

# МОНИТОРИНГ КАРСТОВОГО ПРОЦЕССА ЮЖНОГО УРАЛА И ПРЕДУРАЛЬЯ (СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ И МЕТОДЫ ВЕДЕНИЯ)



Карстовый провал в Ленинском районе г. Уфа напротив жилого дома № 7 по ул. Болотной. Дата образования — 19.11.2018 г. Фото А.И. Смирнова

## СМИРНОВ А.И.

Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г. Уфа, Россия, [smail@mail.ru](mailto:smail@mail.ru)

Адрес: ул. Карла Маркса, д. 16/2, г. Уфа, 450077, Россия

Оригинальная статья

Поступила в редакцию 11.02.2019 / Принята к публикации 26.09.2019 / Дата публикации 30.09.2019

© ООО «Геомаркетинг», 2019

## Аннотация

Территория Южного Урала и Предуралья — классический регион развития сульфатного и карбонатного карста. В его пределах карстующиеся породы распространены на 50% территории, почти 30% площади поражено поверхностными карстовыми формами, 45% городского и не менее 20% сельского населения проживает в районах проявления карста. Для региона весьма актуальным является прогноз развития данного процесса с целью оценки опасности и риска, оперативного и своевременного предупреждения его воздействия на инженерные сооружения и социально-экономические объекты. Прогнозирование активизации карста возможно на основе данных мониторинга, который на территории Южного Урала и Предуралья сегодня должным образом не организован и не ведется, научно обоснованная наблюдательная сеть отсутствует. На основе современной типизации территории по условиям питания подземных вод и интенсивности увлажнения, характеру рельефа, условиям залегания и составу карстующихся пород, характеру и степени их перекрытости некарстующимися породами, а также карстоопасности региона с учетом его хозяйственного освоения разработана региональная схема наблюдательной сети мониторинга карстового процесса. Она состоит из 16 наблюдательных участков, которые охватывают все встречающиеся на территории Башкортостана типы карста. Определены методы ведения мониторинга регионального уровня. Предлагаемая сеть наблюдения за активностью развития карста рекомендуется для внедрения на территории Республики Башкортостан в составе подсистемы мониторинга опасных экзогенных геологических процессов, являющейся неотъемлемой составной частью системы мониторинга состояния недр Российской Федерации. Данные режимных наблюдений планируется хранить и обрабатывать с использованием отечественного программного продукта ГИС «Карта 2011».

## Ключевые слова:

мониторинг карстового процесса; Республика Башкортостан; Южный Урал; Южное Предуралье; сульфатный карст; карбонатный карст; кластокарст; наблюдательные участки

## Благодарности:

работа выполнена по теме № 0246-2019-0086.

## Ссылка для цитирования:

Смирнов А.И., 2019. Мониторинг карстового процесса Южного Урала и Предуралья (современное состояние, принципы организации и методы ведения). Инженерная геология, Том XIV, № 3, с. 58–67, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2019-14-3-58-67>.

# MONITORING OF KARST PROCESS IN THE SOUTH URALS AND CIS-URALS (CURRENT STATUS, PRINCIPLES OF ORGANIZATION AND MANAGEMENT METHODS)

ALEXANDER I. SMIRNOV

*Institute of Geology, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia, smail@mail.ru*

*Address: Bld. 16/2, Karl Marx St., 450077, Ufa, Russia*

*Original paper*

*Received 11 February 2019 / Accepted 26 September 2019 / Published 30 September 2019*

*© "Geomarketing" LLC, 2019*

## Abstract

The territory of Southern Ural and Cis-Urals is a classic region of development of sulfate and carbonate karst. Within it, karst rocks are spread over 50% of the territory, almost 30% of the area is affected by surface karst forms, 45% of the urban and at least 20% of the rural population live in karst development areas. For the region, it is very relevant to predict the development of this process in order to assess danger and risk, to prevent its impact on engineering facilities and socio-economic facilities in a prompt and timely manner. Forecasting of karst activation is possible on the basis of monitoring data, which is not properly organized and conducted in the territory of Southern Ural and Cis-Urals today, there is no scientifically based observational network. On the basis of modern typification of the territory by conditions of ground water nutrition and moistening intensity, landform, bedding conditions and composition of karst rocks, the nature and degree of their overlap by non-karst rocks, as well as karst danger of the region taking into account its economic development, a regional scheme of the karst monitoring network has been developed. It consists of 16 observation sites, which cover all the types of karst found in the territory of Bashkortostan. Methods of monitoring at the regional level are defined. The proposed network for monitoring the development karst at the regional level is recommended for implementation in the Republic of Bashkortostan as part of the monitoring subsystem of dangerous exogenous geological processes, which is an integral part of the system of monitoring the state of the subsoil of the Russian Federation. It is planned to store and process the data of mode observations using the GIS "Map 2011" domestic software product.

## Key words:

monitoring of karst process; Republic of Bashkortostan; Southern Urals; Southern Cis-Urals; sulphate karst; carbonate karst; clastokarst; observation sites

## Acknowledgements:

the work was performed to project No. 0246-2019-0086.

## For citation:

Smirnov A.I., 2019. Monitoring of karst process in the South Urals and Cis-Urals (current status, principles of organization and management methods). *Engineering Geology World*, Vol. XIV, No. 3, pp. 58–67, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2019-14-3-58-67>.

## Введение

Мониторинг карстового процесса является составной частью мониторинга опасных экзогенных геологических процессов (ОЭГП) и через систему наблюдений за состоянием недр входит в общую систему мониторинга окружающей среды.

В 1974 г. программой ЮНЕСКО мониторинг окружающей среды определен как система регулярных наблюдений в пространстве и во времени, дающая информацию о прошлом и настоящем состоянии окружающей среды, что позволяет прогнозировать изменение ее параметров, имеющих значение для жизнедеятельности человека.

