундаментальных исследований и Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Remote Sensing Handbook – Three Volume Set. Ed. By Prasad S. Thenkabail // CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016, 2200 pages. ISBN 9781482218015.
2. Geospatial Services and Applications for the Internet. Editors: Sample, J.T., Shaw, K., Tu, S., Abdelguerfi, M. // Springer-Verlag US, 2008. – 179 p., DOI 10.1007/978-0-387-74674-6.
3. Songnian Li, Suzana Dragicevic, Bert Veenendaal. Advances in Web-based GIS, Mapping Services and Applications. CRC Press, 2011. ISBN: 978-0-415-80483-7.
4. Кадочников А.А., Якубайлик О.Э. Сервис-ориентированные веб-системы для обработки геопространственных данных // Вестник НГУ. Информационные технологии. 2015. Т. 13. № 1. С. 37–45.
5. Berrick S., Leptoukh G., Farley J., Rui H. Giovanni. A web service workflow-based data visualization and analysis system. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 2009. Vol. 47 (1). Pp. 106–113.
6. Андрианова А.В., Якубайлик О.Э. Геоинформационная веб-система для обеспечения гидробиологического мониторинга на примере зообентоса р. Енисей // Вычислительные технологии. 2016. Т. 21. № 1. С. 5–14.
7. Пиньде Фу, Цзюлинь Сунь. Веб-ГИС: Принципы и применение // Издательство Дата+, 2013. 356 с.
8. Zhao P., Di L. (Eds.) Geospatial Web Services: Advances in Information Interoperability. // IGI-Global, Hershey, 2011.
9. Якубайлик О.Э., Попов В.Г. Технологии для геоинформационных Интернет-систем // Вычисл. технологии. 2009. Т. 14. № 6. С. 116–126.
10. Yakubailik O., Kadochnikov A., Tokarev A. Applied software tools and services for rapid web GIS development // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015. www.sgem.org, SGEM2015 Conference Proceedings, Book 2. Vol. 1. Pp. 487–494. DOI: 10.5593/SGEM2015/B21/S8.060.
11. Yang C., Raskin R., Introduction to distributed geographic information processing research // International Journal of Geographical Information Science 2009. vol. 23 (5). Pp. 553–560.
12. Кадочников А.А., Попов В.Г., Токарев А.А., Якубайлик О.Э. Формирование геоинформационного Интернет-портала для задач мониторинга состояния природной среды и ресурсов // Журнал СФУ. Серия: Техника и технологии. 2008. Т. 1. № 4. С. 377–386.
13. Якубайлик О.Э. Геоинформационная Интернет-система мониторинга состояния природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли // Вестник СибГАУ. 2010. Т. 1. № 27. С. 40–45.
14. Kiehle C., Greve K., Heier C. Requirements for next generation spatial Data Infrastructures standardized Web based geoprocessing and Web service orchestration. Transactions in GIS 2007. vol. 11 (6). Pp. 819–834.

15. Якубайлик О.Э., Гостева А.А., Ерунова М.Г., Кадочников А.А., Матвеев А.Г., Пятаев А.С., Токарев А.В. Разработка средств информационной поддержки наблюдений за состоянием окружающей природной среды // Вестник КемГУ. 2012. № 4/2(52). С. 136–142.

16. Кадочников А.А., Якубайлик О.Э. Разработка программных средств сбора и визуализации данных наблюдений для геопортала Института вычислительного моделирования СО РАН // Вестник НГУ. Информационные технологии. 2014. Т. 12. № 4. С. 23–31.

17. Кадочников А.А., Матвеев А.Г., Пятаев А.С., Токарев А.В., Якубайлик О.Э. Программный комплекс «Геопортал ИВМ СО РАН». // Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014612492 от 26 февраля 2014 г.

18. Кадочников А.А. Программа обработки и презентации данных для информационно-аналитических систем «КАРТТЕМ» // Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015613206 от 10 марта 2015 г.

19. Metz M., Mitasova H., Harmon R. Efficient extraction of drainage networks from massive, radar-based elevation models with least cost path search, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2011. Vol. 15, pp. 667-678. DOI: 10.5194/hess-15-667-2011.

20. Casas A., Benito G., Thorndycraft V.R. and Rico M. The topographic data source of digital terrain models as a key element in the accuracy of hydraulic flood modelling. *Earth Surf. Process. Landforms*, 2006, 31. pp. 444-456. DOI: 10.1002/esp.1278.

---

**A.A. Kadochnikov<sup>1</sup>, O.E. Yakubailik<sup>2</sup>**

## **SOFTWARE AND TECHNOLOGIES FOR GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM OF YENISEI RIVER BASIN**

**Abstract.** *The work considers the questions of formation of problem-focused geoinformation system of the Yenisei river basin based on interdisciplinary scientific studies. The creation of a system, in which are collected and systematized information about its river network, will provide an opportunity for analysis and modeling of hydrological processes various natural and man-made phenomena, qualitative and quantitative assessment of water resources, ecological status. Methodological basis of development is a regional system of indicators for sustainable environmental management. Development is created in the service-oriented paradigm on the basis of geoportal technologies, interactive web mapping, distributed storage and data processing. The focus in this article is paid to the problems of software design and technological support, the characteristics of software components implementation of the web GIS, the effective processing and presentation of geospatial data.*

**Key words:** *geographic information system, Yenisei river basin, geoportal, geospatial data, web mapping, web application, map service, tiled background, web template.*

**Acknowledgement.** *The study was supported by grant no. 16-47-240517 from Russian Foundation for Basic Research and Krasnoyarsk Regional Fund of Support of Scientific and Scientific-technical activities.*

## REFERENCES

1. Remote Sensing Handbook – Three Volume Set. Ed. By Prasad S. Thenkabail // CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016, 2200 pages. ISBN 9781482218015.

