

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В ИЗУЧЕНИИ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЮЖНОГО УРАЛА И ПРЕДУРАЛЬЯ

© 2018 г. А. И. Смирнов, В. Н. Дурнаева, Р. Ф. Абдрахманов

Реферат. Карст занимает особое место среди опасных геологических процессов по интенсивности распространения, неожиданности возникновения его проявлений и воздействию их на социально-экономические объекты и инженерные сооружения. Активное развитие карста наблюдается в наиболее освоенных в хозяйственном отношении районах региона. В Республике Башкортостан карстующиеся породы распространены на около 50% территории, почти 30% площади поражено поверхностными и подземными карстопроявлениями, около 40% городского и не менее 20% сельского населения проживает в районах развития карста. Ежегодно здесь фиксируется образование десятков новых провалов, один раз в 5–6 лет возникают аномально крупные провалы диаметром 15–40 и глубиной более 20 м. Карстовые провалы провоцируют деформации жилых и административных зданий, вызывают аварии на инженерных сооружениях. Усилению карстовых процессов в Предуралье значительно способствовало и развитие палеодолин в неоген-четвертичное время. Применение геоинформационных систем для оценки и прогноза развития наблюдаемых опасных геологических процессов, событий и явлений, пространственного и временного анализа данных, оперативного ввода информации, анализа территорий распространения карстующихся пород, определения опасных зон при проектировании и строительстве различных объектов позволяет значительно оптимизировать процесс решения различных практических задач.

Ключевые слова: геоинформационные системы, опасные геологические процессы, карст, база данных, картографирование

GIS-TECHNOLOGIES IN STUDY OF GEOHAZARDS OF THE SOUTHERN URALS AND CIS-URALS

A. I. Smirnov, V. N. Durnaeva, R. F. Abdrakhmanov

Abstract. Karst occupies a special place among dangerous geological processes in terms of distribution intensity, the unexpected occurrence of its manifestations and their impact on socio-economic objects and engineering structures. Active development of karst is observed in the most economically developed areas of the region. In the Republic of Bashkortostan karst rocks are distributed on about 50% of the territory, almost 30% of the area affected by surface and subterranean karstings, about 40% of urban and at least 20% of the rural population lives in the areas of karst development. Every year there is recorded the formation of dozens of new failures, once in 5–6 years, there are abnormally large gaps with a diameter of 15–40 and a depth of over 20 m. Karst holes provoke deformation of administrative and residential buildings, causing accidents on engineering structures. The intensification of karst processes in the Cis-Urals significantly contributed to the development of paleovalleys in the Neogene-Quaternary time. The use of geographic information systems for the assessment and forecast of the development of observed geological processes, events and phenomena, spatial and temporal data analysis, operational input of information, analysis of the territories of distribution of karst rocks, the definition of hazardous areas in the design and construction of various objects can significantly optimize the process of solving various practical problems.

Keywords: geographic information systems, geohazards, karst, database, mapping

Для цитирования: Смирнов А.И., Дурнаева В.Н., Абдрахманов Р.Ф. ГИС-технологии в изучении опасных геологических процессов Южного Урала и Предуралья // Геологический вестник. 2018. № 3. С. 137–143. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-10>.

For citation: Smirnov A.I., Durnaeva V.N., Abdrakhmanov R.F. GIS-technologies in study of geohazards of the Southern Urals and CIS-Urals // *Geologicheskii vestnik*. 2018. No.3. P. 137–143. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-10>.

Введение

Опасные геологические процессы (ОГП) — геологические процессы, отрицательно воздействующие на населенные пункты и другие социально-экономические объекты, вызывающие чрезвычайные ситуации (катастрофы и аварии), негативно сказывающиеся на жизнедеятельности человека. Весьма разнообразные геолого-геоморфологические и гидрогеологические условия Южного Урала и Предуралья обуславливают развитие здесь генетически различных видов ОГП, характерных как для равнинных, так и для горных областей, из которых наибольшим распространением пользуются процессы экзогенного происхождения [Смирнов, 2015].

