

С.В. Пьянков¹, О.А. Березина², Р.К. Абдуллин³, А.В. Тарасов⁴

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГИС
ЛИКВИДИРОВАННОГО КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА:
ИНФОРМАЦИОННОЕ НАПОЛНЕНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ**

АННОТАЦИЯ

Кизеловский каменноугольный бассейн (КУБ) находится на западном склоне Уральского хребта, на востоке Пермского края. Добыча угля велась с 1797 года в основном подземным способом. Разработка месторождений сопровождалась длительным негативным воздействием на окружающую среду.

Ликвидация шахт способом затопления закончилась в начале 2000-х годов и не решила экологических проблем. После восстановления уровня подземных вод кислые шахтные воды стали изливаться на поверхность. Несмотря на то, что объём поступления шахтных вод в реки снизился, по сравнению с периодом работы бассейна они продолжают наносить значительный ущерб окружающей среде.

Для мониторинга экологической ситуации на территории ликвидированного КУБа разработана бассейновая ГИС. Создана база данных, являющаяся её информационной основой. ГИС организована как картографический веб-сервис, для обеспечения доступа к данным об экологической ситуации для всех заинтересованных пользователей, а также для планирования мероприятий по улучшению экологического состояния окружающей среды: выбор наиболее эффективных методов рекультивации и участков для их реализации.

Основными функциональными возможностями данной веб-ГИС являются: визуализация пространственных и статистических данных, включающих многолетние ряды наблюдений за химическим составом и расходами: изливающихся кислых шахтных вод, стоков с отвалов и родников за многолетний период (с 2003 по 2017 годы). Также есть возможность просмотра данных о количестве вышеперечисленных источников загрязнения по речным бассейнам. Доступ к атрибутивной информации включает возможность поиска объектов по значениям атрибутов.

Разработанная веб-ГИС опубликована в открытом доступе и содержит актуальную информацию об экологическом состоянии территории, находящейся под негативным воздействием ликвидированного КУБа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геоинформационные технологии, картографическая база данных, угледобыча, окружающая среда, мониторинг, кислые шахтные воды

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, д. 15, 614990, Пермь, Россия, *e-mail*: pyankovsv@gmail.com

² Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, д. 15, 614990, Пермь, Россия, *e-mail*: berezina.olga16@gmail.com

³ Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, д. 15, 614990, Пермь, Россия, *e-mail*: rinaha-26@mail.ru

⁴ Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, д. 15, 614990, Пермь, Россия, *e-mail*: andrew.tarasov1993@gmail.com

Sergey V. Pyankov¹, Olga A. Berezina², Rinat K. Abdullin³, Andrew V. Tarasov⁴

**GEO-ECOLOGICAL GIS
OF THE ABANDONED KIZEL COAL BASIN:
INFORMATION CONTENT AND FUNCTIONAL OPPORTUNITIES**

ABSTRACT

The Kizel coal basin (KCB) is located on the western slope of the Ural Mountains, in the east of Perm Krai. Coal production has been carried out there since 1796 mainly underground. The field development negatively influenced the environment.

The mines liquidation that finished in the beginning of 2000s did not solve ecological problems. When groundwater level recovered, acid mine waters poured out and their charges. Despite the fact that the volume of mine water flow into the rivers has decreased, in comparison with the period of operation of the basin, they continue to cause significant damage to the environment.

To monitor the ecological situation on the territory of the abandoned KCB, a basin GIS has been developed. Geo-data base has been developed that the GIS is based on. GIS is organized as a cartographic web-service to provide access to environmental data for all interested user and to support the actions to improve the ecological state of the environment: selecting the most effective methods of remediation and sites for their implementation.

The key features of the Web-GIS are the imaging of spatial and statistical data that include long-time observational series of chemical composition and charges of acid mine water pouring out, terrace and stream runoffs for a long time period (2003–2017). To observe data about the quantity of different sources of pollution on river basin basis is also possible with this tool. The access to attributive information includes the opportunity to find objects using attribute values.

The developed web-GIS has public access and contains relevant information about the ecological situation on the territory that has been damaged by the abolished KCB.

KEYWORDS: geoinformation technologies, geo-data base, coal basin, environment, monitoring, acid mine drainage

ВВЕДЕНИЕ

Сложная экологическая ситуация, оказывающая негативное влияние на окружающую среду и здоровье людей, характерна для большинства угледобывающих районов мира, включая Россию, США, Китай и страны Европы. К распространённым экологическим проблемам мест добычи угля относятся следующие: нарушение почвенного покрова, складирование отходов угледобычи в виде породных отвалов, самовозгорание отвалов, загрязнение водных объектов стоками с отвалов и кислыми шахтными водами и др. Перечисленные проблемы относятся и к территории Кизеловского угольного бассейна (КУБ), расположенного на востоке Пермского края. Ликвидация шахт КУБа, закончившаяся в начале 2000-х годов, не смогла решить экологические проблемы [Захаров, Качурин, 2014].

