

Министерство образования и науки Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»**

**16+
ISSN 2218-5194**

**ИЗВЕСТИЯ
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Выпуск 3

**Тула
Издательство ТулГУ
2018**

ЭКОЛОГИЯ

УДК528.94

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ГЕОДАНЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЛИКВИДИРОВАННОГО КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Р.К. Абдуллин, О.А. Березина, Н.Г. Максимович

Важным инструментом оценки состояния окружающей среды и поддержки принятия решений в угледобывающих районах с высокой техногенной нагрузкой за рубежом. Созданная база геоданных для ликвидированного в начале этого века Кизеловского угольного бассейна (Пермский край) является информационной основой для решения ряда пространственных задач, включая организацию мониторинга, оценку и прогнозирование негативных последствий техногенного воздействия, разработку новых подходов к объективному анализу экологического ущерба, пространственный анализ и оценку степени опасности загрязнения природных компонентов, научно обоснованное и планирование рекультивационных мероприятий и других прикладных задач.

Ключевые слова: картографическая база данных, геоинформационные технологии, угледобыча, окружающая среда.

Россия является одним из мировых лидеров по производству угля [1]. Разнообразие геохимических особенностей угленосной толщи, природно-климатических, гидрогеологических условий, способов добычи угля и многовековая эксплуатация угольных месторождений формируют сложную структуру воздействия на окружающую среду. Экологическая ситуация на территории Кизеловского угольного бассейна (КУБа), расположенного на востоке Пермского края, характерна для многих районов угледобычи, как на территории РФ, так и в США, Китае, странах Центральной Европы [2 - 6].

Зарождение угольной промышленности на Урале относится к концу XVIII в. Во время строительства плотины для Кизеловского металлургического завода в 1783 г. были обнаружены два мощных пласта каменного уг-

ля, а тремя годами позднее были открыты новые угольные месторождения. Добыча угля в бассейне велась подземным способом и осложнялась из-за сильной обводненности закарстованных известняков надугольной толщи [7, 8]. Наблюдались значительные водопритоки в шахты 1000 – 2500 м³/ч и более. В горных выработках природные воды взаимодействовали с богатыми сульфидной серой горными породами и преобразовывались в кислые ($pH = 2 \dots 3$) сульфатные железо-алюминиевые натриево-кальциевые воды. В ходе эксплуатации минерализация могла возрастать до 35 г/л, также наблюдалось высокое содержание железа, алюминия, марганца, бериллия, никеля и др.

Ликвидация шахт, закончившаяся в начале 2000-х, не решила экологических проблем [9]. После восстановления уровня подземных вод сформировались изливы кислых шахтных вод дебиты, которых значительно меньше, чем во время работы бассейна, тем не менее, наносящие значительный ущерб окружающей среде. В их химическом составе также обнаруживается содержание железа, алюминия, марганца бериллия, в сотни и тысячи раз превышающее ПДК_{хп} при $pH = 2 \dots 3$. По данным некоторых авторов, изливы могут существовать более 100 лет (как это наблюдается на некоторых, давно закрытых, шахтах КУБа), а их химический состав может представлять угрозу для окружающей среды [10, 11].

При попадании кислых шахтных вод в естественные водотоки происходит увеличение pH и выпадение техногенного осадка, состоящего в основном из гидроокислов железа и алюминия с высоким содержанием микроэлементов, который оказывает резко отрицательный эффект на водную экосистему [12 - 16]. Огромное количество техногенного осадка, накопившегося на дне водотоков и водоемов, распространяясь вниз по течению на многие километры, является источником вторичного загрязнения [17].

Вклад в ухудшение экологической ситуации вносят породные отвалы, объем только учтённых составляет более 21000 тыс.м³. Стоки, образующиеся в результате взаимодействия атмосферных осадков с горными породами отвала, по химическому составу близки к шахтным водам, встречаются превышения по железу до 6000 ПДК_{хп}, по алюминию до 11000 ПДК_{хп}, по марганцу до 880 ПДК_{хп}, показатель pH стабильно менее 3. Наиболее интенсивно они формируются во время обильных дождей или весеннего снеготаяния.

Вследствие этого ситуация, сложившаяся на территории КУБа, близка к критической и требует комплексного подхода к поиску методов и путей её решения. Одним из наиболее эффективных способов информационного обеспечения является создание проблемно-ориентированных бассейновых ГИС и методов комплексирования пространственной информации на основе математико-картографического моделирования [18]. За рубежом создание бассейновых ГИС является одним из основных инстру-

ментов для планирования природоохранных мероприятий [19 - 23]. При этом преимуществами бассейновых ГИС является использование водосбора реки как интегрального показателя состояния экосистемы в целом.

Для улучшения экологической ситуации и поддержки принятия решений на территории ликвидированного КУБа разработана бассейновая ГИС, которая направлена на решение следующих задач.

- Инвентаризация источников негативного воздействия, включая изливы шахтных вод, породные отвалы, выходы загрязненных подземных вод.

- Выявление закономерностей пространственно-временной динамики объемов поступления, концентраций загрязняющих веществ, трансформации их в природной среде (разбавления, осаждения). Расчет объемов загрязненных донных отложений и их пространственного распределения. Оценка вклада вторичного загрязнения в формирование экологической ситуации в настоящее время и в перспективе.

- Интегральная количественная оценка и картографирование экологического состояния территории на основе разработанных критериев комплексной оценки районов с критической техногенной нагрузкой.