---

<sup>1</sup> Institute of Computational Modeling of SB RAS, Krasnoyarsk, 660036, Russia, researcher; e-mail: scorant@icm.krasn.ru.

<sup>2</sup> Institute of Computational Modeling of SB RAS, Krasnoyarsk, 660036, Russia, senior researcher, associate professor; e-mail: oleg@icm.krasn.ru.



2. Geospatial Services and Applications for the Internet. Editors: Sample, J.T., Shaw, K., Tu, S., Abdelguerfi, M. // Springer-Verlag US, 2008. – 179 p., DOI 10.1007/978-0-387-74674-6.
3. *Songnian Li, Suzana Dragicevic, Bert Veenendaal*. Advances in Web-based GIS, Mapping Services and Applications. CRC Press, 2011. ISBN: 978-0-415-80483-7.
4. *Kadochnikov A.A., Yakubailik O.E.* Service-oriented web applications for spatial data processing // Bulletin of Novosibirsk State University. Information Technologies. 2015. Vol. 15. № 1. Pp. 37–45. (In Russian).
5. *Berrick S., Leptoukh G., Farley J., Rui H. Giovanni*. A web service workflow-based data visualization and analysis system. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 2009. Vol. 47 (1). Pp. 106–113.
6. *Andrianova A.A., Yakubailik O.E.* Geographic information web system providing the hydrobiological monitoring on the example of Yenisei river zoobenthos // Comput. Technologies. 2016. Vol. 21, No. 1. Pp. 5–14. (In Russian).
7. *Fu P, Sun J*, Web GIS: Principles and Applications // Redlands, CA, ESRI Press, 2010.
8. *Zhao P., Di L.* (Eds.) Geospatial Web Services: Advances in Information Interoperability. // IGI-Global, Hershey, 2011.
9. *Yakubailik O.E., Popov V.G.* Technologies for Internet Geographic Information Systems // Comput. Technologies. 2009. Vol. 14, No. 6. Pp. 116–126. (In Russian).
10. *Yakubailik O., Kadochnikov A., Tokarev A.* Applied software tools and services for rapid web GIS development // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015. www.sgem.org, SGEM2015 Conference Proceedings, Book 2. Vol. 1. Pp. 487–494. DOI: 10.5593/SGEM2015/B21/S8.060.
11. *Yang C., Raskin R.*, Introduction to distributed geographic information processing research // International Journal of Geographical Information Science 2009. vol. 23 (5). Pp. 553–560.
12. *Kadochnikov A.A., Popov V.G., Tokarev A.V., Yakubailik O.E.* Implementation of Internet GIS Portal for Environment and Natural Resources Monitoring Tasks // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. 2008. Vol. 1. No. 4. Pp. 377–386. (In Russian).
13. *Yakubailik O.E.* Geoinformation Internet system for environmental monitoring in the productive activity area of oil and gas industry enterprises // Vestnik SibGAU. 2010. No. 1(27). Pp. 40–45. (In Russian).
14. *Kiehle C., Greve K., Heier C.* Requirements for next generation spatial Data Infrastructures standardized Web based geoprocessing and Web service orchestration. Transactions in GIS 2007. vol. 11 (6). Pp. 819–834.
15. *Yakubailik O.E., Gosteva A.A., Erunova M.G., Kadochnikov A.A., Matveev A.G., Pyataev A.S., Tokarev A.V.* Developing information support tools for observations of the environment state // Bulletin of Kemerovo State University. 2012. № 4/2(52). Pp. 136–142. (In Russian).
16. *Kadochnikov A.A., Yakubailik O.E.* Development of software tools for acquisition and visualization of observations data for geoportal ICM SB RAS // Bulletin of Novosibirsk State University. Information Technologies. 2015. Vol. 15. N 1. Pp. 37–45. (In Russian).
17. *Kadochnikov A. Matveev A. Pytaev A. Tokarev O. Yakubailik.* The software complex «Geoportal ICM SB RAS». // Federal Service for Intellectual Property (ROSPATENT). State registration certificate of Computer Programs № 2014612492 from 26.02.2014.
18. *Kadochnikov. A.A.* The software for processing and presentation of data for information-analytical system «KARTTEM» // Federal Service for Intellectual Property (ROSPATENT). State registration certificate of Computer Programs № 2015613206 from 10.03.2015.
19. *Metz M., Mitasova H., Harmon R.* Efficient extraction of drainage networks from massive, radar-based elevation models with least cost path search, Hydrol. Earth Syst. Sci., 2011. Vol. 15, pp. 667–678. DOI: 10.5194/hess-15-667-2011.
20. *Casas A., Benito G., Thorndycraft V.R. and Rico M.* The topographic data source of digital terrain models as a key element in the accuracy of hydraulic flood modelling. Earth Surf. Process. Landforms, 2006, 31. pp. 444–456. DOI: 10.1002/esp.1278.