Установлено [Смирнов, 2004b], что на Южном Урале и в Предуралье в границах Республики Башкортостан (РБ) каждый четвертый населенный пункт находится в зонах развития экзогенных геологических процессов (ЭГП). В каждом из них возможно ожидать возникновение чрезвычайных ситуаций, обусловленных активизацией развития этих процессов. Значительное воздействие на населенные пункты и другие социально-экономические объекты оказывает речная (боковая) эрозия. В зоне ее воздействия находится около 14% населенных пунктов РБ. Наиболее опасным является карстовый процесс. В зоне его развития расположено более 10% населенных пунктов Башкортостана [Смирнов, 2004b]. Однако, если проявления речной боковой эрозии в виде размыва берегов четко визуально фиксируются на дневной поверхности и развитие их вполне предсказуемо, то развитие карстового процесса, как правило, происходит на глубине и скрыто от непосредственного исследования. Более того, краткосрочный достоверный прогноз образования современных карстовых провалов сегодня практически невозможен, а средне- и долгосрочные прогнозы могут быть только пространственными. Между тем карстовые провалы, особенно в Южном Предуралье, нередко вызывают аварии на инженерных сооружениях, образование их часто приводит к деформациям жилых и административных зданий. При этом часть капитальных многоэтажных домов (до 5! этажей) была снесена даже после выполнения мер противокарстовой защиты [Карст..., 2002]. То есть по степени неожиданности и причиняемому ущербу карстовый прогресс является самым опасным геологическим процессом, что справедливо не только для рассматриваемой

территории, но и для других регионов развития карста. На Южном Урале и в Предуралье карстующиеся породы распространены почти на 50% территории, около 30% ее площади поражено поверхностными карстопроявлениями [Смирнов, 2005].

Один из ведущих отечественных карстоведов Н.В. Родионов в работе по карсту Европейской части СССР, Урала и Кавказа еще в 1963 г. писал, что «...предвидеть все трудности, связанные с освоением закарстованных территорий, не всегда возможно из-за отсутствия соответствующих карт и описания карстовых районов. Поэтому Молотовское (1947 г.) и Московское (1956 г.) карстовые совещания рекомендовали обобщить материалы по характеристике карстовых районов для составления обзорных и детальных карт распространения карста на территории СССР...» [Родионов, 1963].

Сведения о карсте Южного Урала и Предуралья содержатся в около 500 научных публикациях, не менее 50 съемочных, поисковых и геологоразведочных геологических отчетах, в более 8000 производственных инженерно-геологических отчетах по закарстованным территориям.

В 2002 г. коллективом авторов опубликована монография «Карст Башкортостана», в которой систематизированы и обобщены накопленные почти за три столетия сведения по карсту рассматриваемой территории и приведена его типизация, которая нашла дальнейшее развитие в работах последних 15 лет [Карст..., 2002; Смирнов, 2004a, b, 2005, 2013, 2014, 2015, 2018; Смирнов, Абдрахманов, 2007]. Сегодня можно констатировать, что многолетними исследованиями для Южного Урала и Предуралья достаточно четко определены подходы к типизации территории по карсту. В то же время сводные изданные карты карста Южного Урала и Предуралья крупнее масштаба 1:2 500 000 в настоящее время отсутствуют. Первая же и последняя на сегодня сводная карта карста Южного Урала и Предуралья в границах Республики Башкортостан масштаба 1:1 000 000 составлена В.И. Мартиным 47 лет тому назад. К сожалению, она не издана и содержится только в производственном отчете Башкирского территориального геологического управления «Типы карста Башкирской АССР» (Мартин В.И., 1970 г.), который хранится в геологических фондах. В связи с этим вполне очевидна актуальность составления современной средне-масштабной карты карста Южного Урала и Предуралья.