После закрытия шахт произошло восстановление уровня подземных вод, и сформировались изливы кислых шахтных вод, наносящие значительный ущерб окружающей среде. В их химическом составе обнаруживается содержание железа,

¹ Perm State University, Bukireva str., 15, 614990, Perm, Russia, e-mail: pyankovsv@gmail.com

² Perm State University, Bukireva str., 15, 614990, Perm, Russia, e-mail: berezina.olga16@gmail.com

³ Perm State University, Bukireva str., 15, 614990, Perm, Russia, e-mail: rinaha-26@mail.ru

⁴ Perm State University, Bukireva str., 15, 614990, Perm, Russia, e-mail: andrew.tarasov1993@gmail.com

алюминия, марганца, бериллия, превышающее предельно допустимые концентрации (ПДК) в сотни и тысячи раз. При попадании кислых шахтных вод в естественные водотоки происходит увеличение кислотности в них и выпадение техногенного осадка, состоящего в основном из гидроокислов железа и алюминия с высоким содержанием микроэлементов, которые оказывают резко отрицательный эффект на водную экосистему [Burrell, Whitworth, 2000; Bian, Lu, 2013; Brake et al., 2001]. Огромное количество техногенного осадка, накопившегося на дне водотоков, распространяется вниз по течению на многие километры, являясь источником вторичного загрязнения [Duan et al., 2006].

Значительный вклад в ухудшение экологической ситуации вносят породные отвалы. Стоки, образующиеся в результате взаимодействия атмосферных осадков с горными породами отвала, по химическому составу близки к шахтным водам. В их химическом составе встречаются превышения по железу (до 6 000 ПДК), алюминию (до 11 000 ПДК), марганцу (до 880 ПДК), водородный показатель (рН) стабильно менее 3. Наиболее интенсивно стоки с отвалов формируются во время обильных дождей и в период весеннего снеготаяния.

Разнообразие и острота экологических проблем угольных бассейнов обуславливают необходимость применения современных технологий при мониторинге окружающей среды в районах как угледобычи, так и в районах ликвидированных угольных шахт.

Одно из самых перспективных направлений в исследованиях является интеграция космического мониторинга и пространственного анализа в ГИС для создания различных моделей загрязнения и для оценки экологической ситуации [Zhao et al., 2003; Yan et al., 2004; Petty et al., 2010; Singh et al., 1997].

Одним из эффективных способов информационного обеспечения мониторинга экологической ситуации является создание проблемно-ориентированных бассейновых ГИС [Gray, Harding, 2012; Khayrulina et al., 2016; Maximovich, Gorbunova, 1990; Maksimovich et al., 2017]. Преимуществом бассейновых ГИС является использование водосборов рек как операционно-территориальной единицы для оценки состояния экосистемы [Ermolaev et al., 2017].

Для мониторинга и улучшения экологической ситуации и поддержки принятия решений на территории ликвидированного КУБа разработана геоэкологическая веб-ГИС, в основе которой положен бассейновый подход.

Разработанная веб-ГИС направлена на решение следующих задач:

- Инвентаризация источников негативного воздействия, а именно изливов кислых шахтных вод, породных отвалов, выходов загрязнённых подземных вод;
- Выявление закономерностей пространственно-временной динамики объёмов поступления, концентраций загрязняющих веществ, трансформации их в природной среде (разбавления, осаждения). Расчет объёмов загрязнённых донных отложений и их пространственного распределения. Оценка вклада вторичного загрязнения в формирование экологической ситуации в настоящее время и в перспективе;
- Прогноз состояния природных комплексов в пределах Кизеловского угольного бассейна. Выявление участков, подверженных критическому загрязнению, на основе тематического дешифрирования данных космической съёмки;
- Планирование мероприятий по улучшению экологического состояния окружающей среды, в частности выбор наиболее эффективных методов рекультивации и участков для их реализации;
- Организация открытого доступа к информации об экологическом состоянии на территории, подверженной негативному воздействию от ликвидированного угольного бассейна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Информационная основа геоэкологической веб-ГИС Кизеловского угольного бассейна включает в себя слои, необходимые для формирования картографической основы ГИС, а также тематические данные.

Картографическая основа веб-ГИС создана на основе данных топографических карт масштабов 1:1 000 000 и 1:100 000 (Роскартография). В состав картографической основы вошли данные о рельефе (включая цифровые модели рельефа территории, созданные по данным топографических карт), гидрографии, населённых пунктах, дорожной сети и административно-территориальном делении исследуемой территории.

Тематические данные содержат слои и таблицы, которые можно сгруппировать в следующие блоки:

- границы водосборных бассейнов;
- данные об источниках загрязнения поверхностных и подземных вод (изливы кислых шахтных вод, стоки с породных отвалов, загрязнённые родники);
- пункты мониторинга за состоянием поверхностных и подземных вод, а также за состоянием донных отложений;
- участки загрязнённых рек;
- участки аккумуляции загрязняющих веществ, на которых отмечаются нарушения растительного покрова вследствие закисления почвы или повышения концентрации ряда микроэлементов;
- шахтные стволы, шахтные поля и граница КУБа в пределах месторождений каменного угля;
- фотографии источников загрязнения и участков загрязнённых рек и растительности с привязкой к месту съёмки;
- дополнительные данные: наблюдательная сеть Росгидромета (метеостанции и гидрологические посты), особо охраняемые природные территории, векторная карта карста, векторная гидрогеологическая карта.

