

10. Poberezhnaya T.M. Landshaftno-geohimicheskie issledovaniya na Sahaline [Geochemical studies of landscapes on Sakhalin Island], Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk, 2006, No 1, pp. 109–114 (in Russian).
11. Sotnikova E.G., Lipatov D.N. Migracija uglevodorodov nefti v pochvah severo-vostoka ostrova Sahalin [Oil hydrocarbons migration in soils of the northeast of Sakhalin island], Vestnik Moskovskogo universiteta, Serija 17. Pochvovedenie, 2010, No 1, pp. 35–42 (in Russian).
12. Hovanov N.V. Analiz i sintez pokazatelej pri informacionnom deficite [Analysis and synthesis of indicators at information deficiency], St. Petersburg, 1996, 196 p. (in Russian).

УДК 556.01

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-3-23-154-167

С.В. Пьянков¹, Н.Г. Максимович², Е.А. Хайрулина³, А.Н. Шихов⁴, Р.К. Абдуллин⁵

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ С КРИТИЧЕСКОЙ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

АННОТАЦИЯ

В работе рассматриваются особенности создания бассейновой геоинформационной системы (ГИС), предназначенной для организации экологического мониторинга, оценки и прогнозирования негативных последствий техногенного воздействия в районах с критической техногенной нагрузкой (на примере расположенного в Пермском крае ликвидированного Кизеловского угольного бассейна). Рассмотрен мировой опыт применения ГИС-технологий для решения экологических проблем угледобывающих районов. Представлена информационная основа и структура картографической и атрибутивной базы данных ГИС Кизеловского угольного бассейна. Выделены основные задачи создания ГИС, включающие инвентаризацию источников воздействия, выявление закономерностей пространственно-временного распределения загрязняющих веществ, количественную оценку и картографирование экологического состояния территории, прогноз экологической ситуации и планирование природоохранных мероприятий. Предложена система пространственных критериев для комплексной оценки экологического состояния территории угольных бассейнов, которая позволит проводить мониторинг происходящих изменений окружающей среды и выявлять территории с наиболее острой экологической ситуацией. К таким критериям относятся значение pH и содержание сульфатов в поверхностных водах, определённый спектр тяжёлых металлов, видовой состав микроорганизмов в поверхностных водах, площадь деградированных земель, процент погибших древесных насаждений.

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики; Пермь, ул. Генкеля, 8, 614990, Россия; *e-mail*: pyankovsv@gmail.com

² Естественно-научный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, лаборатория геологии техногенных процессов; Пермь, ул. Генкеля, 4, 614990, Россия; *e-mail*: max54@gmail.com

³ Естественно-научный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, лаборатория геологии техногенных процессов; Пермь, ул. Генкеля, 4, 614990, Россия; *e-mail*: elenakhay@gmail.com

⁴ Пермский государственный национальный исследовательский университет, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики; Пермь, ул. Генкеля, 8, 614990, Россия; *e-mail*: and3131@inbox.ru

⁵ Пермский государственный национальный исследовательский университет, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики; Пермь, ул. Генкеля, 8, 614990, Россия; *e-mail*: rinaha-26@mail.ru

Описан масштаб негативного воздействия ликвидированных шахт на поверхностные и подземные воды, выделены приоритетные загрязняющие вещества. Получены оценки протяжённости загрязнённых водотоков, а также площади потенциального загрязнения пойменных земель, полученные с применением данных космической съёмки LANDSAT. Отмечена необходимость разработки алгоритмов комплексирования разнородной пространственной информации (данных наземных и дистанционных наблюдений) для создания синтетических геоизображений, объективно характеризующих экологическую ситуацию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

ГИС-технологии, тематическое дешифрирование данных дистанционного зондирования Земли, математико-картографическое моделирование, районы экологического бедствия, синтетические геоизображения

ВВЕДЕНИЕ

ГИС-технологии являются важным инструментом оценки состояния окружающей среды и поддержки принятия решений в угледобывающих районах с высокой техногенной нагрузкой в Китае, США, странах Центральной Европы. Они применяются 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 планирование и оценку эффективности рекультивационных мероприятий и др.

Одним из основных негативных последствий угледобычи является оседание грунтов и снижение уровня грунтовых вод. Данный процесс наносит значительный ущерб, например, устойчивости сельскохозяйственного производства. Эта проблема имеет наибольшую актуальность для территории Китая, где площадь выведенных из оборота сельскохозяйственных земель достигает нескольких тысяч км² [Hu *et al.*, 2014; Yu *et al.*, 2014]. Оценка степени проседания грунта за продолжительный период времени осуществляется путём сравнения цифровых моделей рельефа.

Ряд работ посвящён созданию новых подходов в количественной оценке экологической ситуации и ущерба, связанного с изменением землепользования в районах добычи угля, на основе анализа разновременных космических снимков. Для комплексной оценки экологической ситуации используется подход, основанный на индексе экосистемных услуг (Ecosystem Service Value, ESV). Сам индекс и его изменения во времени рассчитывается средствами ГИС-технологий, с использованием многолетнего ряда космических снимков LANDSAT, топографических карт и данных об источниках загрязнения [Bian and Lu, 2013]. В результате создаётся объективная картина пространственно-временных изменений состояния экосистем и характера землепользования.