Методика исследований

Для сводного картографического отображения карста Южного Урала и Предуралья авторами принят масштаб 1:500 000 — как масштаб, наиболее приемлемый для относительно детального отражения данных, во-первых, и целостного их представления по всей рассматриваемой территории, во-вторых. Карту карста Южного Урала и Предуралья, по мнению авторов, целесообразнее всего составлять на основе современных ГИС-технологий.

Геонформационные системы (ГИС) предназначены для картирования и анализа пространственных объектов, они объединяют традиционные операции при работе с базами данных, такими как запросы и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляет традиционная географическая карта. В отличие от бумажных карт использование компьютерной техники позволяет отбирать нужную информацию и производить ее визуализацию в удобной для пользователя форме. При этом может меняться степень детализации — включаться или отключаться показ тех или иных слоев карты (рельеф, водные объекты, дорожная сеть, строения и т.д.), проводится генерализация при изменении масштаба. Кроме того, ГИС позволяют осуществлять интерактивное отображение информации с поддержкой взаимодействия с объектами на карте (например, получение информации о выбранном объекте) [Шарапов, 2014].

Возможности ГИС особенно актуальны для карста, так как оценка интенсивности и активности его развития осуществляется преимущественно по формам его проявления на поверхности через различные количественные показатели: плотность карстовых форм на единицу площади, пораженность территории поверхностными карстопоявлениями по типам карста, формам рельефа, неотектоническим структурам и другим таксономическим единицам его районирования. Эти количественные показатели достаточно легко и точно можно определить посредством ГИС. В связи с этим авторами разрабатывается ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья».

На сегодняшний день существует много программных продуктов зарубежного и отечественного производства, позволяющих создавать ГИС-проекты различного содержания (ArcGIS, ГИС MapInfo Professional, ActiveMap GS, ГИС «ИнГЕО» и др.).

Для создания ГИС-проекта «Карст Южного Урала и Предуралья» масштаба 1:500 000 используется программный продукт ГИС «Карта 2011», выпускаемый ЗАО Конструкторское бюро «Панорама» (г. Москва) — ведущей российской компанией в области разработки геоинформационных систем. При этом нами учитывалось следующее:

- постановление Правительства Российской Федерации от 16.11.2015 № 1236 «Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд»;
- соответствие ГИС «Карта 2011» всем актуальным нормативно-правовым документам включая: международные стандарты ISO 19100, нормативные документы европейской инициативы INSPIRE, ГОСТы Российской Федерации;
- наличие в ГИС «Карта 2011» цифрового классификатора geology.rsc, который создан в соответствии с требованиями ГОСТ 21.302-96, предназначенного для создания специальных инженерно-геологических объектов, в т.ч. проявлений карста;
- возможности редактирования и дополнения готовых классификаторов и создания новых в зависимости от поставленных задач.

ГИС «Карта 2011» — универсальная геоинформационная система, имеющая средства создания и редактирования цифровых карт и планов, обработки данных дистанционного зондирования Земли, выполнения различных измерений и расчетов, операций со слоями, построения 3D моделей, обработки растровых данных, средства подготовки графических документов в цифровом и печатном виде, а также инструментальные средства для работы с базами данных. В ГИС «Карта 2011» предусмотрен набор функций, ориентированных на обработку данных инженерно-геологических и карстологических изысканий местности, обработку результатов измерений, нанесение их на карту и формирование на основе метрического и семантического описания объектов инженерных чертежей в автоматическом и автоматизированном режиме [ГИС ПАНОРАМА].

Исходные данные

Исходными данными для карты карста Южного Предуралья масштаба 1:500 000 послужили производственные геологические отчеты ПГО «Башкиргеология»:

- *Смирнов А.И., Ткачев В.Ф.* Отчет об изучении экзогенных геологических процессов в юго-западной части Башкирский АССР и на Уфимском карстовом косогоре в 1982–1985 гг., г. Уфа, 1986 г.;
- *Смирнов А.И., Нагуманов Д.Г., Ткачев В.Ф.* Отчет по изучению экзогенных геологических процессов (ЭГП) в северной части Башкирской АССР и составлению карты ЭГП Башкирской АССР масштаба 1:2 500 000 за 1985–1989 гг., г. Уфа, 1989 г.;
- *Смирнов А.И.* Отчет по изучению экзогенных геологических процессов (ЭГП) в восточной части Республики Башкортостан за 1989–1994 гг. г. Уфа, 1994 г.