Существующие многочисленные определения мониторинга карстового процесса в различных модификациях по своей сути отражают главную цель мониторинга окружающей среды, в данном случае — прогноз развития карста для оперативного и своевременного предупреждения его воздействия на инженерные сооружения и социаль-

но-экономические объекты, а также для оценки опасности и риска провалообразования.

Целью исследований является разработка наблюдательной сети регионального уровня мониторинга карстового процесса Южного Урала и Предуралья в границах Республики Башкортостан (РБ) и рекомендаций по его осуществлению.

## Современное состояние мониторинга карстового процесса в Башкортостане и на сопредельных территориях

По данным государственных докладов субъектов Российской Федерации (РФ) о состоянии окружающей среды в Башкортостане и сопредельных с ним территориях наблюдательная сеть мониторинга опасных геологических процессов (карста) включает 23 участка, в том числе:

— 15 участков, на которых ведутся наблюдения за процессами оседания и обрушения поверхности над горны-

ми выработками (Пермский край — 11, Свердловская область — 3, Челябинская область — 1);

— 8 участков мониторинга карстово-суффозионных процессов (Республика Башкортостан — 2, Свердловская и Челябинская области 5 и 1 соответственно).

Наибольшее количество наблюдательных участков за карстом организовано в Пермском крае, где работы ведутся методом оперативного обследования оседаний дневной поверхности над горными выработками при разработке месторождений калийной соли. Аналогичные наблюдения за карстом на месторождениях твердых полезных ископаемых ведутся в Свердловской и Челябинской областях. Более того, указанные субъекты РФ являются лидерами по количеству наблюдательных участков мониторинга карстового процесса, на которых проводятся комплексные наблюдения за состоянием недр.

В ряде субъектов РФ наблюдательная сеть мониторинга карстового процесса полностью отсутствует. Так, например, в Республике Татарстан на 01.01.2019 нет ни одного наблюдательного участка, хотя закарстованность ее территории в процентном отношении соизмерима с закарстованностью территории Башкортостана.

Несмотря на то, что карстующиеся породы в РБ развиты на половине ее территории, научно обоснованная наблюдательная сеть мониторинга карстового процесса регионального уровня в республике отсутствует, а наблюдения за карстом осуществляются только на двух участках: Сахаевском — в Кармаскалинском районе и «Уфимском карстовом косогоре» в г. Уфа. Специалистами отделения мониторинга по РБ филиала «Приволжский РЦ ГМСН» ФГБУ «Гидроспецгеология» ведутся наблюдения за активностью сульфатного закрытого («Уфимский карстовый косогор») и перекрытого (Сахаевский участок) карста в гипсах кунгурского яруса нижней перми.

На остальной территории РБ мониторинг ведется путем оперативного обследования вновь образующихся карстовых провалов специалистами отделения мониторинга по РБ филиала «Приволжский РЦ ГМСН» ФГБУ «Гидроспецгеология», ООО «Архстройизыскания» и Института геологии Уфимского федерального исследовательского центра (УФИЦ) РАН, между которыми осуществляется постоянный обмен данными.

### **Методика организации и ведения мониторинга карстового процесса и исходные материалы**

Методологические основы организации и ведения мониторинга экзогенных геологических процессов (ЭГП) заложены институтом ВСЕГИНГЕО и приведены в следующих основных методических пособиях:

— Методические рекомендации по проведению специального инженерно-геологического обследования и составлению карт районов потенциально опасных и подверженных оползням, обвалам и другим экзогенным геологическим процессам, 1979. Под ред. М.М. Максимова, А.И. Шеко. ВСЕГИНГЕО, Москва;

— Методика изучения и прогноза экзогенных геологических процессов, 1988. Под ред. А.И. Шеко, В.С. Круподерова. ВСЕГИНГЕО, Москва;

— Методические рекомендации по организации и ведению государственного мониторинга экзогенных геологических процессов, 1997. Под ред. А.И. Шеко, В.С. Круподерова и др. ВСЕГИНГЕО, Москва.

На актуальность организации и ведения мониторинга карстового процесса указывается и в территориальных строительных нормах (ТСН): Республики Башкортостан (ТСН 302-50-95 РБ, 1996), Нижегородской области (ТСН 22-308-98, 1999), Пермского края (ТСН 11-301-2004 и ТСН 22-304-06, 2006). Организация и ведение мониторинга карстового процесса предопределены также ГОСТ Р 22.1.06-99 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных геологических явлений и процессов. Общие требования». Данному виду мониторинга посвящен и ряд научных публикаций [4, 6–11, 17, 18 и др.], в которых рассматривается опыт его создания и осуществления.

Согласно методологическим разработкам института ВСЕГИНГЕО [20] и методическим рекомендациям Министерства природных ресурсов России по составлению и ведению реестра наблюдательной сети мониторинга ЭГП (2000 г.), наблюдательные участки мониторинга карстового процесса по назначению подразделяются на три категории: государственные опорные (региональные), ведомственные, муниципальные (субрегиональные) и локальные (объектные).

Главной целью наблюдений на всех участках является оценка активности развития карста, которая в зависимости от назначения участков определяется с различной точностью и детальностью. В обобщенном виде оценку активности развития карста на участках различных категорий можно представить следующим образом:

— на региональном и субрегиональном уровнях она оценивается частотой вновь образовавшихся карстовых форм и активизацией существующих;

— на локальном — морфометрическими показателями, отражающими масштаб проявлений карста;

— на объектном — степенью деформации инженерных сооружений.

В соответствии с современными представлениями о мониторинге ЭГП в организации и ведении мониторинга карстового процесса можно выделить четыре последовательных этапа:

1. Определение основных условий и факторов развития карста, оценка интенсивности распространения и степени воздействия его проявлений на инженерные сооружения и социально-экономические объекты.

2. Организация наблюдательной сети, состоящей из типовых участков различных категорий, позволяющих получать количественные данные об активности развития карста с различной точностью и детальностью.