На базе ГИС-технологий разрабатываются также локальные системы мониторинга для оценки и контроля территорий с высоким уровнем техногенной нагрузки (в том числе угледобывающих районов). Такие системы создаются в рамках бассейнового подхода, и применяются для инвентаризации источников воздействия, выявления изменений состояния природной среды, анализа неблагоприятных геолого-геоморфологических процессов на территории угледобычи, поддержки принятия решений [Nayduonova, Roumenina, 2009].

Также ряд публикаций посвящён применению ГИС-технологий для планирования, а также оценки эффективности рекультивационных и восстановительных мероприятий на угольных месторождениях [Wei *et al.*, 2011]. Методы пространственного анализа позволяют осуществить научно обоснованный выбор мест проведения рекультивации.

Угледобывающие районы также характеризуются наличием острых эколого-гидрологических проблем, которые необходимо решать комплексными методами. Одним из эффективных инструментов является создание проблемно-ориентированных бассейновых

ГИС и методов комплексирования пространственной информации на основе математико-картографического моделирования [Pyankov S.V., Kalinin V.G. Development of generalized integral index for estimating complex impact of major factors of winter runoff formation // Russian Meteorology and Hydrology, 2013, Vol. 38 (7), pp. 496–502].

В зарубежных странах создание бассейновых ГИС является одним из ключевых инструментов решения задач планирования природоохранных мероприятий. При этом преимуществами бассейновых ГИС является возможность комбинирования разнородной пространственной информации, реализации методов интегральной геоэкологической оценки, совершенствования системы мониторинга и планирования природоохранных мероприятий.

В России опыт создания подобных бассейновых ГИС для мониторинга и оценки экологической ситуации в районах с критической техногенной нагрузкой практически отсутствует. В связи с этим возникает необходимость не только разработки типовых функциональных возможностей такой ГИС, но и выработки новых методов интегральной оценки экологического состояния территории на основе математико-картографического моделирования. Созданные в результате моделирования синтетические геоизображения могут, в частности, использоваться для выделения зон экологического бедствия на региональном и локальном уровнях [Pyankov S.V., Kalinin V.G. Methodological aspects of spatial analysis of the river runoff formation by using mathematical cartographical modeling // Russian Meteorology and Hydrology, 2009, Vol. 34(1), pp. 58–61].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Создаваемая ГИС «Экологическая ситуация в угледобывающих районах с критической техногенной нагрузкой» направлена на решение комплекса задач, среди наиболее важных необходимо выделить следующие:

1. Создание системы пространственных критериев для комплексной оценки экологического состояния территории угольных бассейнов, которая позволит проводить мониторинг происходящих изменений окружающей среды и выявлять территории с наиболее острой экологической ситуацией. К таким критериям могут относиться значение рН, содержание сульфатов, определённый спектр тяжёлых металлов, видовой состав микроорганизмов в поверхностных водах, площадь деградированных земель, процент погибших древесных насаждений и т.д. При выделении значений критериев будут учитываться зональные особенности природных комплексов, которые могут способствовать более активной миграции и увеличению токсичности загрязнителей или их нейтрализации и аккумуляции в депонирующих средах природных комплексов. При обосновании системы критериев были рассмотрены особенности развития экологической ситуации на других угольных месторождениях [Maximovich, Khayrulina, 2014].

2. Разработка алгоритмов комплексирования разнородной пространственной информации (данных наземных и дистанционных наблюдений) для создания синтетических геоизображений. Полученные синтетические геоизображения объективно характеризуют экологическую ситуацию, а также смогут использоваться для определения эффективности природоохранных мероприятий.

Структура картографической и атрибутивной базы данных ГИС Кизеловского угольного бассейна разработана на основе бассейнового подхода, что позволяет использовать ГИС для оценки и прогноза экологического состояния в речных бассейнах различного иерархического уровня. Картографическая база данных включает в себя следующие основные структурные блоки:

- Картографическая основа в векторном (М 1:100 000) и растровом форматах с картами-врезками (М 1:25 000). В качестве растровой основы будет использована мозаика космических снимков SPOT 5/6 с детальностью 2,5 м.
- Цифровые модели рельефа (ЦМР) и границы водосборных бассейнов, выделенные по ЦМР SRTM-90, SRTM-Xband. Детальные цифровые модели рельефа породных отвалов и

прилегающей к ним территории, которые будут использованы для определения направления стока с отвалов и выявления участков аккумуляции загрязняющих веществ (М 1:10 000).

- Данные об источниках загрязнения поверхностных и подземных вод (изливы шахтных вод, отвалы, загрязнённые родники). Атрибутивная информация об источниках загрязнения будет включать многолетние ряды наблюдений за изливами шахтных вод и родниками (расходы воды и химический состав), что позволит выявить тенденции изменения объёмов загрязняющих веществ, поступающих на водосборы рек (1995–2015 гг.).

- Пункты мониторинга за состоянием поверхностных вод. Атрибутивная информация будет включать многолетние ряды данных наблюдений за расходом воды и её химическим составом, а также донными отложениями на каждом пункте мониторинга. Это позволит впервые оценить влияние донных отложений как источника вторичного загрязнения.

- Зоны потенциального загрязнения пойм рек при затоплении, которые будут определены по космическим снимкам LANDSAT, полученным в период прохождения половодий редкой повторяемости.

- Участки аккумуляции загрязняющих веществ, на которых отмечаются нарушения растительного покрова вследствие закисления почвы или повышения концентрации ряда микроэлементов. Будут выявлены методами дешифрирования данных космической съёмки высокого разрешения и дополнены полевыми исследованиями.