В отмеченных отчетах представлены средне-масштабные инженерно-геологические карты пораженности территории Башкирской АССР проявлениями ЭГП (в т. ч. карста) масштаба 1:200 000 и карты подверженности населенных пунктов и других народно-хозяйственных объектов воздействию ЭГП (в том числе карста).

Карты пораженности в этих отчетах составлены на основе дешифрирования аэрофотоснимков масштаба 1:17 500–1:25 000 залета 1953–1955 гг. с полевым изучением ЭГП на ключевых участках. Результаты дешифрирования проявлений ЭГП, в том числе карста, отображались по номенклатурным листам масштаба 1:25 000 и 1:100 000–1:200 000 на геологической основе съемочных листов и приложены к отчетам, которые содержатся в настоящее время в Башкортостанском филиале «ТФГИ по ПФО». Они послужили исходным материалом для отображения на карте карста Южного Предуралья поверхностных проявлений карста Южного Урала и Предуралья, а также таксономических единиц его типизации.

Карты подверженности населенных пунктов карстопроявлениями отражают степень воздействия ЭГП на них, определенную в 1979 г. по методике ВСЕГИНГЕО «Методические рекомендации по проведению специального инженерно-геологического обследования и составлению карт районов, потенциально опасных и подверженных оползням, обвалам и другим экзогенным геологическим процессам».

Ценность карт подверженности для составления сводной карты карста Южного Предуралья заключается в том, что на них отображены карстовые провалы и воронки с фиксированным временем образования. Они установлены по фондовым и архивным источникам, а также по данным полевого

обследования населенных пунктов (Смирнов А.И., Ткачев В.Ф., 1986 г., Смирнов А.И., Нагуманов Д.Г., Ткачев В.Ф., 1989 г., Смирнов А.И. 1994 г.). Исходные фондовые материалы будут дополнены работами последних лет по современной типизации карста и его активности [Абдрахманов, Смирнов, 2016; Смирнов, 2004а, б, 2005, 2013, 2014, 2015, 2018].

ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья» создается в системе координат Пулково-42, так как именно в этой системе координат отображена исходная информация по карсту на бумажных носителях, содержащихся в производственных геологических отчетах. Кроме того, в этой системе координат создана кондиционная топографическая основа масштаба 1:500 000 (2005 г.), на основе которой будет отображаться специальное содержание карты.

Следует особо подчеркнуть, что ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья» масштаба 1:500 000 не затрагивает территории города Уфы, для которой необходимо отдельное крупномасштабное картографическое отображение карста.

Результаты исследований

На сегодня для ГИС-проекта «Карст Южного Урала и Предуралья» разработана его структура и определены основные и вспомогательные группы слоев.

Основная группа слоев:

1. Современное районирование карста Южного Урала и Предуралья с отображением границ развития различных его типов:

- по условиям питания подземных вод;
- по характеру рельефа и условиям залегания карстующихся пород;
- по составу карстующихся пород;
- по степени перекрытости карстующихся пород некарстующимися.

2. Проявления карста как поверхностные, так и подземные:

- карстовые воронки, объединенные в масштабе карты в карстовые поля;
- карстовые поля и отдельные карстовые воронки;
- провалы и воронки с известной датой образования;
- аномально крупные провалы и воронки (поперечником и глубиной более 15 м) с известной датой образования;
- высокодебитные карстовые родники;

— карстовые пещеры протяженностью 100 м и более;

— карстовые пещеры — памятники природы;

— другие проявления карста.

Дополнительная группа слоев:

3. Контуры наиболее врезанной части палеодолин рек.