3. Режимные наблюдения на участках, направленные на изучение режима развития карста, данные о котором являются основой прогнозирования его активизации.

4. Составление прогнозов развития карста для оценки опасности и риска, оперативного и своевременного предупреждения о возможных внезапных и катастрофических его активизациях.

Сегодня можно утверждать, что первый этап организации мониторинга карстового процесса на Южном Урале и Предуралье в границах РБ завершен. По методике института ВСЕГИНГЕО («Методические рекомендации по проведению специального инженерно-геологического обследования и составлению карт районов потенциально опасных ...», 1979 г.) для Башкортостана составлены инженерно-геологические карты пораженности территории проявлениями ЭГП (в том числе карста) и карты подвер-



женности населенных пунктов воздействию этих процессов масштаба 1:200 000. Они содержатся в производственных отчетах ПГО «Башкиргеология» (Смирнов А.И., Ткачев В.Ф., 1986 г.; Смирнов А.И., Нагуманов Д.Г., Ткачев В.Ф., 1989 г.; Смирнов А.И., 1994 г.). Кроме того, составлены сводные карты карста РБ [1, 2, 5, 13], произведена общая оценка подверженности населенных пунктов его воздействию [12], определена карстоопасность территории Башкортостана [14].

Второй этап организации мониторинга карстового процесса является наиболее ответственным, так как от правильного выбора репрезентативных наблюдательных участков во многом зависит достоверность прогноза активизации данного процесса на площадях со сходными условиями и факторами развития.

В настоящей работе рассматриваются принципы организации и методы ведения мониторинга карстового процесса регионального уровня.

### **Общие сведения о карсте Южного Урала и Предуралья**

Территория Южного Урала и Предуралья — классический регион развития сульфатного и карбонатного карста. В его пределах карстующиеся породы распространены на 50% территории, почти 30% площади поражено поверхностными проявлениями карста, 45% городского и не менее 20% сельского населения проживает в районах развития карста. Ежегодно в РБ фиксируются около десяти новых карстовых провалов, а один раз в 5–6 лет возникают аномально крупные провалы диаметром до 40 м и глубиной более 15 м [15].

Сведения о карсте рассматриваемого региона содержатся в более 400 научных публикациях и в не менее 8 000 производственных инженерно-геологических отчетах по закарстованным территориям, а также в отчетах по геологической и гидрогеологической съемкам [16].

В 2002 г. коллективом специалистов составлена монография «Карст Башкортостана» [1], в которой обобщены сведения о карсте почти за 300 лет его исследований в регионе и приведена первая карта типов карста РБ В.И. Мартина [5]. Позже произведена ее детализация [5], которая нашла отображение в 2005 г. в Атласе Республики Башкортостан в виде карты карста масштаба 1:2 500 000. На ней, кроме уточненных границ распространения типов карста В.И. Мартина, приведена пораженность территории поверхностными проявлениями карста [13].

При составлении карты сульфатного карста Башкортостана разработана современная типизация карста рассматриваемого региона [16]. Кроме того, определена карстоопасность территории республики, которая оценена следующим образом [14]:

1. Весьма опасная — территории с пораженностью проявлениями карста более 25% и современной интенсивностью провалообразования 0,5–2,0 провала в год на 1 км<sup>2</sup>.

2. Опасная — территории с пораженностью проявлениями карста 15–25% и современной интенсивностью провалообразования 0,01–0,5 провала в год на 1 км<sup>2</sup>.

3. Умеренная — территории с пораженностью проявлениями карста 5–15% и современной интенсивностью провалообразования 0,01–0,1 провала в год на 1 км<sup>2</sup>.

4. Малоопасная — территории с пораженностью 1–5% и современной интенсивностью провалообразования менее 0,01 провала в год на 1 км<sup>2</sup>.

5. Потенциально опасная — территории с пораженностью 0,1–1% и современной интенсивностью провалообразования менее 0,001–0,01 провала в год на 1 км<sup>2</sup>.

6. Неопасная — территории, на которых отсутствуют условия и факторы проявления карста на поверхности.

Таким образом, изученность карста рассматриваемого региона вполне достаточна для организации мониторинга регионального уровня.

### **Принципы организации мониторинга карстового процесса**

Главной целью организации и ведения мониторинга карстового процесса является оценка состояния недр закарстованных территорий с целью их оптимального освоения.

Сегодня уже общепризнано, что мониторинг карстового процесса регионального уровня наиболее рационально производить на репрезентативных участках с различными типами карста, результаты наблюдения на которых распространяются на площади со сходными условиями и факторами его развития. В связи с этим основной задачей мониторинга карстового процесса является организация научно обоснованной наблюдательной сети регионального уровня. В свою очередь выбор наблюдательных участков должен основываться на определенных критериях, учитывающих условия и факторы развития карста:

1. Физико-географические условия и интенсивность увлажнения территории.

2. Степень геологической изученности территории и карста.

3. Представительность участка по:  
— условиям питания подземных вод;  
— характеру рельефа и условиям залегания карстующихся пород;

— составу карстующихся пород;  
— характеру и степени перекрытости карстующихся пород некарстующимися.

4. Карстоопасность территории.

5. Степень хозяйственной освоенности территории.

На рисунке представлена Карта типизации карста территории Республики Башкортостан [по 1–3, 5], на которую нанесена предлагаемая автором наблюдательная сеть мониторинга карстового процесса рассматриваемого региона, а в табл. 1 и 2 — краткая характеристика наблюдательных участков.

Исходя из принципов организации наблюдательной сети мониторинга карстового процесса, восемь участков предлагается расположить в наиболее освоенной в хозяйственном отношении части Башкортостана в районах развития сульфатного карста, где он проявляется на поверхности наиболее активно в виде карстовых провалов. При этом существующий Сахаевский участок, на котором наблюдения сегодня ведутся только за перекрытым карстом в гипсах кунгурского яруса нижней перми, предлагается включить в состав Охлебининского участка.