Слои водосборного деления территории включают в себя границы 233 бассейнов средних и малых рек разного порядка, а также 7 бассейнов крупных рек, выделенных по цифровым моделям рельефа (ЦМР), которые в свою очередь были созданы по данным топографической карты масштаба 1:100 000. В атрибутивной части данных содержится информация о площади водосбора, его средней высоте, разбросе высот, среднем уклоне, густоте речной сети, лесистости, озёрности, заболоченности, закарстованности, преобладающем типе почв и лесной растительности.

Данные об источниках загрязнения поверхностных и подземных вод, а также пунктах мониторинга за их состоянием были получены из отчётов Уральского центра социально-экологического мониторинга углепромышленных территорий за 2006–2017 годы, в которых приведены координаты источников и их другие характеристики. Точечные слои источников загрязнения содержат информацию о более чем 100 отвалах, 17 изливах кислых шахтных вод и 11 родниках. Также для отвалов по космическим снимкам сверхвысокого разрешения подложки ESRI ArcGIS World Imagery создан полигональный векторный слой их контуров, а по ЦМР определено направление кислых стоков с них до ближайшего водотока. Атрибутивная информация об источниках загрязнения и пунктах наблюдения за ними включает в себя многолетние ряды данных наблюдений за расходами изливов кислых шахтных вод и стоков с породных отвалов. Также в атрибутах представлена многолетняя информация о химическом составе вод (концентрациях ряда макрокомпонентов и микроэлементов SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} и др.), водородном показателе (рН), жёсткости и сухом остатке. Для анализа экологического состояния и его изменения во времени в базу данных включена информация о нормировании (химического состава и

других показателей) как источников загрязнения, так и водных объектов [Demchak et al., 2004].

Слой участков загрязнённых рек получен выборкой из векторных данных топографической карты масштаба 1:100 000. В качестве критериев для определения перечня и длин загрязнённых участков рек использовались значения предельно допустимых концентраций (ПДК) для рыбохозяйственных объектов, а также наличие вышеперечисленных источников загрязнения на водосборе. Для загрязнённых рек произведена интегральная оценка степени загрязнения путём расчёта удельного комбинаторного индекса загрязнённости воды (УК ИЗВ) за 2013 год. На основе значения УК ИЗВ поверхностные воды делятся на 5 классов в зависимости от их загрязнённости (табл. 1). Выполнена общая оценка гидроэкологического состояния (риск, кризис, бедствие) рек на основе методики¹ [Ерина и др., 2017].

Идентификация участков аккумуляции загрязняющих веществ, на которых наблюдается деградация растительного покрова, выполнена методами визуального дешифрирования космических снимков высокого разрешения и по данным полевых исследований.

Фотоматериалы получены в рамках полевых исследований и наблюдений за источниками загрязнения и участками загрязнённых рек и растительности.

Более подробно состав и процесс получения исходных данных для информационной основы веб-ГИС описан в статье [Абдуллин и др., 2018].

Все имеющиеся данные для информационного наполнения ГИС КУБа были организованы в виде базы геоданных в системе управления базами данных PostgreSQL, которая имеет механизмы работы с пространственной и с атрибутивной информацией.

Табл. 1. Классификация водных объектов по степени загрязнения
Table 1. Water objects classification on pollution degree basis

Класс	Разряд	Текстовое описание	Общая гидроэкологическая оценка состояния водотоков	Перечень рек в пределах границы исследования	Общая длина участков рек, км
1		Условно чистая	Норма	–	–
2		Слабо загрязнённая	Риск	Чусовая, Косьва, Усьва, Глухая, Половинка	242
3	а	Загрязнённая	Кризис	Яйва, Косьва, Сев. Вильва, Юж. Вильва, Мал. Полуденный Кизел, Сухой Кизел, Ивановка, Опалённая, Вящер, Рудянка	271
	б	Очень загрязнённая			
4	а	грязная			
	б	грязная			
	в	Очень грязная			
	г	Очень грязная			
5		Экстремально грязная			

¹ Руководящий документ 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 49 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С учётом имеющихся данных, а также аппаратных и программных средств была создана геоэкологическая ГИС Кизеловского угольного бассейна и разработаны её функциональные возможности, позволяющие рассматривать веб-ГИС как один из инструментов экологического мониторинга территории. Интерфейс доступа к ГИС организован в виде картографического веб-сервиса, расположенного в сети Интернет по адресу <http://kub.maps.psu.ru>.

Картографический веб-сервис представляет собой клиентское веб-приложение, реализованное с помощью технологий HTML5, CSS3 и JavaScript; для его публикации используется веб-сервер Apache HTTP 2.4. Для публикации векторных пространственных данных на веб-сервер использован программный продукт ArcGIS Server 10.4.1. Основной функционал картографического веб-сервиса реализован при помощи библиотеки ArcGIS API for JavaScript.