- Прогноз состояния природных комплексов в пределах Кизеловского угольного бассейна. Выявление участков, подверженных критическому загрязнению, на основе тематического дешифрирования данных космической съемки.

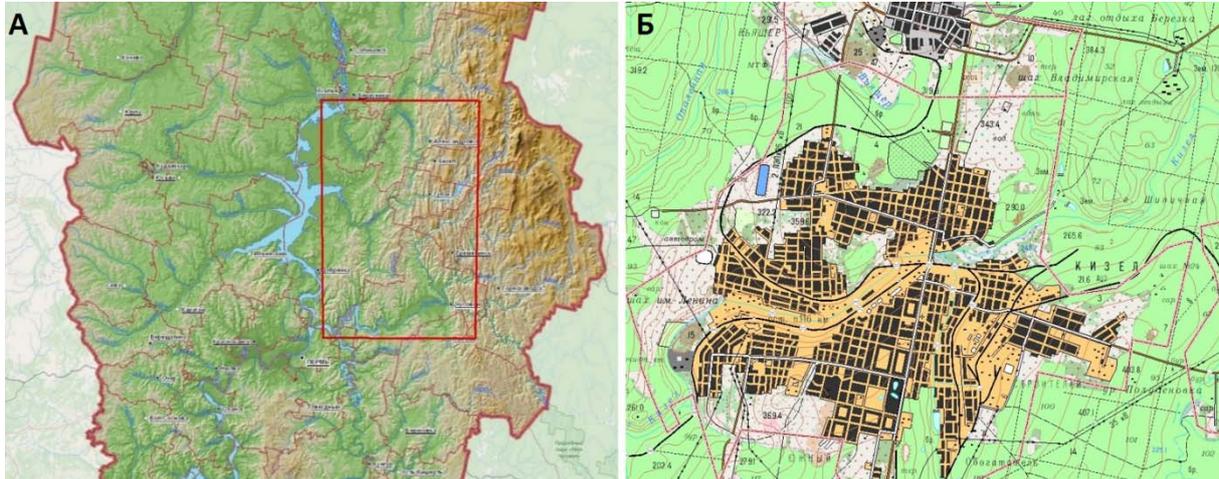
- Планирование мероприятий по улучшению экологического состояния окружающей среды, в частности выбор наиболее эффективных методов рекультивации и участков для их реализации.

Для бассейновой веб-ГИС КУБа была создана база геоданных, которая является ее информационной основой. Она включает в себя слои для формирования базовой картографической основы веб-ГИС, а также слои и таблицы по тематике проекта. База геоданных реализована в реляционной СУБД PostgreSQL, имеющей возможности для работы с пространственной информацией.

Создание базовой карты для картографического веб-сервиса. Для построения базовой карты использованы данные топографических карт масштабов 1:1 000 000 и 1:100 000 – источник Роскартография. В качестве векторной базовой информации выступают данные о рельефе, гидрографии, населенных пунктах и административно-территориальном делении региона, дорожной сети. На основе векторных данных о рельефе получена и включена в состав базовой карты цифровая модель рельефа (ЦМР) территории Пермского края разрешением 100 м и светотеневая отмывка, служащая для объемного отображения ЦМР.

Базовая карта построена на основе технологий мультимасштабного картографирования, т.е. для карты установлен масштабный ряд и при каждом из масштабов предусмотрен свой уровень генерализации данных.

Масштабный ряд базовой карты включает в себя следующие масштабы: 1:10 000 000, 1:5 000 000, 1:2 500 000, 1:1 000 000, 1:500 000, 1:300 000, 1:150 000, 1:80 000, 1:40 000. Для более быстрого отображения в интерфейсе веб-ГИС базовая карта при загрузке на ГИС-сервер была предварительно кэширована. Общий вид базовой карты при разных масштабах представлен на рис. 1.



**Рис. 1. Фрагменты базовой карты при масштабах:
А -1:2'500'000; Б -1:80'000**

Набор тематических данных включает в себя слои и таблицы, сгруппированные в следующие структурные блоки:

- цифровые модели рельефа (ЦМР);
- бассейновая модель исследуемой территории (границы водосборных бассейнов);
- данные об источниках загрязнения поверхностных и подземных вод (изливы кислых шахтных вод, стоки с породных отвалов, загрязненные родники);
- пункты мониторинга за состоянием поверхностных и подземных вод, а также за состоянием донных отложений;
- участки загрязненных рек;
- участки аккумуляции загрязняющих веществ, на которых отмечаются нарушения растительного покрова вследствие закисления почвы или повышения концентрации ряда микроэлементов.

На территории исследования создано несколько цифровых моделей рельефа разного пространственного разрешения. По векторным данным топографической карты масштаба 1:100'000 построена ЦМР с пространственным разрешением 20 м на всю исследуемую территорию. Для ее создания использовался инструмент «Топо в растр» программного продукта ArcGIS 10.x. Данный инструмент позволяет получать с гидрологической точки зрения корректные ЦМР, которые можно использовать в дальней-

шем для автоматизированного построения речной сети и выделения водосборных областей. Для участков территорий ряда отвалов и загрязненных водотоков созданы детальные ЦМР с размером ячейки 5 м по картам масштаба 1:25'000 и 1:10'000. Пример такой ЦМР представлен на рис. 2.