По два участка предлагается разместить в районах распространения сульфатно-карбонатного карста (Артакульский и Азнаевский) и кластокарста (Уранский и Улькиндский), на которых активность появления новых форм хотя и меньше, чем сульфатного, но масштабы образования карстовых провалов в их пределах, а также степень их воздействия на инженерные сооруже-

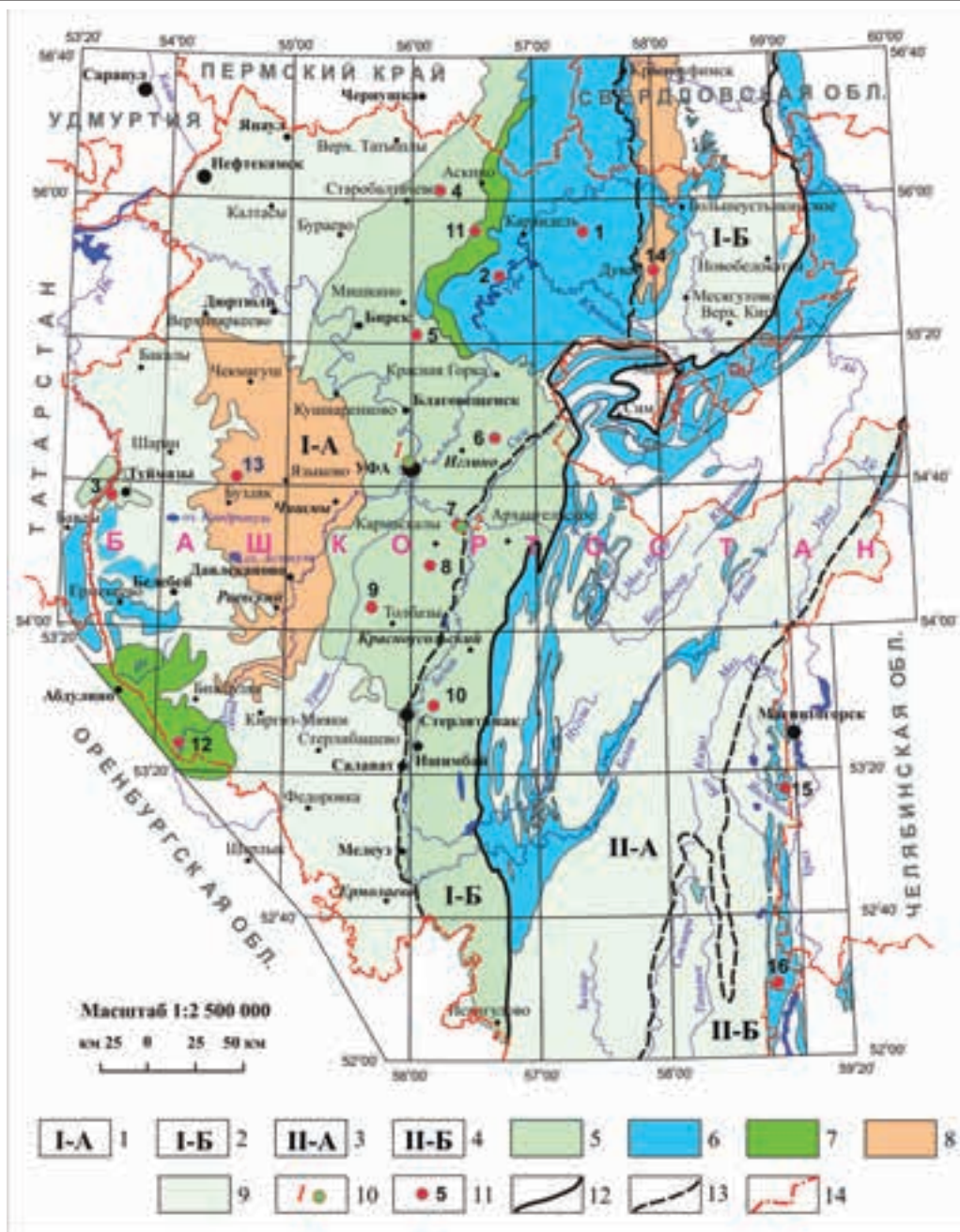


Рис. Карта типизации карста территории Республики Башкортостан [по 1–3, 5] с предлагаемыми участками наблюдательной сети мониторинга карстового процесса регионального уровня: I — карстовая страна Восточно-Европейской равнины: 1 — (I-A) равнинный карст в горизонтально и пологозалегающих породах Предуралья, 2 — (I-B) равнинный и предгорный карст Предуралья в пологозалегающих и слабо дислоцированных породах; II — Уральская карстовая страна: 3 — (II-A) горный карст в сильно дислоцированных образованиях Урала, 4 — (II-B) равнинный карст в складчато-глыбовых отложениях Зауралья; типы карста: 5 — сульфатный, 6 — карбонатный, 7 — сульфатно-карбонатный, 8 — кластокарст, 9 — площади с отсутствием карста в пределах РБ; наблюдательные участки и их номера: 10 — существующие: 1 — «Уфимский карстовый косогор», 2 — Сахаевский; 11 — рекомендуемые: 1 — Каировский, 2 — Хорошчаевский, 3 — Максютковский, 4 — Кигазинский, 5 — Янагушевский, 6 — Тавтимановский, 7 — Охлебининский, 8 — Карламанский, 9 — Курманаевский, 10 — Ишеевский, 11 — Артакульский, 12 — Азнаевский, 13 — Уранский, 14 — Улькундинский, 15 — Янгельский, 16 — Уртазымский; границы: 12 — карстовых стран, 13 — типов карста по характеру рельефа и условиям залегания горных пород, 14 — субъектов Российской Федерации