Рис. 1. Интерфейс работы с веб-приложением ГИС: 1) панель управления; 2) окно карты
 Fig. 1. GIS-Web application interface: 1) control panel; 2) map window

Основными функциональными возможностями данной веб-ГИС являются:

- визуализация пространственных данных;
- визуализация статистических данных, включающих многолетние ряды наблюдений за химическим составом и расходом изливающихся кислых шахтных вод, стоков с отвалов и родников, данные о количестве различных источников загрязнения по речным бассейнам;
- доступ к атрибутивной информации, включая возможности поиска объектов по значениям атрибутов;
- построение продольных профилей рельефа участков загрязнённых рек и графиков изменения водородного показателя в них;
- инструменты навигации по карте, включая масштабирование изображения, поиск объектов на карте и визуализацию его результатов, картометрические средства (расчёт расстояний и площадей, а также получение координат точек).

Окно работы с веб-приложением ГИС КУБа состоит из таких элементов, как панель управления и окно карты (рис. 1). Большая часть перечисленных функциональных возможностей веб-ГИС представлены в панели управления в виде соответствующих кнопок.

По умолчанию в рабочем окне карты ГИС КУБа отображается картографическая основа OpenStreetMap, поверх которой отображаются тематические данные, представленные в ГИС. Выбор тематических слоёв для отображения на карте и просмотр условных обозначений осуществляется в панели управления. Также помимо картографической основы OpenStreetMap в панели управления представлена возможность выбора других базовых карт, среди которых карта Росреестра, карта ArcGIS World Topo Map и мозаика космических снимков ArcGIS Imagery. Также на территорию исследования Кизеловского угольного бассейна имеется возможность подключения базовой карты, которая создана из векторных данных топографических карт масштабов 1:1 000 000 и 1:100 000. Данные базовой карты трансформированы в проекцию UTM на эллипсоиде WGS 1984, что обеспечивает их корректное совмещение с данными OpenStreetMap и другими картографическими основами.

Для просмотра подробной атрибутивной информации объектов тематических слоёв, отображаемых на карте, имеется функция их идентификации. При идентификации некоторых объектов появляется возможность просмотра дополнительной информации. Так, для речных бассейнов в виде круговой диаграммы отображается количество попадающих в их пределы источников загрязнения и их тип. Для источников загрязнения (изливов кислых шахтных вод, отвалов, родников), а также для пунктов наблюдения за поверхностными и подземными водами, есть возможность визуализировать в виде столбчатых диаграмм многолетние данные (с 2007 по 2017 годы) о химическом составе вод, расходе (для изливов) и глубине их залегания (для пунктов наблюдения за подземными водами). Пример отображения данных о концентрации железа (Fe^{2+}) в кислых водах излива из вспомогательного ствола шахты имени Ленина представлен на рис. 2. Также по каждому показателю химического состава воды представлено значение ПДК. Таким образом, данные по концентрациям показателей можно отображать как в абсолютных величинах, так и в долях ПДК. При идентификации пунктов наблюдения за поверхностными водами, расположенных на водотоках, представлена возможность просмотра списка всех источников загрязнения, которые находятся на водосборе, замкнутом на данный пункт наблюдения, и приносят загрязнённые воды в водоток. При этом местоположение каждого источника загрязнения из полученного списка можно просмотреть на карте.

В качестве дополнительной функции, разработанной веб-ГИС, добавлена возможность поиска объектов на карте по атрибутивным данным. Поиск осуществляется по названиям, словам или их отрывкам. В результатах выводится информация о слое и поле таблицы атрибутов, в котором встретилась искомое название или комбинация букв, или цифр, а также становится возможным приближение на карте к каждому найденному объекту.

Кроме отображения тематических слоёв, на карте также можно отображать фотографии, сделанные на территории Кизеловского угольного бассейна в ходе проведения полевых исследований за разные годы. На фотографиях представлены непосредственно источники загрязнения, а также негативные последствия воздействия этих источников на природную среду (например, изменение цвета воды в водотоках и водоёмах, угнетение растительности и другие). При включении отображения фотографий на карте появляются круглые значки (кластеры) с изображением фотоаппарата внутри в тех местах, где есть фотографии объектов. Размер значка зависит от количества фотографий в данном месте (рис. 3). При изменении масштаба карты изменяются количество и размеры кластеров.