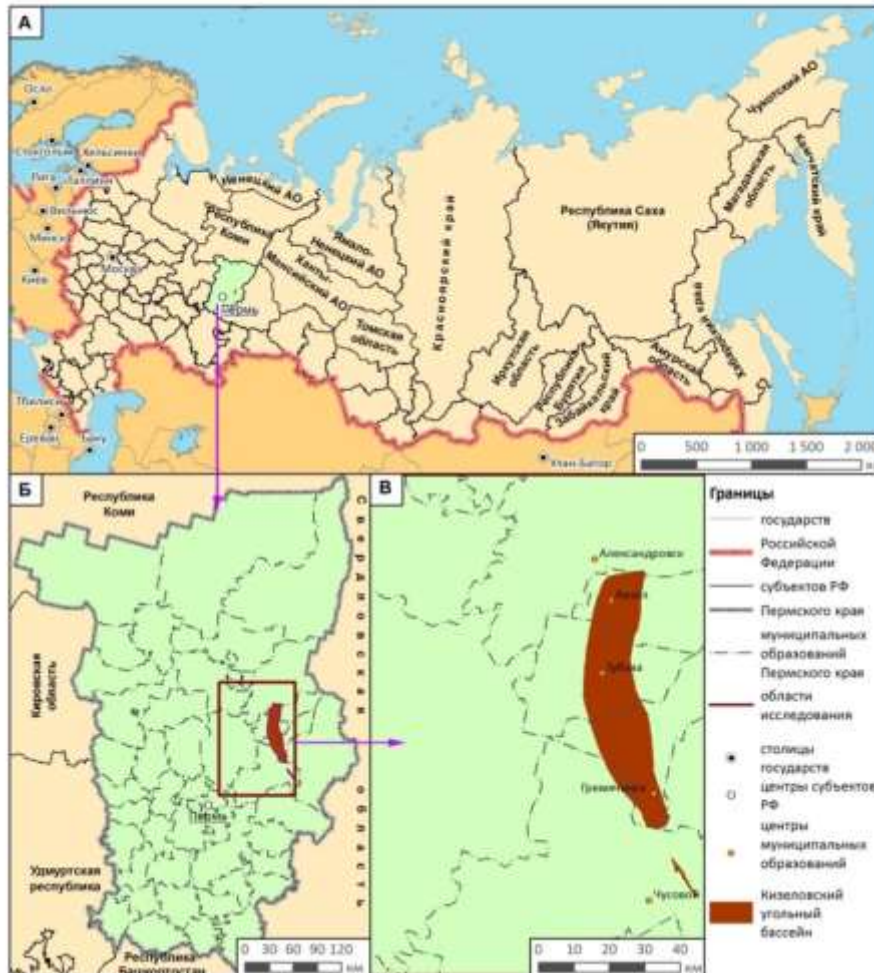


Рисунок 1. Местоположение Кизеловского угольного бассейна (А – Российская Федерация, Б – Пермский край, В – районы Пермского края)

Figure 1. Location of the Kizel coal basin (А – Russian Federation, Б – Perm Region, В – municipalities of Perm Region)

Рассмотрим некоторые возможные решения интегральной оценки экологической ситуации в районах с высокой техногенной нагрузкой на примере территории Кизеловского угольного бассейна (КУБ).

Кизеловский угольный бассейн расположен в восточной части Пермского края (рисунок 1). В административном отношении бассейн находится в пределах Кизеловского, Гремячинского и Чусовского муниципальных районов и Губахинского городского округа Пермского края (рисунок 2). В пределах границ бассейна находятся крупные населённые пункты (с севера на юг): п. Северный Коспашский, п. Шахта, г. Кизел, п. Центральный Коспашский, п. Рудничный, п. Южный Коспашский, п. Углеуральский, г. Губаха, п. Нагорнский, п. Юбилейный, п. Шумихинский, п. Усьва, г. Гремячинск, п. Скальный и ряд других. Однако негативное влияние КУБа на территорию Пермского края распространяется значительно дальше границ бассейна. Основную роль в этом играют реки, переносящие негативные вещества с различных типов источников загрязнения поверхностных вод в бассейне на большие расстояния.

Таблица 1. Сводная таблица точек наблюдения по бассейнам рек
Table 1. Summary table of observation points in river basins

Бассейн	Скважины ГН	Скважины ВЗ	Родники	Изливы шахтных вод	Поверх- ностные воды	Стоки с породных отвалов
Кама	-	-	-	-	4	-
Яйва	15	8	14	7	18	26
Косьва	11	1	7	7	5	6
Усьва (без Вильвы)	2		4	2	5	2
Вильва	2	1	2	1	5	4
Чусовая (без Усьвы)	1	2	1	-	2	1
Итого по бассейнам	31	12	28	17	39	41

Ликвидация шахт Кизеловского угольного бассейна в 90-е гг. XX в. не привела к снижению негативного воздействия на окружающую среду. В настоящее время основными источниками загрязнения поверхностных вод на данной территории являются изливы шахтных вод, загрязнённые родники и стоки с породных отвалов. Изливающиеся на поверхность шахтные воды имеют кислую реакцию среды и сульфатный состав. Они характеризуются чрезвычайно высокими концентрациями подвижных форм ряда микроэлементов, прежде всего катионов Fe, Al, Be и Mn. Их содержание в воде превышает ПДК зачастую более чем в 1000 раз (рисунок 3). Также шахтные воды отличаются высокими концентрациями ряда тяжёлых металлов.

В период 2007-2013 гг., в течение которого на реках, протекающих через территорию Кизеловского угольного бассейна, проводились наблюдения за химическим составом поверхностных вод, существенного снижения объёма поступления загрязняющих веществ в водные объекты не наблюдалось (рисунок 4). Концентрация загрязняющих веществ в наиболее загрязнённой р. Бол. Кизел и её притоках, протекающих через территорию КУБа, устойчиво превышает 100 ПДК, что соответствует критерию экстремально высокого загрязнения (рисунок 5). В период летней межени концентрация катионов железа в ряде малых рек (Полуденный Кизел, Бол. Кизел) превышает 1000 ПДК.

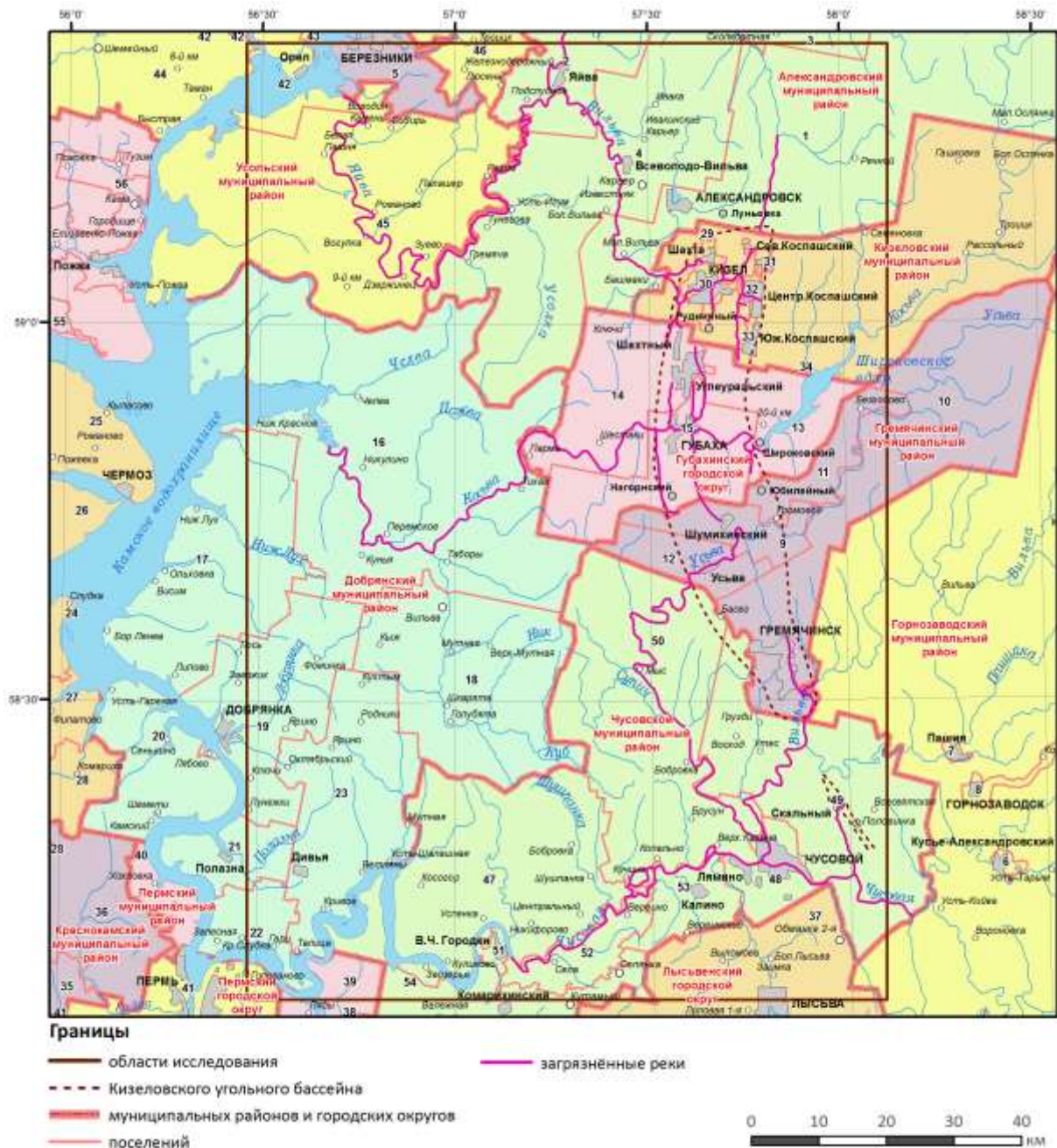


Рисунок 2. Административное деление Пермского края в границах территории исследования
Figure 2. Administrative division of Perm Region within the study area

Таблица 2. Протяжённость загрязнённых рек Кизеловского угольного бассейна
Table 2. The length of contaminated rivers of the Kizel coal basin

Наименование бассейна	Длина, км		Доля, %	Суммарная длина рек бассейна, км		
	главного водотока	загрязнённой части		всего	загрязнённых	загрязнённых стоками с отвалов
Яйва	303	138	45	4864	417	178
Косьва	307	103	33	4404	170	40
Усьва (без Вильвы)	272	93	34	2237	94	-
Вильва (приток Усьвы)	173	35	20	1851	48	10
Чусовая (без Усьвы)	307	74	13	7823	88	28