4. Контуры неотектонических структур различных порядков.

5. Границы муниципальных районов.

Вполне возможно, что перечень слоев может быть изменен и дополнен, а специальное его содержание будет сопровождаться группой слоев кондиционной топографической основы масштаба 1:500 000 (2005 г.) и 1:100 000 (2007 г.).

На сегодня исходная информация по поверхностным проявлениям карста (воронки, поля) на бумажных носителях в виде растровых изображений загружена в ГИС-проект. Средствами ГИС «Карта 2011» осуществлена ее трансформация, координат-

ная привязка и векторизация. При этом оцифровка карстовых воронок и полей самая трудоемкая операция в создании ГИС-проекта. Кроме того, в проект введена информация по карстовым пещерам протяженностью 100 м и более (~140 шт.) с атрибутивными данными: возраст карстующихся пород, длина, площадь, объем, глубина, амплитуда.

Хранение данных осуществляется в базе, состоящей из нескольких взаимосвязанных таблиц в формате DB. Растры хранятся в формате RSW, а пользовательские векторные карты — в формате SIT [Соколова, 2007].

В дальнейшем, используя возможности программного продукта ГИС «Карта 2011», будут получены количественные показатели интенсивности развития карста по его типам и другим таксономическим единицам районирования территории Южного Урала и Предуралья.