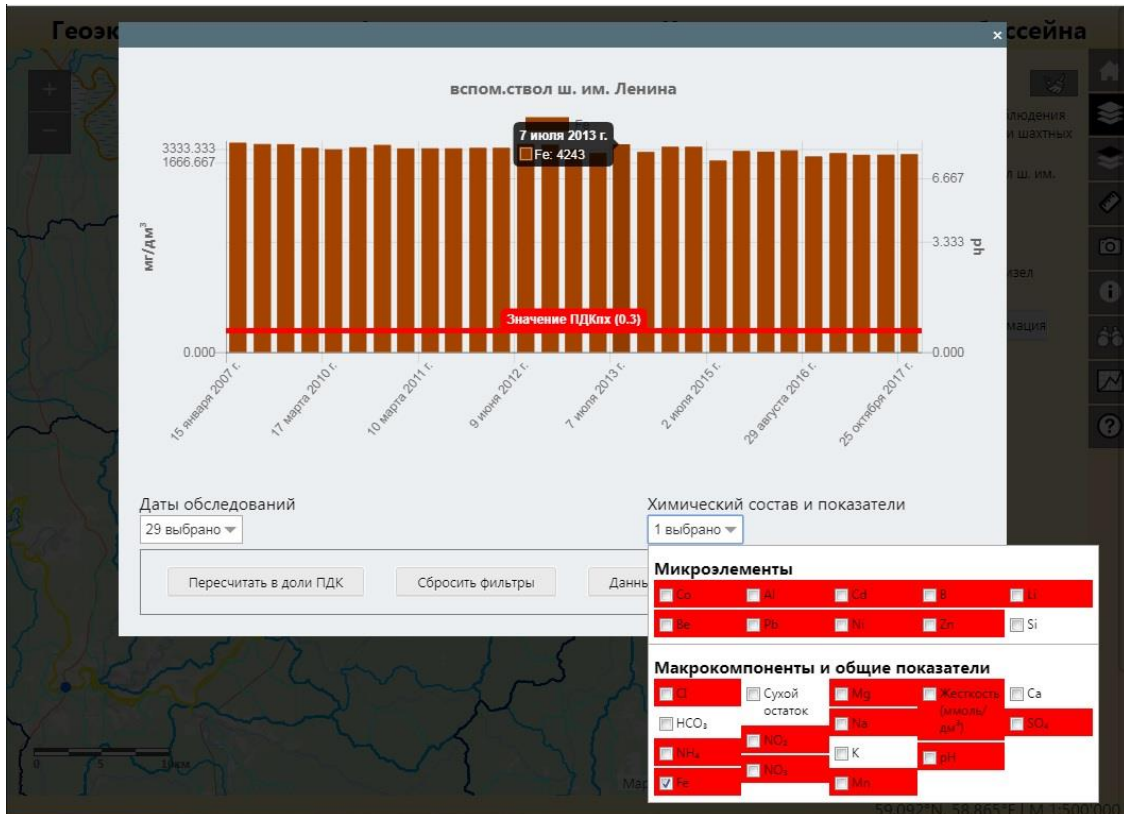


Рис. 2. Отображение информации о химическом составе вод из источников загрязнения
 Fig. 2. Display information on the chemical composition of water from pollution sources