Fig. Map of karst typification of the territory of the Republic of Bashkortostan [1–3, 5] with the proposed sections of the monitoring network for monitoring karst process at the regional level: I — karst country of the East European Plain: 1 — (I-A) flat karst in horizontally and gently lying rocks of the Cis-Urals, 2 — (I-B) flat and submontane karst of the Cis-Urals in gently lying and weakly disturbed rocks; II — Ural karst country: 3 — (II-A) mountain karst in heavily disturbed formations of the Urals, 4 — (II-B) flat karst in folded-block deposits of the Trans-Urals; types of karst: 5 — sulfate, 6 — carbonate, 7 — sulfate-carbonate, 8 — clastokarst, 9 — areas with no karst within the RB; observation sites and their numbers: 10 — existing: 1 — “Ufa karst slope”, 2 — Sakhaevsky; 11 — recommended: 1 — Kairovsky, 2 — Khoroschaevsky, 3 — Maksyutovsky, 4 — Kigazinsky, 5 — Yanagushevsky, 6 — Tavtimanovskiy, 7 — Okhlebininsky, 8 — Karlamansky, 9 — Kurmanaevsky, 10 — Ischeevsky, 11 — Artakulsky, 12 — Aznaevsky, 13 — Uransky, 14 — Ulkundinsky, 15 — Yangelsky, 16 — Urtazymsky; borders: 12 — karst countries, 13 — types of karst according to the nature of the relief and the conditions of occurrence of rocks, 14 — subjects of the Russian Federation

Таблица 1  
Table 1

<b>Местоположение наблюдательных участков региональной системы мониторинга на территории Республики Башкортостан</b> Location of observation sites of the regional monitoring system in the Republic of Bashkortostan				
№ участка на рис.	Наименование участка	Координаты условного центра		Местоположение относительно муниципального района и основного населенного пункта
		с.ш	в.д.	
<b>Карстовая страна Восточно-Европейской равнины</b> Карбонатный карст				
1	Каировский	55°49'48''	57°23'14''	Караидельский район РБ, д. Каирово
2	Хорошаевский	55°37'36''	56°38'54''	Караидельский район РБ, дд. Хорошаево, Дубровка
<b>Карстовая страна Восточно-Европейской равнины</b> Сульфатный карст				
3	Максютовский	54°35'05''	53°31'50''	Туймазинский район РБ, с. Япрыково, д. Максютово
4	Кигазинский	56°02'20''	56°14'49''	Аскинский район РБ, сс. Кигазы, Мата
5	Янагушевский	55°22'38''	55°58'40''	Мишкинский район РБ, с. Янагушево
6	Тавтимановский	54°52'58''	56°38'44''	Иглинский район РБ, с. Тавтиманово
7	Охлебининский	54°29'08''	56°22'40''	Иглинский район РБ, с. Охлебинино, Кармаскалинский район РБ д. Сахаево
8	Карламанский	54°16'44''	56°10'07''	Кармаскалинский район РБ, дд. Антоновка, Мурсяково
9	Курманаевский	54°07'15''	55°41'20''	Аургазинский район РБ, с. Курманаево
10	Ишеевский	53°37'20''	56°05'48''	Ишимбайский район РБ, с. Ишеево, д. Янги-Аул
Сульфатно-карбонатный карст				
11	Артакульский	55°51'15''	56°28'46''	Караидельский район РБ, с. Артакуль
12	Азнаевский	53°30'01''	54°22'59''	Бижбулякский район РБ, с. Азнаево
Кластокарст				
13	Уранский	54°03'01''	54°25'18''	Буздякский район РБ, д. Ураново
14	Улкундинский	56°37'32''	57°58'08''	Дуванский район РБ, с. Улькинды
<b>Равнинный карст Зауралья (Уральская карстовая страна)</b> Карбонатный карст				
15	Янгельский	53°13'42''	58°52'23''	Абзелиловский район РБ, с. Янгельское; МР Агаповский район Челябинская обл., п. Новоянгелька
16	Уртазымский	52°22'45''	58°39'11''	Хайбуллинский район РБ, п. Зилаирский

ния не менее значительны, чем в районах развития сульфатного карста.

В районах распространения карбонатного карста режимные наблюдения за его развитием рекомендуется вести на четырех участках: двух — на Уфимском плато и двух — в равнинном Зауралье. Организация мониторинга карстового процесса на этих участках имеет в основном теоретическое значение, так как активность и воздействие его на социально-экономические объекты минимальны.

В горной части Уральской карстовой страны, наименее освоенной в хозяйственном отношении, где развит исключительно малоактивный по проявлению на поверхности в виде провалов карбонатный карст, создание на-

блюдательной сети, на взгляд автора, на сегодня является нецелесообразным.

Степень изученности всех рекомендуемых к наблюдению участков мониторинга достаточно хорошая. При специальном инженерно-геологическом обследовании рассматриваемого региона по методике института ВСЕГИНГЕО для всех участков составлены карты масштаба 1:25 000, детально описан разрез карстующихся и покрывающих их пород, произведена оценка современной интенсивности провалообразования.

Следует еще раз подчеркнуть, что предлагаемая наблюдательная сеть предназначена для ведения мониторинга карстового процесса регионального уровня и не затрагивает территории городских агломераций, для которых не-