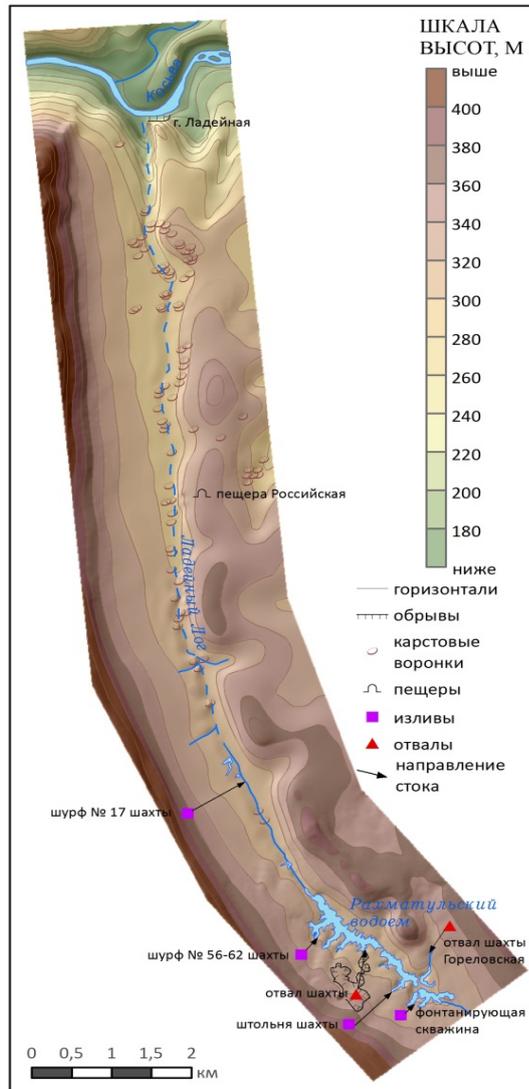


Рис. 2. Цифровая модель рельефа с пространственным разрешением 5 м на территорию карстового суходола Лодейный Лог

Создание бассейновой модели территории исследования. В основу создаваемой ГИС Кизеловского угольного бассейна положен бассейновый подход для оценки состояния окружающей среды. В связи с этим возникла необходимость создания бассейновой модели территории КУБа, включающей в себя водосборы рек разного порядка. Для автоматизированного выделения речных бассейнов использовался набор инструментов «Гидрология» модуля SpatialAnalyst программного комплекса ArcGIS 10.x., а также цифровые модели рельефа (ЦМР). Таким образом, по ЦМР с размером ячейки 20 м, созданной из данных топографических карт масштаба

1:100'000, были получены границы водосборных областей средних и малых рек разного порядка (с 3-го по 5-й). Бассейны крупных рек, протекающих в пределах изучаемой территории, выделены по ЦМР SRTM-90 с пространственным разрешением 90 м. Всего было выделено 233 водосбора средних и малых рек, а также 7 бассейнов крупных рек (Чусовой, Яйвы, Косьвы, Усьвы, Вижая, Северной и Южной Вильвы).

На следующем этапе с применением оверлейных операций и расчета зональной статистики были получены основные характеристики водосборных областей. По ЦМР рассчитаны средняя высота, разброс высот, средний уклон; по топографической карте масштаба 1:100'000 – густота речной сети, лесистость, озерность, заболоченность, площадь водосбора. По векторной карте карстовых явлений определена закарстованность; по векторной почвенной карте [24] – преобладающий тип почв и преобладающая почвообразующая порода; по растровой карте растительности [25] – преобладающий тип лесов. Фрагмент созданной бассейновой модели территории представлен на рис. 3.

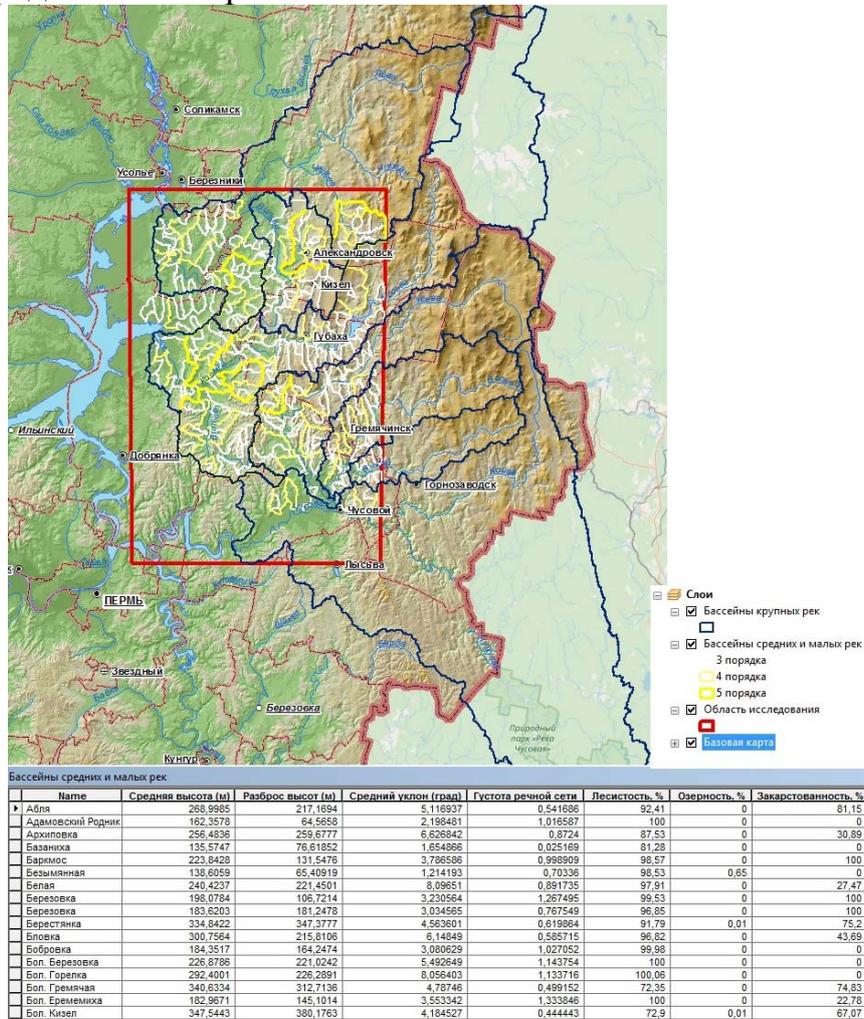


Рис. 3. Модель водосборного деления территории исследования

Данные об источниках загрязнения поверхностных и подземных вод. Данные были получены из отчетов «Уральского центра социально-экологического мониторинга углепромышленных территорий» за 2006 – 2013 годы, в которых были приведены координаты источников и их другие описания. Среди источников загрязнения были выделены разливы кислых шахтных вод, стоки с породных отвалов, и загрязненные родники. Указанные объекты наносились на карту в виде точек. Всего нанесено более 100 отвалов, 16 разливов шахтных вод и 11 загрязненных родников. Отдельно для точек отвалов был создан слой направления загрязненных стоков с них в ближайший водоток. Направление определялось по ЦМР при помощи инструмента «направление стока» программного обеспечения ArcGIS 10.x.

Также для отвалов помимо точечных объектов был создан слой с полигональными объектами, который планируется отображать в ГИС вместо точечного слоя при увеличении карты. Контуры отвалов создавались по космическим снимкам сверхвысокого разрешения с базовой подложки ESRI ArcGIS World Imagery. Пример оконтуренного отвала шахты Усьва-3 приведен на рис. 4.

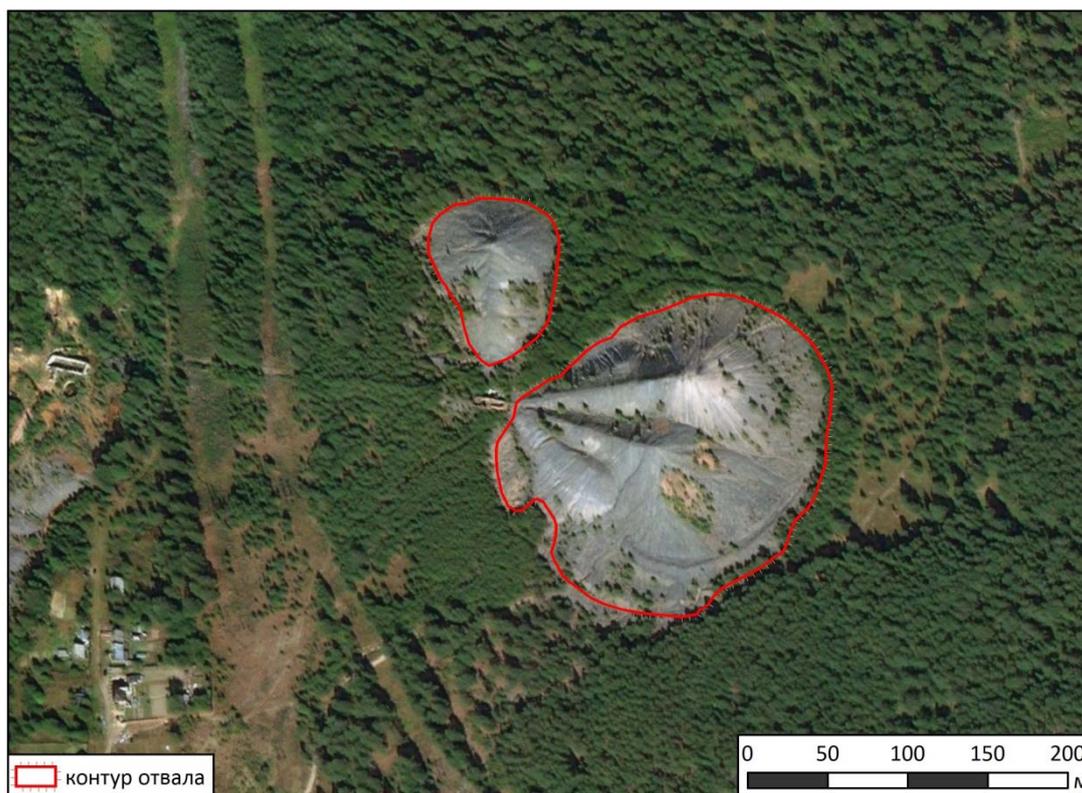


Рис. 4. Пример выделения контура отвала шахты Усьва-3

Атрибутивная информация об источниках загрязнения включает многолетние ряды наблюдений за расходами разливов кислых шахтных вод, стоков с породных отвалов и их химическом составе (концентрациях мак-

рокомпонентов и микроэлементов: SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} и др.), водородном показателе (pH), о жесткости воды, сухом остатке.

В базу данных включена информация о нормировании (химического состава и других показателей) как источников загрязнения, так и водных объектов для анализа экологического состояния и его изменения во времени [26].

На рис. 5 представлены источники загрязнения, расположенные в пределах бассейна р. Бол. Кизел (бассейн р. Яйва).

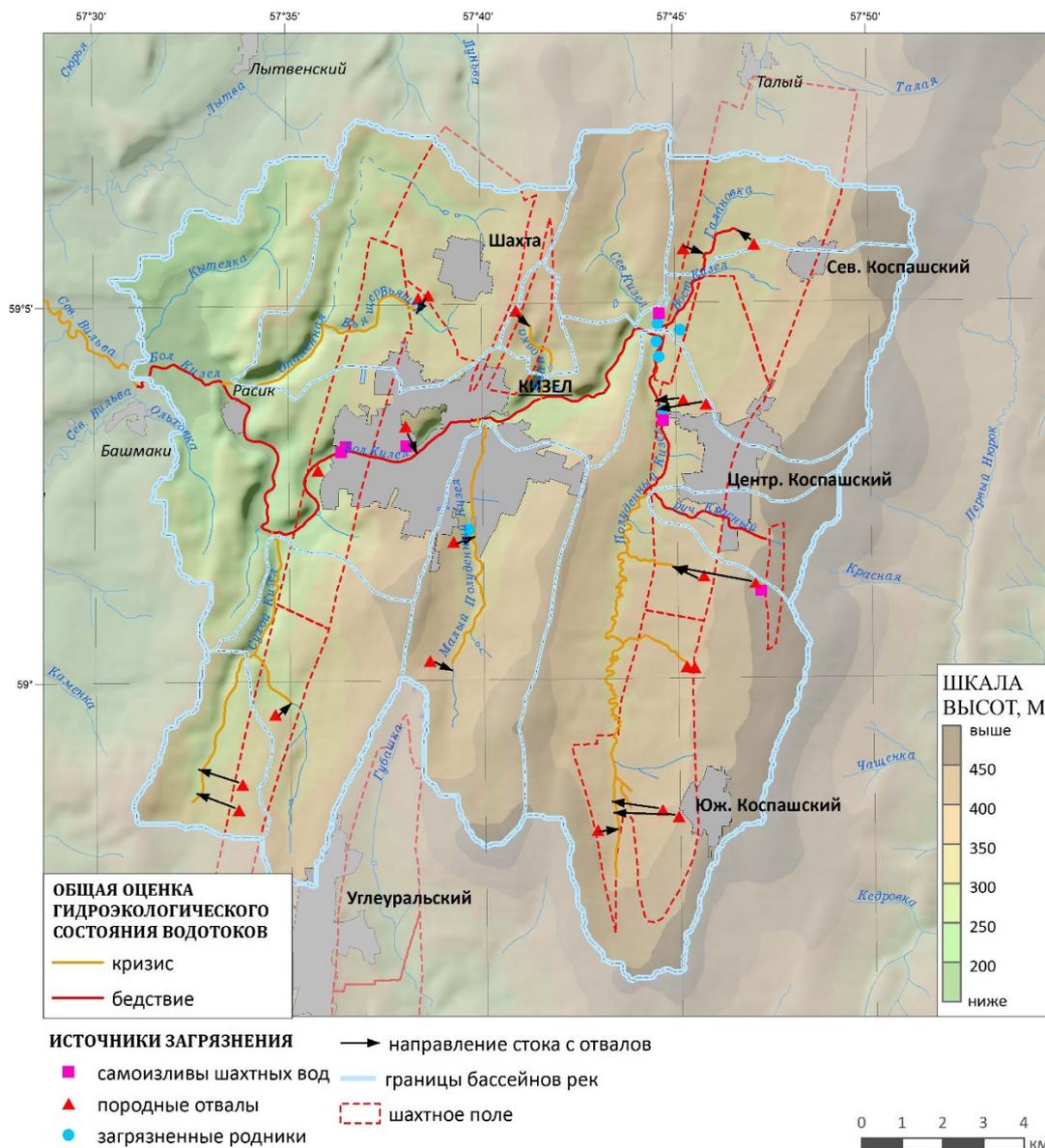


Рис. 5. Источники загрязнения поверхностных вод в бассейне р. Большой Кизел

Создан слой, который содержит информацию о пунктах мониторинга состояния поверхностных и подземных вод, донных отложений.

Оценка степени загрязнения водотоков. Создание данных о загрязненных участках рек выполнялось их выборкой из векторных данных топографической карты масштаба 1:100'000. В качестве критериев для определения загрязнения рек использовались значения ПДК_{рх}, а также наличие источников загрязнения на водосборе. Примеры участков загрязненных рек приведены на рис. 6.

Для интегральной оценки степени загрязнения был рассчитан удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УК ИЗВ) за 2013 г. На основе этого значения поверхностные воды делятся на 5 классов в зависимости от их загрязненности (таблица). Выполнена общая оценка гидроэкологического состояния(риск, кризис, бедствие) рек на основе методики [27, 28]. Определены перечень и суммарная длина загрязненных рек.