Ниже на рисунке представлено окно программы ГИС «Карта 2011» — ГИС-проект «Карст

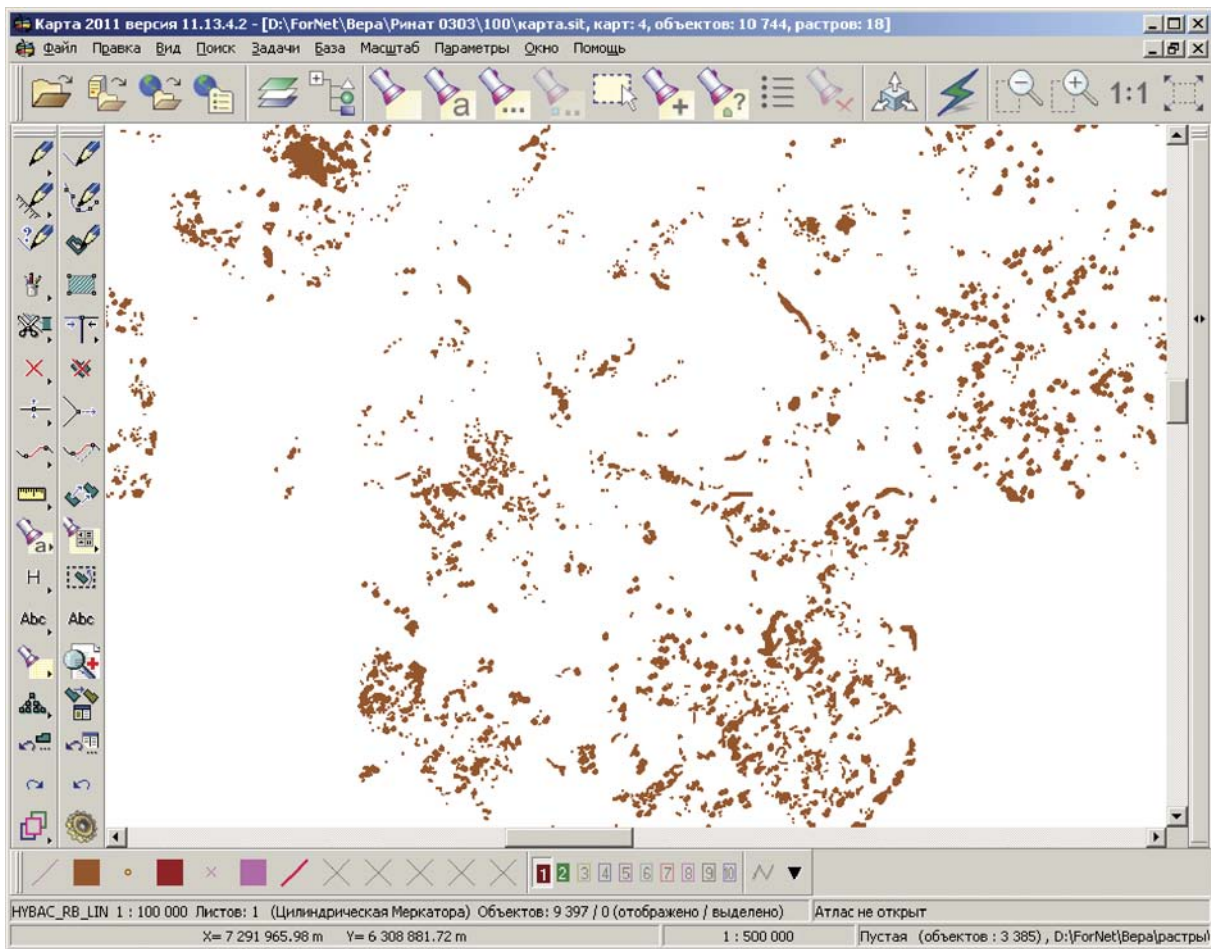


Рис. Фрагмент ГИС-проекта «Карст Южного Урала и Предуралья» в окне ГИС «Карта 2011»

Fig. A fragment of the GIS project «Karst of the Southern Urals and CIS-Urals» GIS «Map 2011»

Южного Урала и Предуралья» с открытыми рабочими слоями «карстовые поля» и «карстовые воронки» масштаба 1:500 000.

Выводы

Карта карста Южного Урала и Предуралья масштаба 1:500 000 составляется впервые. Она, несомненно, будет полезна и востребована при планировании строительства новых отдельных социально-экономических объектов, при разработке генеральных схем расширения существующих населенных пунктов и проектировании новых, планировании строительства протяженных линейных объектов (продуктопроводов, ЛЭП и т.п.) и др.

Создание карты карста, как самого опасного геологического процесса рассматриваемой территории, с использованием современных ГИС-технологий имеет важное как научное, так и практическое значение, так как составление карты на основе программного продукта ГИС «Карта 2011» делает ее не статичной, а динамичной. Действительно, возможности ГИС позволяют оперативно вводить новые данные, производить пространственный и временной их анализ, оценивать и прогнозировать наблюдаемые события и явления по развитию карста.

Все это делает карту карста, составленную посредством ГИС «Карта 2011», постоянно обновляемой с возможной ее детализацией как в целом по всей рассматриваемой территории, так и по отдельным ее частям с изменением масштаба от 1:100 000 до 1:1 000 000. То есть использование ГИС-технологий в изучении ОГП является весьма эффективным и позволяет минимизировать временные затраты.

В заключение следует также отметить, что на основе ГИС-проекта «Карст Южного Урала и Предуралья» в дальнейшем возможно создание геоинформационных систем, позволяющих обеспечить к нему массовый доступ на основе современных информационно-коммуникационных технологий. Например, создание интерактивных карт — электронных карт, работающих в режиме двустороннего диалогового взаимодействия человека (пользователя) и компьютера и представляющих собой визуальную информационную систему. Среди таких интерактивных карт можно назвать карты: карстоопасности территории, современных карстовых провалов с фиксированным временем образования, подверженности населенных пунктов воздействию карста и другие.

Работа выполнена по теме № 0252-2014-0017.

Список литературы:

Абдрахманов Р.Ф., Смирнов А.И. Карст Южного Предуралья и его активизация под влиянием техногенеза // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. — 2016. — № 4. — С. 353–361.

ГИС ПАНОРАМА :: ГИС Карта 2011 :: GIS ToolKit :: GIS WebServer [сайт]: URL: <http://gisinfo.ru/> (дата обращения: 02.02.2018).