<b>Характеристика наблюдательных участков региональной системы мониторинга на территории Республики Башкортостан</b> Characteristics of observation sites of the regional monitoring system in the Republic of Bashkortostan				
№ участка на рис.	Наименование	Тип карста		Карстовая опасность
		по составу карстовых пород	по степени обнаженности карстовых пород	
<b>Карстовая страна Восточно-Европейской равнины с обстановкой избыточного увлажнения территории</b>				
1	Каировский	карбонатный ( $P_1a$ )	прикрытый, покрытый	потенциально опасная
2	Хорошаевский	карбонатный ( $P_1a$ )	прикрытый, покрытый	потенциально опасная
<b>Карстовая страна Восточно-Европейской равнины с обстановкой умеренного увлажнения территории</b>				
3	Максютовский	сульфатный ( $P_1k$ )	закрытый, перекрытый	малоопасная
4	Кигазинский	сульфатный ( $P_1k$ )	закрытый	умеренная, опасная
5	Янагушевский	сульфатный ( $P_1k$ )	покрытый, перекрытый, закрытый	умеренная, опасная
6	Тавтимановсктй	сульфатный ( $P_1k$ )	покрытый, закрытый	умеренная
7	Охлебнинский	сульфатный ( $P_1k$ )	открытый, покрытый, перекрытый	умеренная
8	Карламанский	сульфатный ( $P_1k$ )	прикрытый, закрытый	умеренная
9	Курманаевский	сульфатный ( $P_1k$ )	открытый, покрытый, перекрытый, закрытый	весьма опасная
10	Ишеевский,	сульфатный ( $P_1k$ )	открытый, прикрытый, перекрытый	умеренная
11	Артакульский	сульфатно-карбонатный ( $P_1k$ )	закрытый	умеренная, опасная
12	Азнаевский	сульфатно-карбонатный ( $P_2kz$ )	прикрытый	малоопасная
13	Уранский	кластокарст ( $P_1k$ )	прикрытый	потенциально опасная
14	Улкундинский	кластокарст, сульфатный ( $P_1k$ )	прикрытый, закрытый	умеренная, опасная
<b>Равнинный карст Зауралья (Уральская карстовая страна) с обстановкой недостаточного увлажнения территории</b>				
15	Янгельский	карбонатный ( $C_1kz$ )	прикрытый	потенциально опасная
16	Уртазымский	карбонатный ( $D_3-C_1, C_1$ )	прикрытый	потенциально опасная

обходима разработка специальных наблюдательных сетей [20]. Следует также особо отметить, что ведение локального мониторинга на участке «Уфимский карстовый косогор» с уникальным рядом наблюдений [11, 17], несомненно, необходимо продолжить.

### **Методы ведения мониторинга карстового процесса**

Методы ведения мониторинга карстового процесса являются традиционными и широко освещены в методической литературе, инструкциях и т.д.

В РБ имеется опыт ведения мониторинга карстового процесса на участке «Уфимский карстовый косогор» (г. Уфа), который представляет собой высокий (до 80 м) и крутой, в нижней части обрывистый правый склон долины р. Белой, вдоль которого проходит железная дорога

Самара-Челябинск с 1622 по 1629 км. Мониторинг на косогоре в различные годы осуществлялся подразделениями ПГО «Башкиргеология» и ГУП «Башгеолцентр», а в последнее время ведется отделением мониторинга по РБ филиала «Приволжский РЦ ГМСН» ФГБУ «Гидроспецгеология».

По разработанной и принятой еще в 1970-х годах методике ведения мониторинга на косогоре ведутся наблюдения за развитием сульфатного закрытого и прикрытого карста в гипсах кунгурского яруса нижней перми. Они осуществляются методом проведения режимных наблюдений за динамикой формирования существующих проявлений карста и выявлению новых карстовых форм, а также химическим составом поверхностных и подземных вод [11].

Непрерывным рядом наблюдений (1976–2015 гг.) установлена прямая связь образования новых провалов и ак-

тивности развития существующих карстовых форм с метеофакторами, агрессивностью природных вод к карстующимся гипсам, и обратная — по отношению к мощности покрывающих сульфатные породы отложений. Кроме того, выявлена цикличность современной интенсивности провалообразования, связанная с циклами солнечной активности [17].

Методика наблюдений за режимом развития карста на Уфимском косогоре, которые непрерывно ведутся уже на протяжении более 40 лет (с 1976 г.), подтвердила свою целесообразность. Она вполне может быть применена на наблюдательных участках систем мониторинга карстовых процессов субрегионального уровня (ведомственных и муниципальных).

Мониторинг регионального уровня предлагается осуществить следующим образом.

На первом этапе необходимо провести обследование наблюдательных участков и осуществить сравнительный анализ полученных результатов с данными карстологических съемок 1986–1994 гг. Это позволит уже на начальном этапе:

- оценить активность развития карста за последние 30–35 лет;
- определить целесообразность и частоту наблюдений на каждом участке;
- внести при необходимости коррективы в состав наблюдательной сети;
- определить оптимальные методы ведения мониторинга карстового процесса с использованием современных ГИС-технологий.

Первые три задачи начального этапа ведения мониторинга являются стандартными, и методы их решения не требуют особых пояснений.

Геоинформационные системы (ГИС) предназначены для анализа и картирования пространственных объектов, объединяют традиционные операции при работе с базами данных с возможностями визуализации и пространственного анализа.

Возможности ГИС позволяют получать различные количественные показатели проявления карста на поверхности: плотность карстовых форм на единицу площади, площадную пораженность территории поверхностными проявлениями по типам карста, формам и элементам рельефа, неотектоническим структурам и другим таксономическим единицам районирования территории.

Совместное использование традиционных методов мониторинга карстового процесса, данных современных глобальных навигационных спутниковых систем и геоинформационных технологий позволят значительно повысить точность, оперативность принятия решений по предотвращению и устранению негативного влияния карста на социально-экономические объекты. Следует отметить, что успешный опыт использования современных ГИС-технологий при ведении мониторинга карстового процесса имеется в Пермском крае [8].

В дальнейшем региональный мониторинг на наблюдательных участках предлагается вести методом повторной карстологической съемки, периодичность которой долж-

на быть обоснована результатами работ первого этапа. При этом съемке должно предшествовать изучение данных дистанционного зондирования Земли с использованием современных ГИС-технологий, что позволит определить оптимальную частоту повторных полевых исследований на участках.

В настоящее время в лаборатории гидрогеологии и геоэкологии Института геологии УФИЦ РАН с использованием геоинформационной системы «Карта 2011» (КБ «Панорама», г. Москва) создается ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья», в котором планируется ведение баз данных и по мониторингу карстового процесса. По территории Башкортостана собран и систематизирован материал по карстовым провалам с фиксированным временем образования за последние 50 лет. Сформирована база данных по ним. Подготовлена геологическая основа выбранных наблюдательных участков масштаба 1:25 000 для ее оцифровки, начаты работы по разработке структуры баз данных предполагаемых наблюдательных объектов.

## Заключение

Результаты ведения мониторинга карстового процесса дают возможность объективной оценки устойчивости закарстованных территорий, обоснованного прогноза местоположения, частоты и размеров возникновения карстовых провалов.

Предлагаемая схема наблюдательной сети мониторинга охватывает все встречающиеся типы карста рассматриваемого региона. Наблюдения на выбранных участках дадут возможность прогнозировать динамику развития карстового процесса на них, а затем распространять сделанный прогноз на площади со сходными условиями и факторами его развития. Это позволит оценивать ежегодную активность развития карста на региональном уровне в среднемноголетнем ряду наблюдений.

Мониторинг карстового процесса является составной частью мониторинга состояния недр, ведение которого на территории РФ осуществляется Центром государственного мониторинга состояния недр (ЦГМСН). Целевым назначением Центра является обеспечение органов государственной власти Российской Федерации и ее субъектов, органов местного самоуправления, юридических лиц и граждан РФ достоверной и актуальной информацией о состоянии недр и прогнозами его изменения под влиянием природных и техногенных факторов. На территории субъектов РФ мониторинг осуществляется территориальными подразделениями Центра. Предлагаемая наблюдательная сеть за активностью развития карста на региональном уровне рекомендуется для внедрения на территории РБ в составе подсистемы мониторинга опасных экзогенных геологических процессов. Создаваемый ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья» с сетью наблюдательных участков и базами данных активности развития карста совместим с ГИС ESRI ArcGIS 9.3, который используется отделением ЦГМСН по РБ при ведении мониторинга состояния недр. 🌐

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманов Р.Ф., Мартин В.И., Попов В.Г., Рождественский А.П., Смирнов А.И., Травкин А.И., 2002. Карст Башкортостана. Информреклама, Уфа.



2. Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г., Смирнов А.И., 2016. Распространение карста на территории Башкортостана и его значение для практики. Вестник АН РБ, № 4, с. 81–90.
3. Абдрахманов Р.Ф., Смирнов А.И., 2016. Карст Южного Предуралья и его активизация под влиянием техногенеза. Геоэкология, № 4, с. 353–361.
4. Зеркаль О.В., Воронина Н.Е., 2004. Мониторинг карстового процесса в составе государственного мониторинга состояния недр Российской Федерации. Карстоведение — XXI век: теоретическое и практическое значение, Материалы Международного симпозиума, Пермь, 2004, с. 300–303.
5. Мартин В.И., 1972. Карст. Гидрогеология СССР, Том XV. Башкирская АССР. Недр, Москва, с. 77–91.
6. Мартин В.И., Толмачев В.В., Ильин А.Н., Саваренский И.А., 1983. Основные задачи инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях. Инженерная геология, № 2, с. 59–64.
7. Катаев В.Н., 2008. Особенности организации карстомониторинга на территории Пермского края. Проблемы и задачи инженерно-строительных изысканий. Проблемы инженерной геологии карста урбанизированных территорий и водохранилищ, Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Пермь, 2008, с. 134–141.
8. Катаев В.Н., 2013. Основы создания системы мониторинга закарстованных территорий (на примере Пермского края). Геоэкология, № 1, с. 25–41.
9. Костарев В.П., 2005. Карстомониторинг — важный атрибут освоения закарстованных территорий Пермского края. Материалы Международной научной конференции, Пермь, 2005, с. 42–43.
10. Кошкина Д.В., Лихая О.М., Золотарев Д.Р., Щербаков С.В., 2008. Обоснование природных подсистем карстомониторинга (на примере г. Кунгур). Проблемы инженерной геологии карста урбанизированных территорий и водохранилищ, Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Пермь, 2008, с. 203–208.
11. Смирнов А.И., 1992. Стационарные наблюдения за карстопоявлениями на Уфимском карстовом косогоре. Инженерная геология, № 2, с. 50–56.
12. Смирнов А.И., 2004. Оценка воздействия карстового процесса на населенные пункты Республики Башкортостан. Карстоведение — XXI век: теоретическое и практическое значение, Материалы Международного симпозиума, Пермь, 2004, с. 325–328.
13. Смирнов А.И., 2005. Карст. Атлас Республики Башкортостан. Правительство Республики Башкортостан, Уфа.
14. Смирнов А.И., 2015. Оценка карстовой опасности Южного Урала и Предуралья. Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах, Материалы Международного симпозиума, Пермь, 2015, с. 194–198.
15. Смирнов А.И., 2013. Аномально крупные карстовые провалы Южного Урала и Предуралья. Геологический сборник № 10. Изд-во Института геологии УФИЦ РАН, Уфа, с. 50–56.
16. Смирнов А.И., 2018. Карта сульфатного карста Южного Предуралья (содержание, принципы и методика построения). Инженерная геология, Том XIII, № 1–2, с. 86–94, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-86-94>.
17. Смирнов А.И., Абдрахманов Р.Ф., Садыкова О.В., 2018. Мониторинг опасных геологических процессов Южного Урала и Предуралья. Геориск-2018, Материалы X Международной научно-практической конференции по проблемам снижения природных опасностей и рисков, Москва, 2018, Том 1, с. 386–391.
18. Травкин А.И., Мартин В.И., Рафикова З.Н., 1994. Проблемы создания гидрогеологического мониторинга РБ. Проблемы экологического мониторинга, Тезисы докладов научного семинара-выставки, Уфа, 1994, с. 22.
19. Толмачев В.В., Иконников Л.Б., Леоненко М.В., 1999. Опыт проектирования карстологического мониторинга в г. Дзержинске Нижегородской области. Основания, фундаменты и механика грунтов, № 5, с. 25–27.
20. Шeko А.И., 1982. Методологические основы мониторинга экзогенных геологических процессов. Государственный комитет Совета Министров СССР по науке и технике, Москва, с. 13–17.

## REFERENCES

1. Abdrakhmanov R.F., Martin V.I., Popov V.G., Rozhdestvensky A.P., Smirnov A.I., Travkin A.I., 2002. Karst of Bashkortostan. Informreklama, Ufa. (in Russian)
2. Abdrakhmanov R.F., Popov V.G., Smirnov A.I., 2016. Karst distribution in Bashkortostan and its implications for practice. Bulletin of the Academy of Sciences, Republic of Bashkortostan, No. 4, pp. 81–90. (in Russian)
3. Abdrakhmanov R.F., Smirnov A.I., 2016. Karst of the Southern CisUrals and its intensification under the technogenic impact. Environmental Geoscience, No. 4, pp. 353–361. (in Russian)
4. Zerkal O.V., Voronina N.E., 2004. Monitoring of the karst process as part of state monitoring of the state of the subsoil of the Russian Federation. Karst — XXI Century: Theoretical and Practical Importance, Materials of the International Symposium, Perm, 2004, pp. 300–303. (in Russian)
5. Martin V.I., 1972. Karst. Hydrogeology of the USSR, Vol. XV. Bashkir Autonomous Soviet Socialist Republic. Nedra, Moscow, pp. 77–91. (in Russian)

6. Martin V.I., Tolmachev V.V., Ilyin A.N., Savarensky I.A., 1983. The main tasks of engineering and geological surveys in karst territories. *Inzhenernaya geologiya*, No. 2, pp. 59–64. (in Russian)
7. Kataev V.N., 2008. Features of the organization of karst monitoring in the territory of the Perm Territory. Problems and tasks of engineering and construction surveys. *Problems of Engineering Geology of Karst in Urban Territories and Reservoirs, Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Perm, 2008*, pp. 134–141. (in Russian)
8. Kataev V.N., 2013. Basis of monitoring system arrangement in karst-prone territories (by the example of Perm Region). *Environmental Geoscience*, No. 1, pp. 25–41. (in Russian)
9. Kostarev V.P., 2005. Karstomonitoring is an important attribute of the development of karst territories of the Perm Territory. *Materials of the International Scientific Conference, Perm, 2005*, pp. 42–43. (in Russian)
10. Koshkina D.V., Likhaya O.M., Zolotarev D.R., Shcherbakov S.V., 2008. Justification of the natural subsystems of karst monitoring (for example, Kungur). *Problems of Engineering Geology of Karst in Urban Territories and Reservoirs, Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Perm, 2008*, pp. 203–208. (in Russian)
11. Smirnov A.I., 1992. Stationary observations of karst occurrences at the Ufa karst slope. *Inzhenernaya geologiya*, No. 2, pp. 50–56. (in Russian)
12. Smirnov A.I., 2004. Assessment of the impact of the karst process on the settlements of the Republic of Bashkortostan. *Karst Studies — XXI Century: Theoretical and Practical Importance, Materials of the International Symposium, Perm, 2004*, pp. 325–328. (in Russian)
13. Smirnov A.I., 2005. *Karst. Atlas of the Republic of Bashkortostan*. Government of the Republic of Bashkortostan, Ufa. (in Russian)
14. Smirnov A.I., 2015. Assessment of karst danger of the South Ural and Predural. *Environmental Security and Construction in Karst Areas, Materials of the International Symposium, Perm, 2015*, pp. 194–198. (in Russian)
15. Smirnov A.I., 2013. Anomalously large karst failures of the Southern Urals and Cis-Urals. *Geological collection No. 10. Publishing house of the Institute of Geology, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa*, pp. 50–56. (in Russian)
16. Smirnov A.I., 2018. The sulphate karst map of the Southern Cis-Ural Region (content, principles and mapping methodology). *Inzhenernaya geologiya*, Vol. XIII, No. 1–2, pp. 86–94, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-86-94>. (in Russian)
17. Smirnov A.I., Abdrakhmanov R.F., Sadykova O.V., 2018. Monitoring of dangerous geological processes in the South Urals and Cis-Urals. *Georisk-2018, Materials of the X International Scientific and Practical Conference on Problems of Reducing Natural Hazards and Risks, Moscow, 2018, Vol. 1*, pp. 386–391. (in Russian)
18. Travkin A.I., Martin V.I., Rafikova Z.N., 1994. Problems of creating hydrogeological monitoring of the Republic of Bashkortostan. *Problems of Environmental Monitoring, Abstracts of a Scientific Seminar-Exhibition, Ufa, 1994*, p. 22. (in Russian)
19. Tolmachev V.V., Ikonnikov L.B., Leonenko M.V., 1999. Experience in designing karstological monitoring in Dzerzhinsk, Nizhny Novgorod Region. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, No. 5, pp. 25–27. (in Russian)
20. Sheko A.I., 1982. Methodological foundations for monitoring exogenous geological processes. *State Committee of the Council of Ministers of the USSR for Science and Technology, Moscow*, pp. 13–17. (in Russian)

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### СМИРНОВ АЛЕКСАНДР ИЛЬИЧ

*Старший научный сотрудник лаборатории гидрогеологии и геоэкологии Института геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, к.г.-м.н., г. Уфа, Россия*

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### ALEXANDER I. SMIRNOV

*Senior research scientist of the Laboratory of Hydrogeology and Environmental Geology, Institute of Geology, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Ufa, Russia*



Карстовый провал в п. Ягодный по ул. Ушакова, 8 (Иглинский район Республики Башкортостан).  
Дата образования — 24.09.2007 г. Фото А.И. Смирнова.