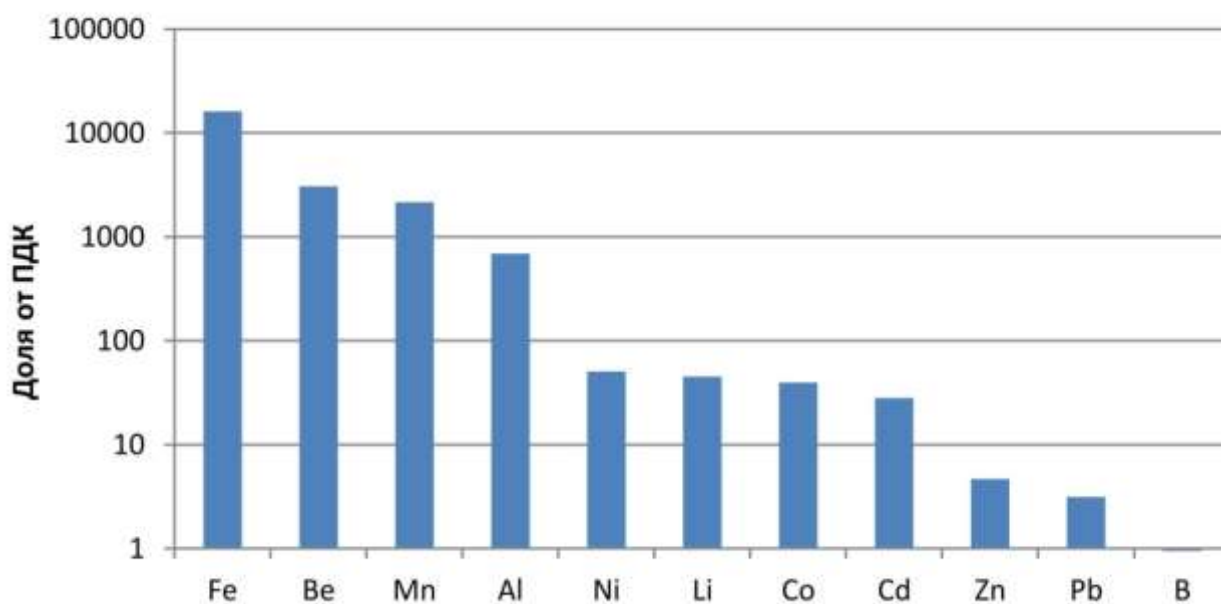


Рисунок 3. Максимальные зафиксированные концентрации микроэлементов в воде шахтных самоизливов в пределах бассейна р. Кизел (в сравнении с ПДК)
Figure 3. The maximum recorded concentrations of trace elements in the mine water within the basin of the Kizel river (in comparison with maximum allowable concentration)

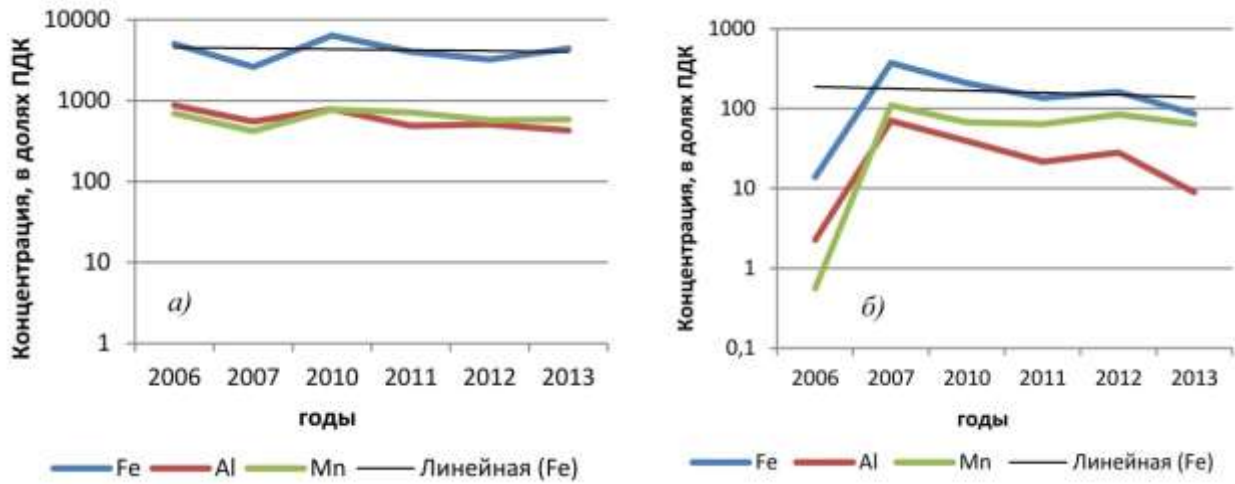


Рисунок 4. Изменение максимальной концентрации загрязняющих веществ в водотоках в период 2007-2013 годы:

а) р. Бол. Кизел; б) р. Северная Вильва

Figure 4. Dynamics of the maximum concentration of pollutants in the streams in 2007-2013:

а) – Big Kizel river; б) – Northern Vil'va river

Таблица 3. Площади возможного затопления пойм рек на пике половодья

Table 3. Potential flooding area within the rivers floodplains at the peak of spring flood

Участок реки	Площадь затопления, га
р. Косьва (от г. Губаха до устья)	770
р. Яйва от впадения левого притока р. Вильва до устья	2550
р. Вильва (приток Яйвы) от впадения притока р. Кизел до устья	917
р. Чусовая от впадения правого притока р. Усьва до начала Чусовского залива Камского вдхр	3475
р. Усьва от пос. Усьва до устья	1325
р. Вильва от впадения правого притока р. Большая Гремячая до устья	605
Итого	9642

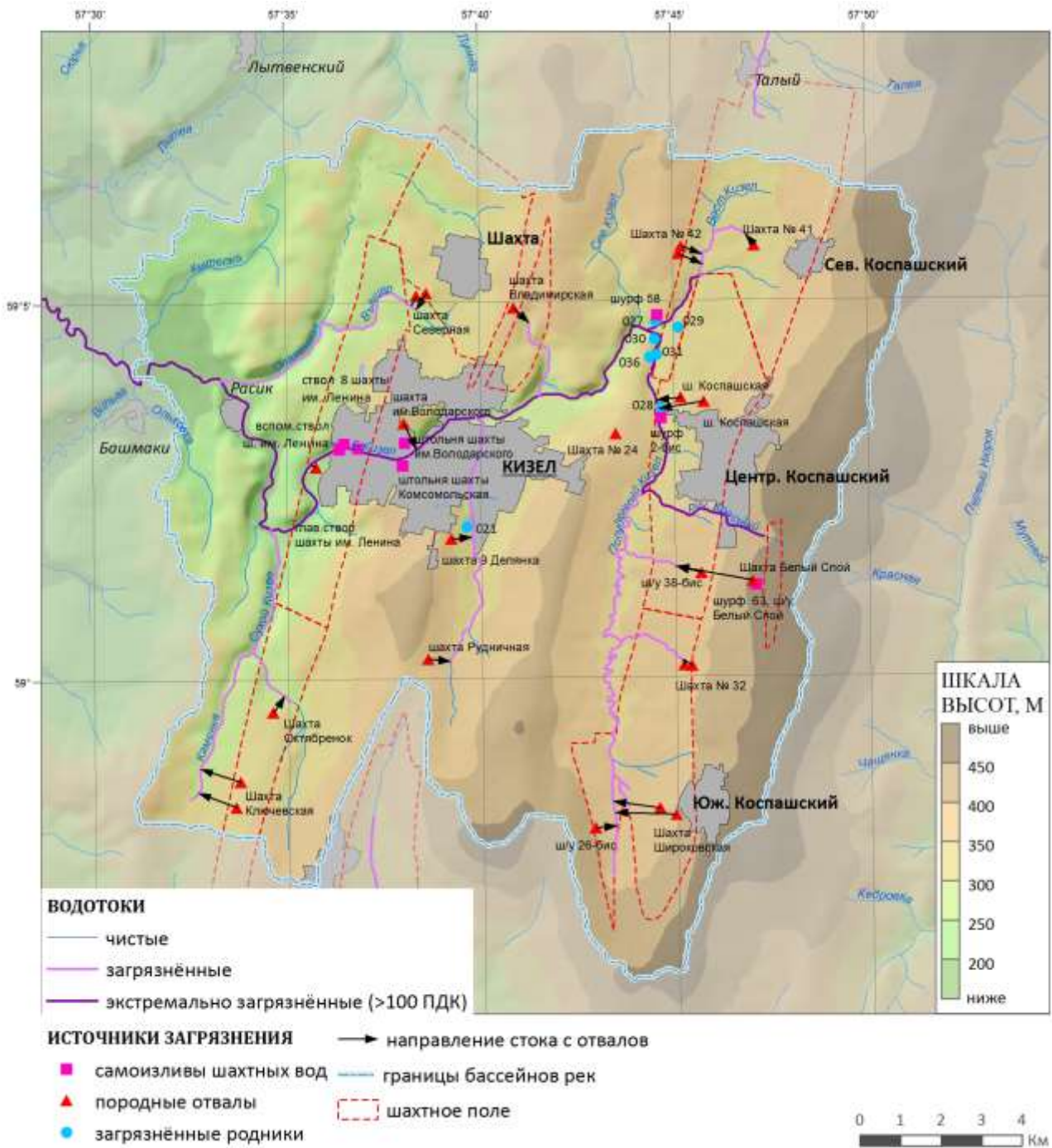
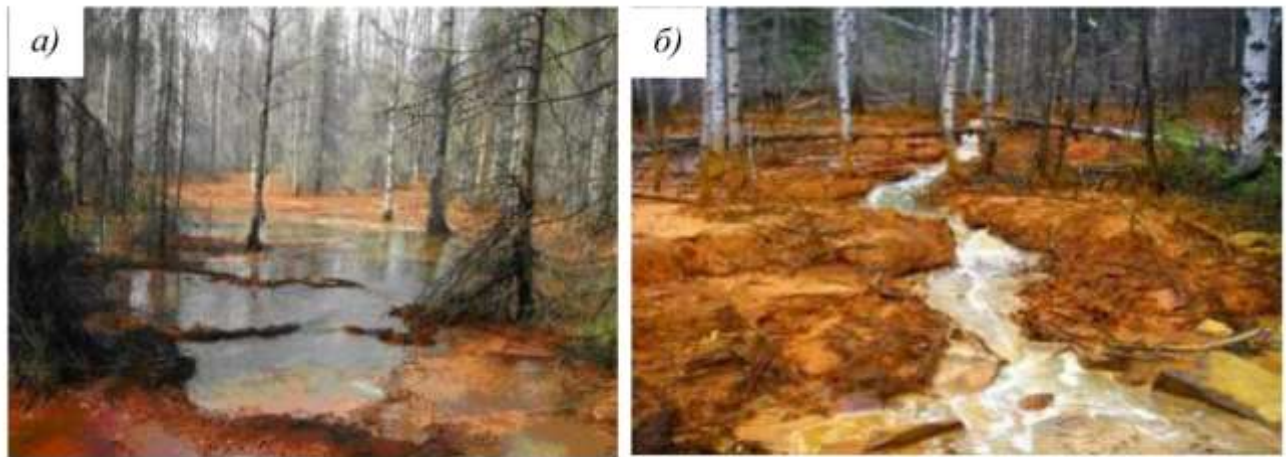