Карст Башкортостана / *Р.Ф. Абдрахманов, В.И. Мартин, В.Г. Попов, А.П. Рождественский, А.И. Смирнов, А.И. Травкин.* — Уфа: Информреклама, 2002. — 384 с.

Родионов Н.В. Карст Европейской части СССР, Урала и Кавказа. — М.: Госгеолтехиздат, 1963. — 175 с.

Смирнов А.И. Типы карста и современная активность его развития на Южном Урале и в Предуралье // Карстование — XXI век: теоретическое и практическое значение: Матер. междунар. симпози. — Пермь, 2004а. — С. 90–94.

Смирнов А.И. Оценка воздействия карстового процесса на населенные пункты Республики Башкортостан // Карстование — XXI век: теоретическое и практическое значение: Матер. междунар. симпози. — Пермь, 2004б. — С. 325–328.

Смирнов А.И. Карст // Атлас Республики Башкортостан. — Уфа: Китап, 2005. — С. 60.

Смирнов А.И. Аномально крупные карстовые провалы Южного Урала и Предуралья // Геологический сборник № 10 / ИГ УНЦ РАН. Уфа: ДизайнПресс, 2013. — С. 50–56.

Смирнов А.И. Открытый сульфатный карст Южного Предуралья. Геологический сборник № 11 / ИГ УНЦ РАН. — Уфа: ДизайнПресс, 2014. С. 243–248.

Смирнов А.И. Оценка карстовой опасности Южного Урала и Предуралья. Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах. // Материалы Международного симпозиума. — Пермь, 2015. — С. 194–198.

Смирнов А.И. Опасные геологические процессы Южного Урала и Предуралья. Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире. // Матер. 9-й Междунар. науч.-практ. конф. «ГЕОРИСК–2015». — М., 2015. — С. 380–386.

Смирнов А.И. Карта сульфатного карста Южного Предуралья (содержание, принципы и методика построения) // Инженерная геология. — 2018. — № 1. — С. 52–60.

Смирнов А.И., Абдрахманов Р.Ф. Карстоопасность территории Республики Башкортостан // Вестник Академии наук РБ. — 2007. — Т. 12, № 2. — С. 5–11.

Соколова И.А. Методика структурирования данных для информационного моделирования геологической среды // Геопрофи. — 2007. — № 6. — С. 14–18.

Шаранов Р.В. Визуализация динамики развития карстов в системе наблюдения за карстовыми процессами // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: Труды 16-й Всерос. науч. конф. — RCDL-2014, Дубна, Россия, 13–16 окт. 2014 г. [Электронный ресурс] — С. 275–279. — URL: http://rcdl.ru/doc/2014/paper/RCDL2014_275-279.pdf (дата обращения 05.07.2018)

References:

Abdrakhmanov R.F., A.I., Smirnov A.I. Karst Juzhnogo Predural'ja i ego aktivizacija pod vlijaniem tehnogeneza [Karst of the Southern Cis-Urals and its activation under the influence of

technogenesis] // Geojekologija, inzhenernaja geologija, gidrogeologija, geokriologija 2016. No. 4. P. 353–361 (in Russian).

GIS PANORAMA :: GIS Karta 2011 :: GIS ToolKit :: GIS ShhebServer [web]: URL: <http://gisinfo.ru/> (date: 02.02.2018).

Karst Bashkortostana [Karst of Bashkortostan] / *R.F. Abdrakhmanov, V.I. Martin, V.G. Popov, A.P. Rozhdestvenskii, A.I. Smirnov, A.I. Travkin*. Ufa: Informreklama, 2002. 384 p. (in Russian).

Rodionov N.V. Karst Evropejskoi chasti SSSR, Urala i Kavkaza [Karst of the European part of the USSR, the Urals and the Caucasus]. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1963. 175 p. (in Russian).