Классификация водных объектов по степени загрязнения

Класс	Разряд	Текстовое описание	Общая гидроэкологическая оценка состояния водотоков	Перечень рек	Общая длина участков рек, км
1		Условно чистая	Норма	-	-
2		Слабо загрязнённая	Риск	Чусовая, Косьва, Усьва, Глухая, Половинка	242
3	А	Загрязненная	Кризис	Яйва, Косьва, Сев. Вильва, Юж. Вильва, Полуденный Кизел, Мал. Полуденный Кизел, Сухой Кизел, Ивановка, Опаленная, Вящер, Каменка, Рудянка	271
	Б	Очень загрязненная			
4	А	Грязная			
	Б	Грязная			
	В	Очень грязная			
	Г	Очень грязная			
5		Экстремально грязная			

Получение участков аккумуляции загрязняющих веществ, на которых наблюдается деградация растительного покрова, выполнялось методами визуального дешифрирования данных космической съемки высокого разрешения и полевыми исследованиями. Были также использованы слои с

загрязненными водотоками и источниками загрязнений, вдоль которых проводилась визуальная оценка состояния растительного покрова. Всего было выделено 17 участков общей площадью около 20 га. Пример выделенного участка с угнетенной растительностью приведен на рис. 6.

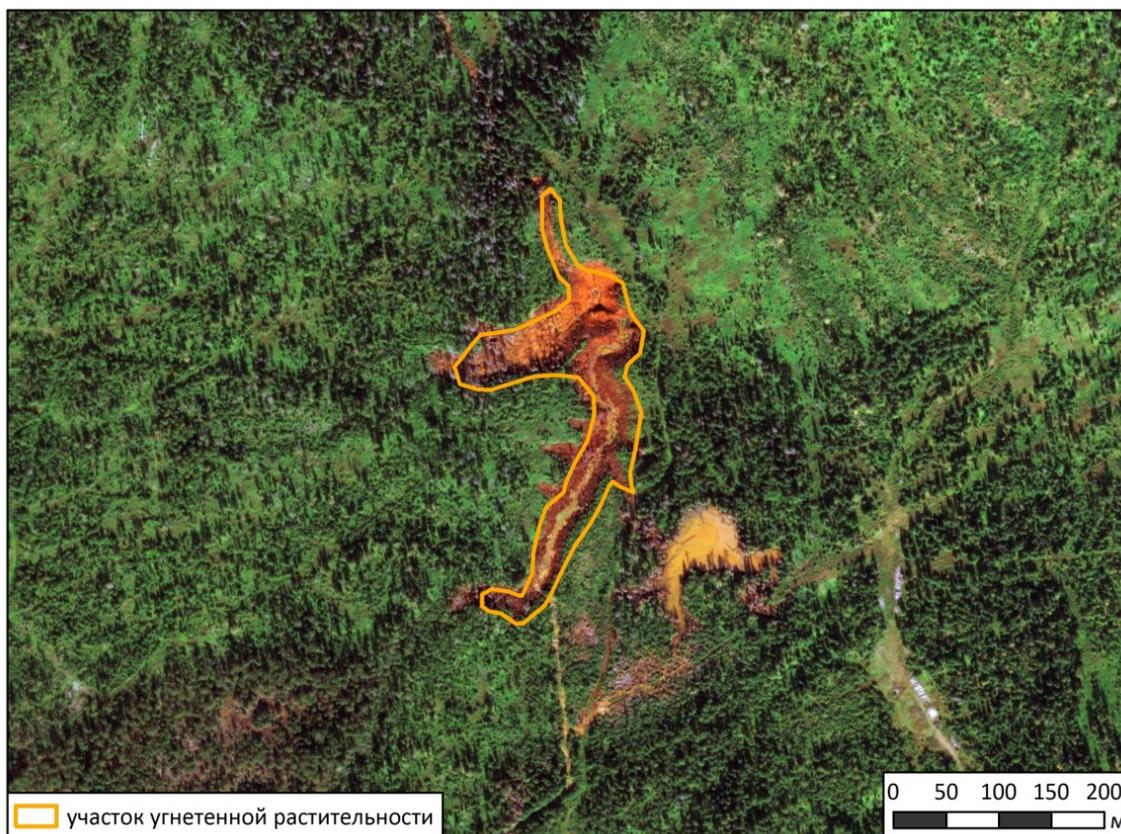


Рис. 6. Участок с угнетенной растительностью в бассейне р. Косьвы

Дополнительно в базу геоданных ГИС КУБа включены следующие тематические слои: точечный слой шахтных стволов, шахтные поля, граница Кизеловского угольного бассейна в пределах месторождений каменного угля, особо охраняемые природные территории (точечные и полигональные объекты), векторная карта карста, векторная гидрогеологическая карта и векторная карта четвертичных отложений.

В условиях достаточно большой территории и редкой сети пунктов мониторинга разрабатываемая БД позволит оценить масштабы негативного воздействия ликвидированного КУБа.

База данных по мере поступления информации будет обновляться и дополняться, что позволит бассейновой ГИС КУБ служить основой для принятия решений улучшения экологической ситуации территории подверженных техногенному воздействию.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 17-05-1114 РГО_а и № 17-45-590793 р а.

Список литературы

1. Захаров Е.И., Качурин Н.М. Уголь и его роль в развитии регионов России // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле, 2014. Вып. 1. С. 9-16.
2. Burrell R., Whitworth K The influence of mine water recovery on surface on gas and water discharge 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.
3. Bian Z., and 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. Vol. 8. P. 1619–1630.
4. 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. Vol. 40.P. 1471–1481.
5. Duan X., Dang Z., Zhou J. et al. Chin. J. 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.
6. Gray D. P., & Harding J. S. (2012). 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, 46. P. 335–352.
7. 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, Germany, 2016. P. 761 – 767.
8. Maksimovich N. G., Gorbunova K. A. Geochemical aspects of the geological medium changes in coal fields // Proceeding 6 Int. Congress Int. Ass. of Engineering Geology. A. A. Balkema. – Rotterdam, 1990. P. 1457-1461.
9. Maksimovich N.G., Pyankov S.V., Khayrulina E.A. Environmental assessment of closed coal mine territory using GIS analysis //Mine Water and Circular Economy, 2017.IMWA (Lappeenranta, Finland). P. 212-217.
10. 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.
11. Petty J. T., Barker J. Water quality variability in tributaries of the Cheat River, a mined Appalachian watershed // Proceedings of the American Society of Mining and Reclamation, 2004. 15. P. 1–21.
12. Powell J.D. Origin and influence of coal mine drainage on streams of the United States// Environ Geol Water Sci, 1988. 11. P. 141–152.

13. Acid-base accounting: a geochemical tool for management of acid drainage in coal mines / S. Siddharth, A. Jamal, B.B. Dhar, R. Shukla // *Mine Water Environ*, 2002. 21. P. 106–110.

14. Tao X., Wu P., Tang C. et al. Effect of acid mine drainage on a karst basin: a case study on the high-As coal mining area in Guizhou province, China // *Environ Earth Sci.*, 2012. 65, P. 631.

15. Tiwary R. K., Dhar B.B. Environmental pollution from coal mining activities in Damodar River Basin, India // *Mine Water Environ*, 1994. 13(3-4). P. 1–9.

16. Wright I.A., Paciuszkiewicz K. &., Belmer N. Increased Water Pollution After Closure of Australia's Longest Operating Underground Coal Mine: a 13-Month Study of Mine Drainage, Water Chemistry and River Ecology-Water // *Air Soil Pollut*, 2018. 229: 55.

17. Berezina O. A., Maksimovich N. G., Pyankov S. V. Hydroecological characteristic of coal-mining regions with crucial anthropogenic load (in the case study of the Yaiva river basin) // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2018. Vol. 107.

18. Maksimovich N., Pyankov S., Khayrulina E. Environmental assessment of closed coal mine territory using GIS analysis // *Mine Water and Circular Economy*, IMWA 2017. Lappeenranta, Finland. 2017. P. 212-217.

19. Hu Z., Yang G., Xiao W., Li J., Yang Y., and Yu Y. Farmland damage and its impact on the overlapped areas of cropland and coal resources in the eastern plains of China // *Resources, Conservation and Recycling*, 2014. P.1–8.

20. Lee S., Park I. Application of decision tree model for the ground subsidence hazard mapping near abandoned underground coal mines // *Journal of Environmental Management*, 2013. Vol. 127. P. 166 - 176.

21. Wei X., Wei H., Viadero R.C. Post-reclamation water quality trend in a Mid-Appalachian watershed of abandoned mine lands // *Science of the Total Environment*, 2011. Vol. 409. P. 941 - 948.

22. Yu X.-X., Lu W.-C., Yang X., Zhu Y.-Z., Jiang F.-W., Huang H., and Hang Y.-F. Research on the automatic monitoring system for coal mining subsidence // *Applied Mechanics and Materials*, 2014. Vol. 644-650. P. 1355-1360.

23. Zhao X., Yan X. and Jiang Y. Integrated GIS-based prediction and impact assessment system due to mining subsidence // *2nd International Conference on Mine Hazards Prevention and Control*, ICMHPC; Qingdao, 2010. P.489–502.

24. Атлас Пермского края / под.общ. ред. А.М. Тарковского. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2012. 124 с.

25. Сухова О.В. Создание карты лесной растительности для моделирования снегонакопления на территории Пермского края // *Вестник Уд-*

муртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2013. №4. С.132–139.

26. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

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

28. Ерина О. Н., Ефимова Л.Е., Заславская М.Б. Использование параметризации характеристик качества воды для диагностики возникновения изменений экологического состояния рек// Сб. науч. тр. III междунар. науч.-техн. конф. «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: экологические вызовы XXI века»: Казань: Изд-во АН РТ, 2017. С. 33-36.

Абдуллин Ринат Камилевич, канд. техн. наук, rinaha-26@mail.ru, Россия, Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет,

Березина Ольга Алексеевна, асп., berezina.olga16@gmail.com, Россия, Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет,

Максимович Николай Георгиевич, канд. геол.-мин. наук, доц., nmax@psu.ru, Россия, Пермь, Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета

DEVELOPMENT OF A GEODATA BASE TO ASSESS THE ENVIRONMENTAL CONDITION OF THE ABANDONED KIZEL COAL BASIN

R.K. Abdullin, O.A. Berezina, N.G. Maksimovich

GIS technologies are considered to be important tools for the assessment of environmental conditions and for decision making in coal-mining regions with high anthropogenic load in foreign countries. The geodata base that has been developed for the Kizel coal basin (Perm krai) abandoned at the beginning of the XXI century is an information basis to solve some spatial tasks. Among them are monitoring, assessment and forecast of negative consequences of anthropogenic activity, development of new approaches to an objective analysis of ecological damage, a spatial analysis and a hazard level assessment of natural component pollution. The tasks also include scientific substantiation and planning of recultivation measures and other applied tasks.