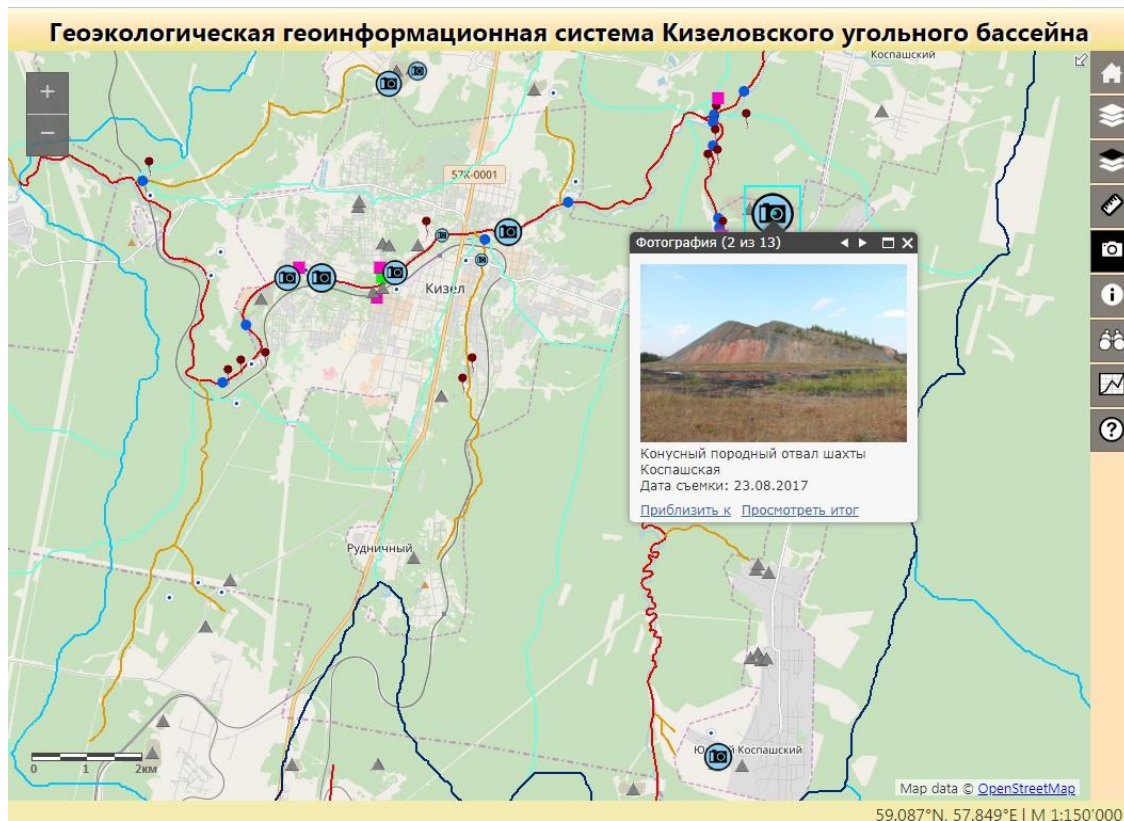


Рис. 3. Отображение фотографий на карте
 Fig. 3. Display photos on the map

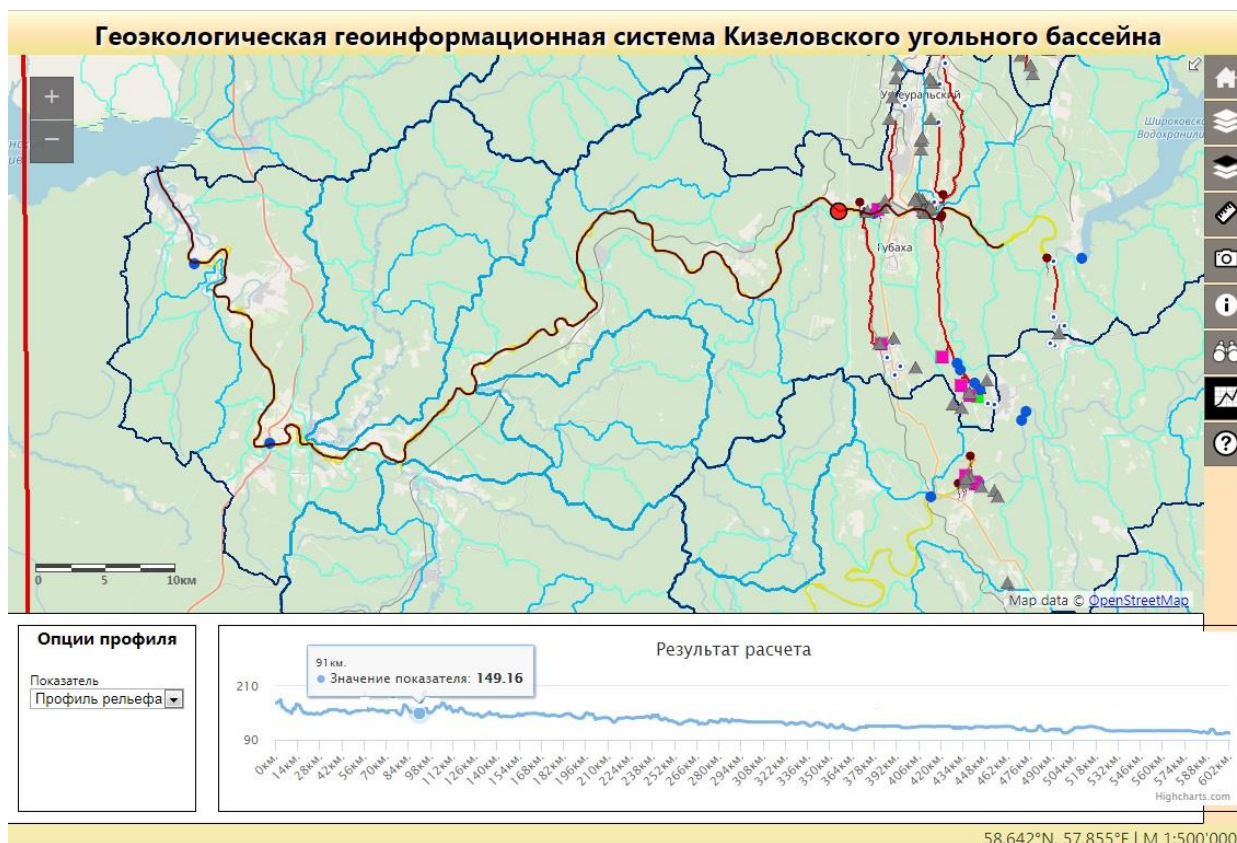


Рис. 4. Отображение продольного профиля реки на карте
 Fig. 4. Display of the longitudinal profile of the river on the map

Ещё одной функцией, разработанной веб-ГИС, является построение профилей загрязнённых рек (рис. 4). В качестве величин для профиля используются высота местности и изменение водородного показателя по длине реки. Данная функция необходима для наглядного представления процесса распространения загрязнения в речных системах.

Помимо перечисленных функций для удобства работы пользователей с ГИС КУБ также были добавлены инструменты измерения длин и площадей объектов и получения координат их точек, инструменты навигации по карте, включающие кнопки изменения масштаба и кнопку домашнего экстенда. В качестве домашнего экстенда используется прямоугольная область, ограниченная территорией исследования негативного влияния Кизеловского угольного бассейна. Также создано руководство пользователя, доступное из панели управления веб-приложения.

ВЫВОДЫ

Разработанная веб-ГИС опубликована в открытом доступе и содержит максимально актуальную и объективную информацию об экологическом состоянии территории, находящейся под негативным воздействием ликвидированного КУБа. Данные многолетнего мониторинга экологической ситуации на территории КУБа ранее были доступны только в ведомственных отчётах, поэтому сама по себе их публикация в открытом доступе на картографической основе является важнейшим результатом создания ГИС.

В перспективе разработанная ГИС должна не только интегрировать ранее полученные данные мониторинга, но и стать элементом самой системы мониторинга. В частности, должна быть реализована возможность максимально оперативной публикации данных измерений, а также оценки эффективности природоохранных мероприятий.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 17-05-41114 РГО_a и № 17-45-590793 р_a.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the RFBR, projects No 17-05-41114 RGO_a and No 17-45-590793 r_a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абдуллин Р.К., Березина О.А., Максимович Н.Г.* Создание базы геоданных для оценки состояния окружающей среды ликвидированного Кизеловского угольного бассейна. Известия ТулГУ. Науки о Земле, 2018. № 3. С. 3–17.
2. *Захаров Е.И., Качурин Н.М.* Уголь и его роль в развитии регионов России. Известия ТулГУ. Науки о земле, 2014. № 1. С. 9–16.
3. *Ерина О.Н., Ефимова Л.Е., Заславская М.Б.* Использование параметризации характеристик качества воды для диагностики возникновения изменений экологического состояния рек. Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: экологические вызовы XXI века: труды III Междунар. конференции. Казань: Издательство АН РТ, 2017. С. 33–36.
4. *Bian Z., Lu Q.* Ecological effects analysis of land use change in coal mining area based on ecosystem service valuing: A case study in Jiawang. Environmental Earth Sciences, 2013. V. 8. P. 1619–1630.
5. *Brake S.S., Connors K.A., Romberger S.B.* A river runs through it: impact of acid mine drainage on the geochemistry of West Little Sugar Creek pre- and post-reclamation at the Green Valley coal mine, Indiana, USA. Environmental Geology, 2001. V. 40. P. 1471–1481.
6. *Burrell R., Whitworth K.* The influence of minewater recovery on surface on gas and water discharges in the Yorkshire Coalfield. Mine water and the Environment: proceedings of 7-th international mine water association congress. Katowice–Ustron, Poland, 2000. P. 81–90.
7. *Demchak J., Skosen J., McDonald L.* Distribution and behavior of heavy metals in a river polluted by acid mine drainage in the Dabaoshan mine area, China. J Environ. Qual., 2004. № 33(2). P. 656–668.
8. *Duan X., Dang Z., Zhou J., Yi X.* Distribution and behavior of heavy metals in a river polluted by acid mine drainage in the Dabaoshan mine area, China. Geochem, 2006. № 25 (Suppl 1). P. 34–35. DOI: 10.1007/BF02839799.
9. *Ermolaev O.P., Maltsev K.A., Mukharamova S.S., Kharchenko S.V., Vedeneeva E.A.* Cartographic model of river basins of European Russia. Geography and Natural Resources, 2017. V. 38 (2). P. 131–138.
10. *Gray D.P., Harding, J.S.* Acid Mine Drainage Index (AMDI): a benthic invertebrate biotic index for assessing coal mining impacts in New Zealand streams. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 2012. № 46. P. 335–352.
11. *Khayrulina E.A., Khmurchik V.T., Maksimovich N.G.* The Kizel Coal Basin (the Western Urals, Russia): Environmental problems and Solutions. Mining Meets Water – Conflicts and Solutions. Proceedings IMWA2016 Annual Conference, Leipzig, Germany. Leipzig, 2016. P. 761–767.
12. *Maksimovich N.G., Gorbunova K.A.* Geochemical aspects of the geological medium changes in coal fields. Proceeding of 6 Int. Congress Int. Ass. of Engineering Geology. Rotterdam: A.A. Balkema, 1990. P. 1457–1461.
13. *Maksimovich N.G., Pyankov S.V., Khayrulina E.A.* Environmental assessment of closeded coal mine territory using GIS analysis. Mine Water and Circular Economy, IMWA (Lappeenranta, Finland), 2017. P. 212–217.

14. Petty J.T., Fulton J.B., Strager M.P., Merovich G.T., Stiles J.M., Ziemkiewicz P.F. Landscape indicators and thresholds of stream ecological impairment in an intensively mined Appalachian watershed. *Journal of the North American Benthological Society*, 2010. № 29. P. 1292–1309.
15. Singh N.P., Mukherjee T.K., Shrivastava B.B.P. Monitoring the impact of coal mining and thermal power industry on land use pattern in and around Singrauli Coalfield using Remote Sensing data and GIS. *Journal Ind. Soc. Remote Sensing*, 1997. V. 25. № 61. DOI: 10.1007/BF02995419.
16. Yan C., Liu R., Liu S., Wu L., Liu S. Study of remote sensing index indicators about the mine environment evaluation. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2004. V. 1. P. 579–581.
17. Zhao X., Liu S., Wang P., Li Q., Liu X., Qu Y. A Study on the Remote Sensing Information Model about the Water Pollution Caused by Mine Tailings. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2003. V. 4. P. 2483–2487.