Рисунок 5. Источники загрязнения поверхностных вод в бассейне р. Большой Кизел
Figure 5. Stream pollution sources within the Big Kizel river basin



*Рисунок 6. Дегradированные земли у загрязнённых родников
вблизи слияния рек Полуденный Кизел и Восточный Кизел:
а) родник 31; б) родник 29.*

*Figure 6. The disturbed lands around contaminated groundwater sources
near the confluence of the Southern Kizel and Eastern Kizel streams
a) the source 31; б) the source 29*



*Рисунок 7. Участки лесных насаждений погибших вследствие подтопления
кислыми шахтными водами в долине р. Сев. Вильва*

*Figure 7. The forest stands dead due to flooding with acidic mine waters
in the valley of the Northern Vil'va river*



Рисунок 8. Зоны затопления (потенциального загрязнения) в поймах рек Яйва и Северная Вильва
Figure 8. The flooding and potential contamination zones in the Yauva and Northern Vil'va rivers valleys

Эксплуатация шахт повлекла за собой нарушение земель и загрязнение атмосферного воздуха, изменение режима поверхностных и подземных вод.. Для контроля за экологической обстановкой в бассейне был создан Уральский центр социально-экологического мониторинга углепромышленных территорий, который в настоящее время проводит контроль качества подземных и поверхностных вод, изливов шахтных вод и стоков с породных отвалов (таблица 1).

Расчёт ряда гидрографических характеристик по цифровым топографическим картам масштаба 1:100 000 показал значительное превышение протяжённости загрязнённой части водотоков в сравнении с ранее полученными оценками (таблица 2).

Тематическое дешифрирование данных космической съёмки и моделирование зон возможного затопления в поймах рек, находящихся под влиянием источников загрязнения КУБа показало, что площадь зоны негативного воздействия существенно больше, чем было принято считать ранее (рисунок 8). Общая площадь зоны негативного воздействия шахтных вод на прибрежную растительность достигает 9642 га. Такая оценка была получена по максимальной площади затопления пойм на пике половодья (определённой на основе снимка LANDSAT за 23.05.1998) (таблица 3). На наиболее загрязнённых участках пойм рек наблюдается частичное или полное усыхание древесной растительности (рисунки 6, 7).

Оценка количества и объёма породных отвалов, находящихся на территории исследования, приведена в таблице 4.

Таблица 4. Сводная таблица породных отвалов по бассейнам рек
Table 4. Summary table of waste rock dumps in river basins

Бассейн	Количество породных отвалов	Объём, тыс.м.куб.
Яйва	26	13032
Косьва	6	4024
Усьва (без Ю.Вильвы)	2	1765
Ю.Вильва	4	2837
Чусовая (без Усьвы)	1	63
Итого	41	21721

ВЫВОДЫ

Современные тематические ГИС включают в себя спектр развитых функциональных возможностей, направленных на решение широкого класса задач, в связи с чем необходимо выделить и адаптировать только те, которые необходимы при организации экологического мониторинга, оценки и прогнозирования негативных последствий техногенного воздействия в районах с критической техногенной нагрузкой. В частности, интеграцию тематических данных и данных ДЗЗ, организацию хранения и визуализацию многолетних статистик каждого пункта наблюдений (изливы, родники, ручьи и т.д.) и в целом речных бассейнов в виде различных диаграмм, с учётом и без учёта сезонной динамики, выделить типовые методы анализа пространственного распределения загрязняющих веществ. Всё это позволит получить и интерпретировать в наглядной форме объективные результаты изменения объёмов поступления и концентраций загрязняющих веществ в водные объекты.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование проводится за счёт гранта Российского фонда фундаментальных исследований и РГО (проект № 17-0541114).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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. – Vol. 8. – Pp. 1619–1630.
2. *Hu Z., Yang G., Xiao W., Li J., Yang Y., 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. – Pp. 1–8.
3. *Maximovich N., Khayrulina E.* Artificial geochemical barriers for environmental improvement in a coal basin region // *Environmental Earth Sciences*, 2014. – Vol. 72. – Pp. 1915–1924.
4. *Naydyonova V., Roumenina E.* Monitoring the mining effect at drainage basin level using geoinformation technologies // *Central European Journal of Geosciences*, 2009. – Pp. 318–339.
5. *Yu X.-X., Lü W.-C., Yang X., Zhu Y.-Z., Jiang F.-W., Huang H., Hang Y.-F.* Research on the automatic monitoring system for coal mining subsidence // *Applied Mechanics and Materials*, 2014. – Vol. 644–650. – Pp. 1355–1360.