Key words: cartographic database, geoinformation technologies, coal mining, environment.

Abdullin Rinat Kamilevich, candidate of technical sciences, rinaha-26@mail.ru Perm, Russia, Perm State University,

Berezina Olga Alekseevna, postgraduate student, berezina.olga16@gmail.com, Russia, Perm, Perm State University,

Maksimovich Nikolay Georgievich, candidate of geology-mineral sciences, associate professor, nmax@psu.ru, Russia, Perm, Institute of Natural Science of Perm State National Research University

Reference

1. Zakharov EI, Kachurin NM Coal and its role in the development of the regions of Russia // *Izvestiya Tula State University. Earth Sciences*, 2014. Issue. 1. P. 9-16.
2. Burrell, R., Whitworth, K., The effect of mine water recovery on the surface of a gas and water discharge, the Yorkshire Coalfield, Mine water and the Environment: proceedings of the 7th International mine water association congress. Katowice-Ustron, Poland, 2000. P. 81-90.
3. Bian Z., and Lu Q. Ecological effects of land use change in coal mining area based on the inane service valuing: A case study in Jiawang // *Environmental Earth Sciences*, 2013, Vol. 8, P. 1619-1630.
4. Brake S. S., Connors K. A., Romberger S. B. A river runs through it: an impact of acid mine on the geochemistry of the West. Little Sugar Creek pre-and post-reclamation at the Green Valley coal mine, Indiana, USA. *Environmental Geology*, 2001. Vol. 40.P. 1471-1481.
5. Duan, X., Dang, Z., Zhou, J. et al. Chin. J. 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.
6. Gray, D. P., & Harding, J.S. (2012). 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 Re-search*, 46, P. 335-352.
7. 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, Germany, 2016. P. 761 - 767.*
8. Maximov, N. G., Gorbunova, K. A. Geochemical aspects of the geological medium changes in coal fields. *Proceeding 6 Int. Congress Int. Ass. of Engineering Geology. A. A. Balkema. - Rotterdam, 1990. P. 1457-1461.*
9. Maksimovich N.G., Pyankov S.V., Khayrulina E.A. Environmental assessment of closed coal mine territory using GIS analysis // *Mine Water and Circular Economy, 2017.IMWA (Lappeenranta, Finland). P. 212-217.*
10. 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.
11. Petty J. T., Barker J. Water quality variability in tributaries of the Cheat River, a mined Appalachian watershed // *Proceedings of the American Society of Mining and Reclamation, 2004. 15. P. 1-21.*
12. Powell J.D. Origin and influence of coal mine drainage on streams of the United States // *Environ Geol Water Sci*, 1988. 11. P. 141-152.
13. Acid-base accounting: a geochemical tool for management of acid drainage in coal mines / S. Siddharth, A. Jamal, B.B. Dhar, R. Shukla // *Mine Water Environ*, 2002. 21. P. 106-110.
14. Tao X., Wu P., Tang C. et al. Effect of acid mine drainage on a karst basin: a case study on the high-As coal mining area in Guizhou province, China // *Environ Earth Sci.*, 2012. 65, p. 631.
15. Tiwary R.K., Dhar B.B.Environmental pollution from coal mining activities in Damodar River Basin, India // *Mine Water Environ*, 1994. 13 (3-4). R. 1-9.

16. Wright IA, Paciuszkiewicz K. &., Belmer N. Increased Water Pollution After Closure of Australia's Longest Operating Underground Coal Mine: a 13-Month Study of Mine Drainage, Water Chemistry and River Ecology-Water // *Air Soil Pollut* , 2018. 229: 55.
17. Berezina O. A., Maksimovich N. G., Pyankov S. V. Hydroecological characteristic of the coal-mining regions with crucial anthropogenic load // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2018. Vol. 107.
18. Maksimovich N., Pyankov S., Khayrulina E. Environmental assessment of the closed coal mine territory using GIS analysis // *Mine Water and Circular Economy, IMWA 2017*. Lappeenranta, Finland. 2017. P. 212-217.
19. Hu Z., Yang G., Xiao W., Li Y., Yang Y., and Yu Y. Farmland, Damage and its impact on the overlapping areas of cropland and coal resources in the eastern plains of China // *Resources, Conservation and Recycling*, 2014. P.1-8.
20. Lee S., Park I. Application of decision tree model for the ground subsidence of hazards, near underground mines // *Journal of Environmental Management*, 2013. Vol. 127. P. 166 - 176.
21. Wei X., Wei H., Viadero R.C. Post-reclamation water quality trend in the Mid-Appalachian watershed of abandoned mine lands // *Science of the Total Environment*, 2011. Vol. 409. P. 941 - 948.
22. Yu. X.- X., Lu W.-C., Yang X., Zhu Y.-Z., Jiang F.-W., Huang H., and Hang Y.-F. Research on the automatic monitoring system for coal-mining subsidence, *Applied Mechanics and Materials*, 2014. Vol. 644-650. P. 1355-1360.
23. Zhao X., Yan X. and Jiang Y. Integrated GIS-based prediction and impact assessment system, *Mine Hazards Prevention and Control, ICMHPC*; Qingdao, 2010. P.489-502.
24. Atlas of the Perm Territory / under the Ob. Ed. A.M. T.