REFERENCES

1. Abdullin R.K., Berezina O.A., Maksimovich N.G. Development of a geodata base to assess the environmental condition of the abandoned Kizel coal basin. *News of TULSU. Earth Sciences*, 2018. No 3. P. 3–17 (in Russian).
2. Bian Z., Lu Q. Ecological effects analysis of land use change in coal mining area based on ecosystem service valuing: A case study in Jiawang. *Environmental Earth Sciences*, 2013. V. 8. P. 1619–1630.
3. Brake S.S., Connors K.A., Romberger S.B. A river runs through it: impact of acid mine drainage on the geochemistry of West Little Sugar Creek pre- and post-reclamation at the Green Valley coal mine, Indiana, USA. *Environmental Geology*, 2001. V. 40. P. 1471–1481.
4. Burrell R., Whitworth K. The influence of minewater recovery on surface on gas and water discharges in the Yorkshire Coalfield. *Mine water and the Environment: proceedings of 7-th international mine water association congress, Katowice–Ustron, Poland, 2000*. P. 81–90.
5. Demchak J., Skosen J., McDonald L. Distribution and behavior of heavy metals in a river polluted by acid mine drainage in the Dabaoshan mine area, China. *J Enviorn. Qual.*, 2004. No 33 (2). P. 656–668.
6. Duan X., Dang Z., Zhou J., Yi X. Distribution and behavior of heavy metals in a river polluted by acid mine drainage in the Dabaoshan mine area, China. *Geochem*, 2006. No 25 (Suppl 1). P. 34–35. DOI: 10.1007/BF02839799.
7. Erina O.N., Efimova L.E., Zaslavskaya M.B. The use of parameterization of water quality characteristics to diagnose the emergence of changes in the ecological state of rivers. *Environment and sustainable development of regions: environmental challenges of the XXI century: Proceedings of the III International Conference*. Kazan: AS RT, 2017. P. 33–36 (in Russian).
8. Ermolaev O.P., Maltsev K.A., Mukharamova S.S., Kharchenko S.V., Vedeneeva E.A. Cartographic model of river basins of European Russia. *Geography and Natural Resources*, 2017. V. 38. No 2. P. 131–138.
9. Gray D.P., Harding J.S. Acid Mine Drainage Index (AMDI): a benthic invertebrate biotic index for assessing coal mining impacts in New Zealand streams. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2012. No 46. P. 335–352.
10. Khayrulina E.A., Khmurchik V.T., Maksimovich N.G. The Kizel Coal Basin (the Western Urals, Russia): Environmental problems and Solutions. *Mining Meets Water – Conflicts and Solutions. Proceedings IMWA2016 Annual Conference, Leipzig, Germany. Leipzig, 2016*. P. 761–767.
11. Maksimovich N.G., Gorbunova K.A. Geochemical aspects of the geological medium changes in coal fields. *Proceeding 6 Intern. Congress Int. Ass. of Engineering Geology*. Rotterdam: A.A. Balkema, 1990. P. 1457–1461.

12. *Maksimovich N.G., Pyankov S.V., Khayrulina E.A.* Environmental assessment of closeded coal mine territory using GIS analysis. *Mine Water and Circular Economy*, 2017. IMWA (Lappeenranta, Finland). P. 212–217.
 13. *Petty J.T., Fulton J.B., Strager M.P., Merovich G.T., Stiles J.M., Ziemkiewicz P.F.* Landscape indicators and thresholds of stream ecological impairment in an intensively mined Appalachian watershed. *Journal of the North American Benthological Society*, 2010. No 29. P. 1292–1309.
 14. *Singh N.P., Mukherjee T.K., Shrivastava B.B.P.* Monitoring the impact of coal mining and thermal power industry on landuse pattern in and around Singrauli Coalfield using Remote Sensing data and GIS. *Journal Ind. Soc. Remote Sensing*, 1997. V. 25. No 61. DOI: 10.1007/BF02995419.
 15. *Yan C., Liu R., Liu S., Wu L., Liu S.* Study of remote sensing index indicators about the mine environment evaluation. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2004. V. 1. P. 579–581.
 16. *Zaharov E.I., Kachurin N.M.* Coal and its role in the development of Russian regions. *News of TulsU. Earth Sciences*, 2014. No 1. P. 9–16 (in Russian).
 17. *Zhao X., Liu S., Wang P., Li Q., Liu X., Qu Y.* A Study on the Remote Sensing Information Model about the Water Pollution Caused by Mine Tailings. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2003. V. 4. P. 2483–2487.
-