Sergey V. Pyankov¹, Nicolay G. Maximovich², Elena A. Khairulina³, Andrey N. Shikhov⁴, Rinat K. Abdullin⁵

GIS-BASED EVALUATION AND PREDICTION OF ECOLOGICAL SITUATION IN THE COAL MINING AREAS WITH A CRITICAL TECHNOGENIC IMPACT

ABSTRACT

The paper highlights the features of the creation of the basin GIS, developed to support the environmental monitoring, assessment and forecasting of negative consequences in the areas of technogenic disaster (on the example of abandoned Kizel coal basin, located in Perm Region, Russia). The world experience of applying GIS-technologies for solving environmental problems of coal-mining regions is also being discussed. The information basis and structure of the cartographic and attributive database of the Kizel coal basin GIS are presented. The main tasks of creating the GIS, including inventory of man-made impact sources, identification of the spatio-temporal distribution patterns of pollutants, quantification and mapping of the territory ecological status, forecasting of the environmental situation and planning of environmental measures have been identified. A system of spatial criteria for the integrated assessment of the territory ecological status within coal basins is proposed, which will allow monitoring of environmental changes and identifying areas with the critical environmental situation. These criteria include the pH value and the sulfates concentration in the streams, the complex of heavy metals, the species composition of microorganisms in surface waters, the area of degraded land and dead forest stands. The degree of negative impact of the abandoned coal mines on streams and groundwater is described, and the priority pollutants are identified.

The estimates of the extent of contaminated streams, as well as areas of potential contamination of floodplain lands have been obtained using LANDSAT satellite imagery data. The significance of the creation of the algorithms for the integration of heterogeneous spatial information (ground-based and remote sensing observations) for compiling synthetic maps that objectively estimate the ecological situation has been noted.

KEYWORDS:

GIS-technologies, thematic interpretation of the Earth remote sensing data, mathematical-cartographic modeling, areas of ecological disaster, synthetic maps

REFERENCES

1. 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, Vol. 8, pp. 1619–1630.
2. Hu Z., Yang G., Xiao W., Li J., Yang Y., 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, pp. 1–8.

¹ Perm State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics; Perm, Genkel st, 8, 614990, Russia; *e-mail*: pyankovsv@gmail.com

² The Natural Science Institute of Perm State University, Laboratory of Geology of Technogenic Processes; Perm, Genkel st, 4, 614990, Russia; *e-mail*: nmax54@gmail.com

³ The Natural Science Institute of Perm State University, Laboratory of Geology of Technogenic Processes; Perm, Genkel st, 4, 614990, Russia, *e-mail*: elenakhay@gmail.com

⁴ Perm State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics; Perm, Genkel st, 8, 614990, Russia, *e-mail*: and3131@inbox.ru

⁵ Perm State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics; Perm, Genkel st, 8, 614990, Russia, *e-mail*: rinaha-26@mail.ru

3. Maximovich N., Khayrulina E. Artificial geochemical barriers for environmental improvement in a coal basin region, *Environmental Earth Sciences*, 2014, Vol. 72, pp. 1915–1924.
4. Naydyonova V., Roumenina E. Monitoring the mining effect at drainage basin level using geoinformation technologies, *Central European Journal of Geosciences*, 2009, pp. 318–339.
5. Yu X.-X., Lü W.-C., Yang X., Zhu Y.-Z., Jiang F.-W., Huang H., Hang Y.-F. Research on the automatic monitoring system for coal mining subsidence, *Applied Mechanics and Materials*, 2014, Vol. 644–650, pp. 1355–1360.

УДК 551.4

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-3-23-167-178

И.С. Воскресенский¹, А.А. Сучилин²

**ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ
РАЙОНИРОВАНИЕ ТРАСС МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
ПО УСЛОВИЯМ РЕЛЬЕФОБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ
В АЗИАТСКО-ТИХООКЕАНСКОМ РЕГИОНЕ**

АННОТАЦИЯ

В работе рассматривается опыт применения геоинформационных систем (ГИС) для локального геоморфологического районирования. В пределах трасс магистральных трубопроводов (МТП) в ходе строительства изменяется морфология рельефа и поверхностный чехол рыхлых новейших отложений. В результате возникают или активизируются опасные рельефообразующие процессы. Региональные оценки геоморфологического фактора риска природопользования, могут быть оптимизированы на основании выделения индивидуальных особенностей рельефа территорий трасс в среде ГИС при геоморфологическом районировании. Рассматривается участок трассы МТП ВСТО в пределах Амурской области РФ. ГИС используются как основной методический приём для локального эколого-геоморфологического районирования по условиям развития опасных геоморфологических процессов. Необходимость локального эколого-геоморфологического районирования связана с установленными к настоящему времени фактами активизации действующих или вновь возникающих экзогенных рельефообразующих процессов. Они могут иметь последствия в виде возникновения аварийных ситуаций. Например, при пересечении трассой долин малых рек возникает парагенез экзогенных рельефообразующих процессов (ЭРП) в виде «оползания – оврагообразования и боковой эрозии» или активизации процесса «дефлюкции – массового смещения склоновых отложений» на пологих склонах на участках их перегибов. Таким образом, применение ГИС для выделения локальных эколого-геоморфологических участков трасс МТП с определяющими условиями развития опасных ЭРП позволит повысить эффективность прогноза изменения рельефа и ландшафтов в целом. Предлагаемая эмпирическая методика анализа «локального эколого-геоморфологического районирования» была разработана и применена для магистральных трубопроводов России. Приводятся примеры отдельных участков МТП ВСТО в пределах Амуро-Зейской равнины, которая занимает обширную часть бассейна р. Амур на юге Дальнего Востока России. Территория обладает «сложным», с точки зрения морфологии, равнинным, сопочным и низкогорным (в обрамлении) рельефом флювиально-денудационного (склонового) происхождения с фрагментами древних долин, с участками распространения карстовых и мерзлотных форм.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет; 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1; e-mail: isvoskresensky@rambler.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет; 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1; e-mail: asuhov308@gmail.com