Sharapov R.V. Vizualizacija dinamiki razvitiya karstov v sisteme nabljudenija za karstovymi processami [Visualization of dynamics of development of clusters in the system of monitoring of karst processes] // Trudy 16-i Vserossijskoi nauchnoi konferencii "Jelektronnye biblioteki: perspektivnye metody i tehnologii, jelektronnye kolekcii" — RCDL-2014, Dubna, Russia. 13–16 october 2014. P. 275–279. [web]: URL: http://rcdl.ru/doc/2014/paper/RCDL2014_275-279.pdf (date: 05.07.2018) (in Russian).

Smirnov A.I. Tipy karsta i sovremennaja aktivnost' ego razvitiya na Juzhnom Urale i v Predural'e [Types of karst and the current activity of its development in the Southern Urals and in the Cis-Urals] // Karstovedenie — XXI vek: teoreticheskoe i prakticheskoe znachenie: Materialy mezhdunar. simpoziuma. Perm', 2004a. P. 90–94 (in Russian).

Smirnov A.I. Ocenka vozdeystvija karstovogo processa na naselennye punkty Respubliki Bashkortostan [Assessment of the impact of the karst process on settlements of the Republic of Bashkortostan] // Karstovedenie — XXI vek: teoreticheskoe i prakticheskoe znachenie: Materialy mezhdunar. simpoziuma. Perm', 2004b. P. 325–328 (in Russian).

Smirnov A.I. Karst [Karst] // Atlas Respubliki Bashkortostan. Ufa: Kitap, 2005. P. 60 (in Russian).

Smirnov A.I. Anomal'no krupnye karstovye provaly Juzhnogo Urala i Predural'ja [Abnormally large karst failures of the Southern Urals and Cis-Urals]. Geologicheskii sbornik No. 10 / IG UNC RAS. Ufa: DesignPress, 2013. P. 50–56 (in Russian).

Smirnov A.I. Otkryti sul'fatnyi karst Juzhnogo Predural'ja [Open sulfate karst of the Southern Cis-Urals]. Geologicheskii sbornik No. 1. Ufa: DesignPress, 2014. P. 243–248 (in Russian).

Smirnov A.I. Ocenka karstovoi opasnosti Juzhnogo Urala i Predural'ja. Jekologicheskaja bezopasnost' i stroitel'stvo v karstovykh rajonah [Estimation of the karst danger of the Southern Urals and Urals. Environmental safety and construction in karst areas] // Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma. Perm', 2015. P. 194–198 (in Russian).

Smirnov A.I. Opasnye geologicheskie processy Juzhnogo Urala i Predural'ja. Analiz, prognoz i upravlenie prirodnyimi riskami v sovremennom mire [Dangerous geological processes in the Southern Urals and Cis-Urals. Analysis, forecast and management of natural risks in the modern world] // Mater. 9-i Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «GEORISK–2015». Moscow, 2015. P. 380–386 (in Russian).

Smirnov A.I. Karta sul'fatnogo karsta Juzhnogo Predural'ja (soderzhanie, principy i metodika postroenija) [Map of the sulfate karst of the Southern Cis-Urals (content, principles and methodology of construction)] // Inzhenernaja geologija. 2018. No. 1. P. 52–60 (in Russian).

Smirnov A.I., Abdrakhmanov R.F. Karstoopasnost' territorii Respubliki Bashkortostan [Karst danger of the territory of the Republic of Bashkortostan] // Vestnik Akademii nauk RB. 2007. T. 12, No. 2. P. 5–11 (in Russian).

Sokolova I.A. Metodika strukturirovanija dannyh dlja informacionnogo modelirovanija geologicheskoi sredy [Method of data structuring for information modeling of geological environment] // Geoprofi. 2007. No. 6. P. 14–18 (in Russian).

Сведения об авторах:

Смирнов Александр Ильич, кандидат геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

Абдрахманов Рафил Фазылович, доктор геол.-мин. наук, профессор, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

Дурнаева Вера Николаевна, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

About the authors:

Smirnov Aleksandr Ilich, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru

Abdrakhmanov Rafil Fazilovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru

Durnaeva Vera Nikolayevna, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru